



PMetGIRS

PLANO METROPOLITANO DE GESTÃO
INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

PROGNÓSTICO GERAL

VOLUME 2 DE 3



PROGNÓSTICO GERAL

Rio de Janeiro, 2024



Secretaria da
Casa Civil



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



Cláudio Bonfim de Castro e Silva
Governador do Estado do Rio de Janeiro

PLANO METROPOLITANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS: COMPROMISSO CONTÍNUO DO RIO DE JANEIRO COM O MEIO AMBIENTE E A SUSTENTABILIDADE

A criação do Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é mais um passo da nossa gestão em direção ao Estado do Rio de Janeiro em que desejamos viver: um território de equilíbrio ambiental e de desenvolvimento econômico sustentável, com oportunidades de negócios verdes, com mais emprego e renda para todos os fluminenses.

Este novo plano aborda todos os desafios que nosso estado ainda precisa enfrentar e nos mostra a importância de encarar as questões de modo consciente, apontando nossos gargalos de maneira objetiva, com medidas claras e metas compreensíveis para que todos os municípios envolvidos possam convergir e trabalhar juntos, para sermos bem-sucedidos enquanto sociedade.

A iniciativa vem para somar a outras iniciativas do estado como o Programa Estadual de Gestão de Resíduos Integrada e Desenvolvimento Sustentável (Progride), a Logística Reversa, o Programa Diogo De Sant'ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular e a extinção dos lixões.

A população do estado do Rio de Janeiro gera cerca de 6,5 milhões de toneladas por ano de resíduos sólidos urbanos, com média de geração diária de 1.200 kg por pessoa (Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Recursos Sólidos – SINIR - 2019). Sendo assim, mesmo com a nossa beleza natural incomparável e nossos esforços diários para reduzir o descarte incorreto, o Rio de Janeiro precisa lidar efetivamente com questões que colocam em risco a saúde do povo fluminense, enfraquecem as condições do meio ambiente e também o nosso futuro. O plano nasce como um guia para enxergarmos soluções e oportunidades para fazermos a diferença.

Determinei que o Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos não oferecesse apenas um conjunto de medidas técnicas, mas que representasse um compromisso com uma nova abordagem para lidar com nossos resíduos.

Foram muitos encontros, estudos e engajamento de agentes e gestores comprometidos para atender as necessidades dos 22 municípios dessa região, quanto à destinação final dos resíduos. Estamos entregando

uma declaração, do tamanho da nossa determinação, com o objetivo de transformar desafios em soluções, de adotar práticas mais sustentáveis e de construir um futuro mais limpo e saudável para essas localidades. Um material completo para promover a conscientização e a educação ambiental em nossa comunidade.

Convido todos a reconhecer que a mudança proposta nesse plano só ocorrerá quando nós, enquanto cidadãos, estivermos imbuídos genuinamente do papel de cada um na preservação do meio ambiente. Reforço que para as leis e as regras funcionarem, é preciso que a população seja tratada como agente participativo, na elaboração e na execução de políticas sobre o assunto.

É com esse compromisso e espírito de busca que vamos obter os resultados que nós e as futuras gerações merecemos. Apesar de complexa a questão, esforços coletivos - numa parceria entre estado, municípios e todos os setores da sociedade - serão determinantes para implementarmos o Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos, vencendo este que é um dos grandes desafios da nossa geração, o descarte correto. Apenas com a participação de todos é que conseguiremos fazer a diferença na proteção do meio ambiente e na promoção do bem-estar da população.



Davi Perini Vermelho
*Presidente do Instituto Rio
Metrópole*

O INSTITUTO NA GESTÃO DOS RESÍDUOS

O Instituto Rio Metrópole tem como principal objetivo combater as desigualdades intrametropolitanas, buscar o equilíbrio entre os municípios que a compõe, promovendo a isonomia das condições e qualidade de vida, do atendimento dos serviços públicos aos cidadãos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com foco no bem-estar de seus mais de 12 milhões de habitantes (IBGE/2022). Orientado por esses objetivos, o Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos demonstra o compromisso com a sustentabilidade e o desenvolvimento da região.

O papel do Instituto Rio Metrópole é crucial nesse processo, demonstrando sua capacidade de liderança e coordenação para enfrentar desafios complexos. Este plano foi desenvolvido com uma abordagem integrada e colaborativa, com a certeza de que o plano trará benefícios significativos para o meio ambiente e para a qualidade de vida de sua população.

Durante a elaboração do PMetGIRS, buscamos ouvir atentamente as vozes dos representantes dos 22 municípios que compõem a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, além de especialistas e demais partes interessadas, garantindo que suas necessidades e aspirações fossem refletidas em cada diretriz. Promover ao máximo a participação, objetivando a construção coletiva desse instrumento, é uma forma de reconhecer que apenas com uma abordagem democrática e popular conseguiremos construir uma metrópole inclusiva, participativa e colaborativa, com a apropriação do Plano Metropolitano por todos, ou seja, o nosso plano.

Reconhecemos a grande importância do patrimônio natural para saúde da região metropolitana e de seus habitantes, que com a participação de diversos atores na preservação da nossa região, tem como propósito fundamental cuidar do bem-estar da metrópole fluminense, como a Baía de Guanabara, sua bacia hidrográfica e do Complexo Lagunar da Barra da Tijuca e Jacarepaguá, entre outros.

Nesse contexto, cabe reforçar a atuação do governador Cláudio Castro pelo seu apoio contínuo às iniciativas que promova o desenvolvimento sustentável e a criação de novas oportunidades para a população do Estado do Rio de Janeiro. Seu compromisso com um futuro melhor é um referencial que nos conduz para um progresso contínuo e crescente para novas gerações.

Concluimos esta etapa confiantes de que, com o apoio e engajamento dos municípios e de todas as partes interessadas, o Instituto Rio Metrópole continuará desempenhando um papel fundamental na implementação eficaz deste plano, além de poder, continuar trazendo à realidade projetos que contribuam de forma efetiva na construção de um futuro com mais sustentabilidade e prosperidade para toda a população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.



Bruno Jorge Vaz Sasson

*Diretor de Saneamento Metropolitano
Integrado no Instituto Rio Metrópole*

UM OLHAR PARA O FUTURO

O Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMetGIRS é um documento estratégico essencial para o avanço sustentável da nossa região metropolitana.

Como Diretor de Saneamento Metropolitano do Instituto Rio Metrópole - IRM, destaco a importância deste plano, que está em consonância com a legislação nacional, principalmente a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Decreto que a regulamenta, sob o nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022, assim como o restante da legislação ambiental do estado do Rio de Janeiro.

Este plano servirá como diretriz para elaboração/revisão dos planos municipais de gestão de resíduos sólidos em toda a região metropolitana, respeitando as particularidades locais e ainda a promoção da regionalização para solucionar problemas de escala por meio de agrupamentos de municípios, tendo a seguinte ordem de prioridade na referida gestão dos resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada. Na gestão e no gerenciamento destes resíduos, são incentivados o desenvolvimento tecnológico, a inovação e o empreendedorismo, de forma a promover a sua cadeia de valor.

Orientado por preceitos sustentáveis, o PMetGIRS foi desenvolvido, sob a luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS da ONU, criados na conferência de 2012, no Rio de Janeiro, e as diretrizes do Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado do Rio de Janeiro (PEDUI), além de toda legislação já mencionada. A gestão adequada de resíduos sólidos é um desafio crucial para a preservação ambiental e a promoção da sustentabilidade.

Um ponto crucial da Gestão de Resíduos Sólidos que se pretende implantar é a educação ambiental, pois é somente através dela que conseguiremos criar uma sociedade sustentável, capaz de reduzir o consumo e diminuir a geração de resíduos, de praticar e incentivar a reciclagem e a reutilização e de cobrar das autoridades competentes a coleta e destinação final adequada dos resíduos gerados.

No que tange a este último aspecto, uma das principais inovações do plano é a implementação de Usinas de Triagem, associadas a Centros Regionalizados de Destinação Final de Resíduos, que serão estrategicamente localizados para agregar resíduos de mais de um município. Esses equipamentos permitirão um transporte mais eficiente e menos poluente das cidades até os locais de tratamento e disposição final,

contribuindo significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e prolongando a vida útil desses centros, além de aumentar a viabilidade econômica da disposição final dos resíduos.

O plano também retoma e valoriza os sistemas de remoção de lixo flutuante por meio da instalação de ecobarreiras nos rios contribuintes da Baía de Guanabara e no Complexo Lagunar da Barra da Tijuca e Jacarepaguá, operadas sempre que possível por cooperativas de catadores e colônias de pescadores visando a posterior reciclagem. Essa iniciativa não só melhora a qualidade das águas fluviais e marinhas, beneficiando a vida aquática e as comunidades ribeirinhas, mas também fortalece a economia local através do aumento da produção pesqueira e a reciclagem dos materiais recolhidos.

Porém, não se pode deixar de mencionar que o sucesso desta proposição está diretamente ligado ao apoio dos Comitês de Bacias Hidrográficas, especialmente os da Baía de Guanabara e do Rio Guandu, essencial para a gestão eficaz dos recursos hídricos. Adicionalmente, o plano contempla ainda a utilização de tecnologias avançadas para o tratamento da matéria orgânica dos resíduos incluindo processos de digestão anaeróbica com a produção de composto e tecnologias de termodegradação, como gaseificação, pirólise e combustão direta. Essas tecnologias não apenas ajudam a reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterros, mas também são capazes de gerar energia, contribuindo para a sustentabilidade energética da região.

O PMetGIRS é o resultado de um amplo processo de consulta e colaboração, incorporando as sugestões de todos os setores envolvidos na gestão de resíduos ouvidos em reuniões, seminários e audiência pública. Este documento não é apenas um plano técnico, mas um chamado à ação para todos os cidadãos e demais setores da sociedade, desde fabricantes, comerciantes e o próprio indivíduo, passando pelo poder público, cooperativas e instituições de ensino e pesquisa.

É, portanto, um convite para todos se unirem neste esforço coletivo, adotando práticas mais sustentáveis e participando ativamente na transformação de nossa região, ou seja, um Plano de todos para todos

ENGECONSULT

EQUIPE CHAVE

Daniel Fernando Barreto de Andrade Lima | *Especialista em Gestão de Resíduos Sólidos*

Gabriel de Mello Paciello Gerolimich | *Assessor*

Hélio Augusto Machado Pessoa Filho | *Especialista em Gestão Ambiental*

Igor Barcelos Rodrigues | *Assessor de Contrato*

Márcio Rogério de Frias Francisco | *Assessoria Jurídica*

Suzanna Machado Baraldo | *Assessora de Contrato*

COORDENAÇÃO

Gerson Luis de Araujo Rodrigues | *Coordenador do Contrato*

Hélio Augusto Machado Pessoa | *Coordenador Geral*

Larissa Fernandes Chauvet | *Coordenação Técnica*

Márcio Rogério Teixeira Francisco | *Coordenação Técnica*

EQUIPE DE APOIO

Nelly Machado Pessoa Cavalcante | *Especialista em Avaliação Econômica e Financeira*

José Gleidson Dantas da Cunha | *Especialista em Geoprocessamento*

Tânia Maria Pontual Pinheiro Pessoa | *Especialista em Direito*

Maria José Santos de Biase de Souza | *Especialista em Didática e Qualidade do Texto*

EQUIPE DE CONSULTORES

Ana Paula Muniz Machado | *Apoio Técnico em Química*

Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da Cunha | *Apoio Técnico em Saneamento, Gestão de Resíduos e Estudos Ambientais*

Erika Leite de Souza Ferreira Soares | *Especialista em Resíduos Sólidos*

Fernanda Apiacá Heringer de Souza | *Apoio Técnico em Estudos Ambientais*

Luiz Henrique de Souza Lucio | *Apoio Técnico em Química*

Marcelo Bassi Costa | *Apoio Técnico em Química*

Sérgio de Almeida Filho | *Apoio Técnico em Economia*

Vanilson Fragoso Silva | *Apoio Técnico em Estudos Ambientais e Administração Industrial*

INSTITUTO RIO METRÓPOLE

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Cláudio Bonfim de Castro e Silva | *Governador*

Thiago Pampolha Gonçalves | *Vice Governador*

SECRETARIA DE ESTADO DA CASA CIVIL

Nicola Moreira Miccione | *Secretário*

INSTITUTO RIO METRÓPOLE

Davi Perini Vermelho | *Presidente do Instituto Rio Metrópole*

Joaquim Teixeira Portella Filho | *Chefe de Gabinete do Instituto Rio Metrópole*

COORDENAÇÃO GERAL – IRM

Bruno Jorge Vaz Sasson | *Diretor de Saneamento Metropolitano Integrado*

EQUIPE – IRM (Ordem alfabética)

Amanda Ithala Santos da Paschoa | *Coordenadora de Planejamento e Projetos*

Ana Carolina Hyczy de Siqueira | *Arquiteta*

Caroline Soares de Barros | *Assessora Administrativa*

Fernanda Werner Vianna Gomes | *Ouvidora*

João Carlos Xavier de Brito | *Coordenador de Resíduos Sólidos*

Kelson Vieira Senra | *Arquiteto*

Laís de Souza Gomes | *Assessora Administrativa*

Lucas Henrique Eiras da Silva | *Assessor Executivo*

Maurício Silva Knoploch dos Santos | *Diretor de Planejamento e Projetos*

Railinda Barbosa Calmon de Siqueira | *Coordenadora de Fiscalização de Contratos*

CONTRIBUIÇÕES

PÚBLICO DO SEMINÁRIO E AUDIÊNCIA

Adriana Bocauiuva

Adriana Ornellas

Alisson Felipe Santoro

Allan Medeiros Pereira

Alexander Bento

André Medas de Andrade

Antonio Carlos Freitas Gusmão

Antônio Ferreira da Silva Filho

Antônio Oscar Peixoto

Artur Junior Souza Ribeiro

Camila Souza

Camile da Silva Costa

Carla Conceição de Sá

Carlos Henrique Rios Lemos

Carolina Dias

Carolina Zoccoli

Cecília Miranda Vieira

Christiane Aires

Custódio da Silva Chaves

Cynthia Kazue Takamoto

Cynthia Souza

Daniel Arnaud Soares

Dean Senra

Denise de Mahsgaudara

Denise Lobato

Denise Mattos

Diane Gonzaga

Diego Luiz Fonseca

Douglas Pereira Lopes da Silva

Ed Xavier

Eder Fares da Costa Simoes

Edivania Mafra

Ednei Oliveira

Eduardo José Crispe Cardoso

Elaine Mattos Leal

Elielson Teixeira da Silva

Eloisa Helena Torres

Evandro Werneck

Fausto de Sousa Campos de Menezes

Fernanda Pardela Pallas
Flávia Tostes Fontes de Andrade
Francisco José Matos Pires de Oliveira
Gabriel de Mello Paciello Gerolimich
Generosa Oliveira Silva
George Almeida Fatorini
Giovana Simões
Gleyce de Souza Santos
Graciane Ouverney de Jesus
Guilherme Rodrigues
Gustavo de Mello
Hallison Marques
Henrique Silveira de Souza
Ianka Dos Santos Oliveira
Isaque Ouverney
Jefferson Camões Barreiros
Jhonathan Ferrarez de Barros
João Alberto Antunes Ribeiro
João Roberto da Silva
Johny Teixeira
Jorge Heleno da Silva Pinto
Jorge Mendes
Jorge Neves de Souza
Jorge Nunes

Jorge Perron
Jorge Ricardo Zuzarte Ferreira
Jorge Wilson Luiz Souza
José Campello de Oliveira Junior
José Luiz da Silva
José Maria Mesquita
José Miguel da Silva
Jose Olympio Abreu Germano
Lay Victoria Borges
Loir Gonçalves Lima
Loriana Ellen Couto Ducasble
Lucas Stelling
Luciano de Paula Silveira
Luiz Felipe Santos
Luiz Gonçalves Lima
Luiz Soraggi
Magno Neves
Marcele Dias Dornelas
Marcelle Brito Casimiro de Oliveira
Marcelo Moraes Rodrigues
Márcia Andrea
Marcos Antonio Ventura
Marcos Paulo Marques Araujo
Maria Alice Domingos Picoli

Maria Aparecida de Souza
Maria Aparecida Resende
Maria Dulce Reis
Maria Fernanda Fadel
Maria Fernanda Peralta
Maria José Silva de Mello
Mariana Klem
Mariana Pires Novaes
Marina Nunes
Matheus Santos da Silva
Mauricio Couto
Meire Lucy Fonseca Menezes dos Santos
Miguel Jorge Machado de Sousa
Monica Lahmann
Monica Martins Patrize
Natália Santos
Nemires de Medeiros
Nilandio Campos Leite
Nilmar Magalhães
Osimar de Oliveira Dias Filho
Paola Fagundes
Paulo de Tarso de Lima Pimenta
Paulo Cesar dos Santos Jorge
Paulo F. Garreta Harkot

Rafael de Lima Campos
Rafaela Rebello
Raoni Cardoso
Reinaldo Abreu
Ricardo Lessa Carazedo
Ricardo Rosa
Ricardo Torres
Roberta Souza
Roberto Queiroz França
Roberto Vinicius Fernandes
Robson de Souza Franco
Rodrigo Fernandes dos Santos
Rogério Marques Gonçalves
Romulo Freitas Batista da Silva
Rosivaldo Alves Pereira
Schulim Berger
Sérgio Marcondes
Silvana Tavares
Susana Vinzon
Tamara Grisolia Fernandes
Tarcísio Kopke Martins Viana Filho
Tarquinio Prisco
Tatiana Bastos
Thais Cristina Teixeira M. Paixão

Thais Teixeira Rodrigues Lima
Valéria Maria Barreto
Vânia Matoso Viana
Vera Chevalier
Viviane Parente
Vinicius de Lima Alves
Wallace Rezende Braz
Walter Plácido
Wander de Souza Dias Guerra
Wesclei Pandim
William Hester
Yan Maciel Dias Coutinho

INTRODUÇÃO

A **ENGECONSULT Consultores Técnicos Ltda.**, em atendimento ao escopo do Contrato nº 12, firmado junto ao Instituto Rio Metrópole – IRM, vem apresentar o **Prognóstico Geral – PMetGIRS**.

Este relatório será composto pelos capítulos:

1. Apresentação;
2. Metodologia;
3. Análise e Proposição de Alternativas;
4. Aspectos Legais e Institucionais;
5. Remediação de Passivos Ambientais
6. Educação Ambiental
7. Proposição do Cenário;
8. Análise Preliminar de Resultados e Viabilidade;
9. Anexos;
10. Revisão Bibliográfica.

SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO	37			
2.	METODOLOGIA	43			
2.1.	PRIMEIRA FERRAMENTA - PESTEL AMPLIADO	43			
2.2.	SEGUNDA FERRAMENTA – INTERESSES, NECESSIDADES, EXPECTATIVAS E CONFLITOS ENVOLVENDO OS ATORES (METODOLOGIA ADAPTADA)	52			
2.3.	TERCEIRA FERRAMENTA – ANÁLISE DE CENÁRIOS (METODOLOGIA ADAPTADA DA ISO 31010:2022)	58			
2.4.	QUARTA FERRAMENTA – BSC (BALANCE SCORECARD) – ABORDAGEM EXPANDIDA E ADAPTADA PARA O CONTEXTO DO PMETGIRS	61			
3.	ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS	69			
3.1.	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	72			
3.1.1.	Não Geração, Redução, Reutilização	77			
3.1.2.	Coleta Seletiva	82			
3.1.3.	Logística Reversa	85			
3.1.4.	Coleta Domiciliar	85			
3.1.5.	Transbordo e Transporte	87			
3.1.6.	Tratamento	92			
3.1.7.	Disposição final	106			
3.2.	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)	110			
3.2.1.	Rede de instalações	111			
3.2.2.	Equipamentos para processamento	113			
3.2.3.	Gestão e gerenciamento de resíduos	114			
3.3.	RESÍDUOS DE SERVIÇOS DA SAÚDE (RSS)	115			
3.3.1.	Segregação na fonte e acondicionamento	115			
3.3.2.	Tratamento	116			
3.4.	LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	118			
4.	ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS	121			
4.1.	ÂMBITO FEDERAL	122			
4.2.	ÂMBITO ESTADUAL	127			
4.3.	GOVERNANÇA METROPOLITANA	130			
4.4.	ÂMBITO MUNICIPAL	142			
5.	REMEDIÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS	149			
5.1.	TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSPEITAS E CONTAMINADAS	153			

5.2.	TECNOLOGIAS PARA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS	154	8.	ANÁLISE PRELIMINAR DE RESULTADOS E VIABILIDADE	263
5.3.	PROPOSIÇÃO DE MODELOS DE REMEDIAÇÃO	177	8.1.	METODOLOGIA	263
5.4.	RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA	217	8.2.	ELEMENTOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO	266
5.4.1.	Viabilidade para plantas de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos	217	8.3.	DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS	271
5.4.2.	Geração de energia limpa nas áreas de tratamento e disposição final de RSU	221	8.4.	EVTE TRIAGEM	274
6.	EDUCAÇÃO AMBIENTAL	231	8.5.	EVTE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA ATRAVÉS DA COMBUSTÃO DE RSU	282
6.1.	BREVE HISTÓRICO	232	8.6.	EVTE GASEIFICAÇÃO (TERMÓDEGRADAÇÃO)	290
6.2.	A IMPORTÂNCIA DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL	233	8.7.	EVTE BIOGÁS	299
6.3.	O PAPEL DA EDUCAÇÃO EM UM PLANO INTEGRADO	233	8.8.	CONCLUSÕES DO EVTE'S DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE RSU	305
6.4.	BOAS PRÁTICAS	236	9.	ANEXOS	309
6.5.	ELABORAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE EDUCAÇÃO	241	9.1.	ANEXO 1 – TECNOLOGIAS PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	309
7.	PROPOSIÇÃO DO CENÁRIO	245	9.2.	ANEXO 2 – CUSTO DOS EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E SERVIÇOS DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	312
7.1.	CRITÉRIOS DE AGREGAÇÃO DE MUNICÍPIOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DOS ARRANJOS	247	9.3.	ANEXO 3 – PLANO DE MANUTENÇÃO ELABORADO PELO FABRICANTE DO GRUPO GERADOR	313
7.2.	ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E LOGÍSTICAS	248	9.4.	ANEXO 4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA RSU	314
7.3.	CENÁRIO PROPOSTO	249	10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	325
7.3.1.	Triagem	250			
7.3.2.	Recuperação Energética a partir do RSU	254			

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Contextos Interno e Externo - PESTEL	43	Tabela 12.	Conclusões do Diagnóstico Geral - Fase 2 do PMetGIRS.	70
Tabela 2.	Novos Contextos Interno e Externo - PESTEL Ampliado	44	Tabela 13.	Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos	71
Tabela 3.	Temas Sociais e Ambientais e Questões Transversais	46	Tabela 14.	Gestão de Resíduos Sólidos x ODS	74
Tabela 4.	Inventário Metropolitano de RSU Atualizado	51	Tabela 15.	Controle de Emissões de GEE x ODS	75
Tabela 5.	Classificação dos Atores quanto às Ações de Gerenciamento	55	Tabela 16.	Energia Renovável x ODS	76
Tabela 6.	Exemplos de Ações de Gerenciamentos x Estratégias.	55	Tabela 17.	Produtos, Tecnologias de Produção e Processos – Economia Circular X ODS	76
Tabela 7.	Gerenciamento dos Interesses, Necessidades, Expectativas e Conflitos de Atores	56	Tabela 18.	Distribuição das Usinas de Triagem Propostas	93
Tabela 8.	BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Financeira (Econômica).	62	Tabela 19.	Limites para Classificação dos RSUE	97
Tabela 9.	BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva dos Atores	63	Tabela 20.	Composição Típica do Biogás de Aterro Sanitário	109
Tabela 10.	BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Processos (Tecnologia; Logística e Inovação).	64	Tabela 21.	Municípios que Declararam a Existência do PMSB	144
Tabela 11.	BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Aprendizagem (Educação e Conhecimento)	65	Tabela 22.	Municípios com PMGIRS e PMSB	144
			Tabela 23.	Tecnologias Biológicas de Remediação de Áreas Contaminadas.	156
			Tabela 24.	Tecnologias Físico-Químicas de Remediação de Áreas Contaminadas.	159

Tabela 25.	Tecnologias Térmicas de Remediação de Áreas Contaminadas	161	Tabela 40.	Custo de Implantação de Usinas de Recuperação Energética através da Combustão do RSU e do Processo de Termodegradação.	259
Tabela 26.	Outras Tecnologias de Remediação de Áreas.	162	Tabela 41.	Variação de População da Região Metropolitana do Rio de Janeiro do ano 2000 até 2053	264
Tabela 27.	Características Químicas Típicas do Chorume ao Longo do Tempo.	164	Tabela 42.	Composição dos RSU	272
Tabela 28.	Identificação, Localização e Análise dos Vazadouros Existentes na RMRJ	179	Tabela 43.	Valor Comercial dos Recicláveis	272
Tabela 29.	Status da Remediação dos Vazadouros Existentes na Região Metropolitana	211	Tabela 44.	Tecnologias e Consumo de Energia	273
Tabela 30.	Consolidação das Recomendações de Remediação.	213	Tabela 45.	Tabela Comparativa de Reajustes	274
Tabela 31.	Geração de Energia Elétrica por Biometano.	219	Tabela 46.	CAPEX Triagem	274
Tabela 32.	Investimento para Implantação de Moto geradores a Gás	220	Tabela 47.	Receitas Anuais - Triagem	275
Tabela 33.	Radiação Solar na RMRJ	222	Tabela 48.	OPEX Triagem.	276
Tabela 34.	Potências das Usinas Fotovoltaicas	223	Tabela 49.	Receitas, CAPEX e OPEX - Triagem	277
Tabela 35.	Potencial de Geração e Energia Gerada em cada Usina Fotovoltaica.	227	Tabela 50.	Parâmetros EVTE Triagem	278
Tabela 36.	Agrupamento por Municípios	248	Tabela 51.	Fluxo de Caixa Triagem - 35 anos	278
Tabela 37.	Usinas de Triagem e Estações de Transferência a serem Implantadas	251	Tabela 52.	CAPEX Recuperação Energética através da Combustão	282
Tabela 38.	Boas Práticas de Tratamento de RSU	257	Tabela 53.	Receitas Recuperação Energética através da Combustão	283
Tabela 39.	Locais para Implantação de Usinas de Recuperação Energética através da Combustão do RSU e pelo Processo de Termodegradação.	258	Tabela 54.	OPEX Recuperação Energética através da Combustão	284
			Tabela 55.	Receitas, CAPEX e OPEX da Recuperação Energética através da Combustão	285

Tabela 56.	Parâmetros EVTE Recuperação Energética através da Combustão	285	Tabela 76.	Tecnologias de Preparo/Tratamento de Resíduos para Posterior Destinação	310
Tabela 57.	Fluxo de Caixa Recuperação Energética através da Combustão	286	Tabela 77.	Tecnologias de Destinação de Resíduos	311
Tabela 58.	CAPEX Termodegradação	290	Tabela 78.	Tecnologias de Disposição Final	312
Tabela 59.	Receitas Termodegradação	291			
Tabela 60.	OPEX Termodegradação	292			
Tabela 61.	Receitas, CAPEX e OPEX Termodegradação	293			
Tabela 62.	Parâmetros EVTE Termodegradação	294			
Tabela 63.	Fluxo de Caixa Termodegradação	295			
Tabela 64.	Atualização de Valores de Manutenção	300			
Tabela 65.	Atualização de Valores de Manutenção	300			
Tabela 66.	CAPEX Biogás	301			
Tabela 67.	Receitas Biogás	301			
Tabela 68.	OPEX Biogás	301			
Tabela 69.	Receitas, CAPEX e OPEX Biogás	302			
Tabela 70.	Parâmetros EVTE Biogás	302			
Tabela 71.	Fluxo de Caixa Biogás	303			
Tabela 72.	Resumo EVTE	305			
Tabela 73.	Resumo de Investimentos	306			
Tabela 74.	ecnologias de Acondicionamento de Resíduos.	309			
Tabela 75.	Tecnologias de Armazenagem de Resíduos.	310			

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Indicação das Operações de Gerenciamento dos Resíduos	38	Figura 16.	Compactadores Estacionários (Compactainer)	81
Figura 2.	Macrofluxo da Metodologia Adotada no PMetGIRS	43	Figura 17.	Caçamba Fechada de 7 m ³	81
Figura 3.	Enfoque Ambiental e Social Integrado	46	Figura 18.	Contêiner Metálico de 1200 L	81
Figura 4.	Fluxo de Gerenciamento de Atores	52	Figura 19.	Caminhão Poliguindaste Simples	83
Figura 5.	Visão Consolidada dos Cenários	61	Figura 20.	Caminhão Roll On Roll Off	83
Figura 6.	Perspectivas do BSC	62	Figura 21.	Caminhão Baú	83
Figura 7.	Central de Triagem de Material Reciclável de Irajá	72	Figura 22.	Caminhão Compactador	86
Figura 8.	Leiras de Compostagem	72	Figura 23.	Caminhão Compactador com Lifter	86
Figura 9.	Unidade de Peneiramento	72	Figura 24.	Moto-triciclo para Coleta de RSU em Locais de Difícil Acesso	86
Figura 10.	Processo de Biodigestão da Methanum	73	Figura 25.	Área de Armazenamento de uma ETR	87
Figura 11.	Fluxo do Processo de Minimização da Geração de RSU	78	Figura 26.	Sistema de Exaustão de uma ETR	87
Figura 12.	Modelo Institucional de Participação no Gerenciamento de RSU	79	Figura 27.	Transbordo Direto	88
Figura 13.	Contentores Plásticos para Resíduos	80	Figura 28.	ETR com Armazenamento e sem Compactação	88
Figura 14.	Contêiner de 20 Pés	80	Figura 29.	Localização das ETR	90
Figura 15.	Contêiner Modular	80	Figura 30.	Localização das CTR - Mapa 8 do Diagnóstico Geral	91
			Figura 31.	Arranjo Local para Destinação de Resíduos da Área Rural	95

Figura 32.	Reator de Pirólise - Croqui	96	Figura 52.	Imagem Aérea do Vazadouro de Babi – Belford Roxo	183
Figura 33.	Arco Voltaico	100	Figura 53.	Imagem Aérea do Vazadouro de Cachoeiras de Macacu	184
Figura 34.	Chama de Tocha de Plasma	100	Figura 54.	Imagem Aérea do Vazadouro de Duque de Caxias – Gramacho	185
Figura 35.	Etapas de Tratamento de RSU por Plasma	101	Figura 55.	Imagem Aérea do Vazadouro de Guapimirim	187
Figura 36.	RSU Fundido em Reator com Tocha de Plasma	102	Figura 56.	Imagem Aérea do Vazadouro de Sossego – Itaboraí	188
Figura 37.	Mineral Vítreo – Fundo do Reator com Tocha de Plasma	102	Figura 57.	Imagem Aérea do Vazadouro de Parque Aurora – Itaboraí	190
Figura 38.	Unidade de Plasma Térmico da Adesso Ambiental	103	Figura 58.	Imagem Aérea do Vazadouro de Santana – Itaguaí	191
Figura 39.	Entrada do RSU no Reator	104	Figura 59.	Imagem Aérea do Vazadouro de Cidade Industrial – Itaguaí	193
Figura 40.	Gaseificação por Plasma	104	Figura 60.	Imagem Aérea do Vazadouro de Japeri	194
Figura 41.	Recuperação de Calor	105	Figura 61.	Imagem Aérea do Vazadouro de Bongaba – Magé	195
Figura 42.	Tratamento do Gás de Síntese	105	Figura 62.	Imagem Aérea do Vazadouro de Itapeba – Maricá	197
Figura 43.	Geração de Energia	106	Figura 63.	Imagem Aérea do Vazadouro de Caxito – Maricá	198
Figura 44.	Infraestrutura do Aterro Sanitário	107	Figura 64.	Imagem Aérea do Vazadouro de Marambaia – Nova Iguaçu	198
Figura 45.	Captação do Chorume	107	Figura 65.	Imagem Aérea do Vazadouro de Morro do Céu – Niterói	200
Figura 46.	Lagoa de Chorume	108	Figura 66.	Imagem Aérea do Vazadouro de Paracambi	201
Figura 47.	Poço de Captação de Biogás	109			
Figura 48.	Desinfecção de RSS por Micro-ondas	117			
Figura 49.	Desinfecção de RSS por Autoclave	117			
Figura 50.	Fluxograma de Gerenciamento de Áreas Contaminadas	152			
Figura 51.	Espacialização dos Vazadouros na RMRJ	181			

Figura 67.	Imagem Aérea do Vazadouro de Duarte da Silveira – Petrópolis	202	Figura 83.	Usina Fotovoltaica Seropédica - 0,50 MW	226
Figura 68.	Imagem Aérea do Vazadouro de Pedro do Rio – Petrópolis	203	Figura 84.	Gráfico de Geração de Energia nas Usinas Fotovoltaicas	228
Figura 69.	Imagem Aérea do Vazadouro de Queimados	204	Figura 85.	Aplicação do Programa Reciclus Educa na Unidade SESI, em Duque de Caxias	239
Figura 70.	Imagem Aérea do Vazadouro de Rio Bonito	205	Figura 86.	Aplicação do Programa Reciclus Educa na Unidade SESI, em Petrópolis	240
Figura 71.	Imagem Aérea do Vazadouro de Gericinó – Rio de Janeiro	206	Figura 87.	Cenário de Proposição Primária	246
Figura 72.	Imagem Aérea do Vazadouro de Itaoca – São Gonçalo	208	Figura 88.	Criação dos Cenários de Projeto	247
Figura 73.	Imagem Aérea do Vazadouro de Seropédica	209	Figura 89.	Concepção Arquitetônica-Artística da Central de Tratamento de Resíduos	249
Figura 74.	Imagem Aérea do Vazadouro de Tanguá	210	Figura 90.	Concepção de uma UFV sobre o Lixão de Itaoca	250
Figura 75.	Principais Eixos Energéticos sobre Resíduos Sólidos da RMRJ	218	Figura 91.	Gráfico de Fluxo de Caixa Triagem	281
Figura 76.	Irradiação Solar Média Anual no Estado do Rio de Janeiro	222	Figura 92.	Gráfico Fluxo de Caixa Recuperação Energética através da Combustão	289
Figura 77.	Usina Fotovoltaica Gramacho – Duque de Caxias – 11 MW	224	Figura 93.	Gráfico Fluxo de Caixa Termodegradação	298
Figura 78.	Usina Fotovoltaica Marambaia - 3,48 MW	224	Figura 94.	Gráfico Fluxo de Caixa Biogás	304
Figura 79.	Usina Fotovoltaica Morro do Céu - 0,97 MW	225			
Figura 80.	Usina Fotovoltaica Paracambi – 2,31 MW	225			
Figura 81.	Usina Fotovoltaica Gericinó - 1,60 MW	226			
Figura 82.	Usina Fotovoltaica Itaoca - 1,46 MW	226			

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ANP	Agência Nacional de Petróleo	IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
ATT	Áreas de Triagem e Transbordo	INEA	Instituto Estadual do Ambiente
BNCC	Base Nacional Comum Curricular	IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento	IQA	Índice de Qualidade da Água
CAPEX	Capital Expenditure - Despesa de Capital	IRM	Instituto Rio Metrópole
CEPERJ	Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro	MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente	ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
CTR	Central de Tratamento de Resíduos	ONG	Organizações Não Governamentais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio	ONU	Organização das Nações Unidas
DQO	Demanda Química de Oxigênio	OPEX	Operational Expenditure – Custos Operacionais
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto	PACE	Platform for Accelerating the Circular Economy
ETR	Estação de Transferência de Resíduos	PEDUI	Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado
FDSR	Ficha com Dados de Segurança de Resíduos Químicos	PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos	PEV	Posto de Entrega Voluntário
GD	Geração Distribuída	PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
GEE	Gases do Efeito Estufa	P&D	Pesquisa e Desenvolvimento

PMetGIRS	Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNEA	Política Nacional de Educação Ambiental
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPP	Parcerias Público-Privadas
ProNEA	Programa Nacional de Educação Ambiental
PSAM	Programa de Saneamento Ambiental
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RDO	Resíduos Sólidos Domiciliares
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
ROI	Retorno sobre o Investimento
RSS	Resíduos do Serviço de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEAS	Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
SMAC	Secretaria de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SIN	Sistema Integrado Nacional

Sinduscon-Rio	Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Rio de Janeiro
TIR	Taxa Interna de Retorno
UTM	Unidades de Triagem Mecanizadas
VPL	Valor Presente Líquido

1. APRESENTAÇÃO

Segundo dados apresentados no *The Circularity Gap Report – 2019 – The Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE)*, “Nas últimas quatro décadas, o uso global de materiais quase triplicou, de 26,7 bilhões de toneladas em 1970 para 92,1 bilhões de toneladas em 2017. Não só o uso de materiais vem aumentando, como tem se acelerado, e é previsto ter um crescimento entre 170 e 184 bilhões de toneladas até 2050”.

Esse fenômeno é percebido no mundo inteiro e não se mostra de forma diferente na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). O aumento da procura por produtos manufaturados exige, cada vez mais, a criação de estratégias para o uso eficiente dos recursos naturais.

Diante desse cenário, a indústria tem investido cada vez mais na utilização cíclica de produtos e na redução de resíduos, incentivando e apoiando a diminuição do desperdício, melhor aproveitamento das matérias primas, reaproveitamento dos produtos e destinação ambientalmente adequada aos resíduos inevitavelmente gerados.

Lidar de maneira eficaz e sustentável com a crescente quantidade e diversidade de resíduos gerados, é um desafio global que vem sendo debatido há décadas.

A adoção de práticas responsáveis para benefício da comunidade, meio ambiente e gerações futuras é necessária para que seja possível o equilíbrio ambiental.

Assim, o prognóstico do PMetGIRS (Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos) se traduz como uma iniciativa inovadora e crucial para criar um impacto positivo duradouro para os

22 (vinte e dois) municípios contemplados na Região Metropolitana em um horizonte desafiador de 30 anos.

Antes de descrever a metodologia, será apresentado o primeiro olhar sobre o gerenciamento de resíduos definido pela Norma Técnica NBR 17100, Parte 1:2023 - Gerenciamento de Resíduos: Requisitos Gerais.

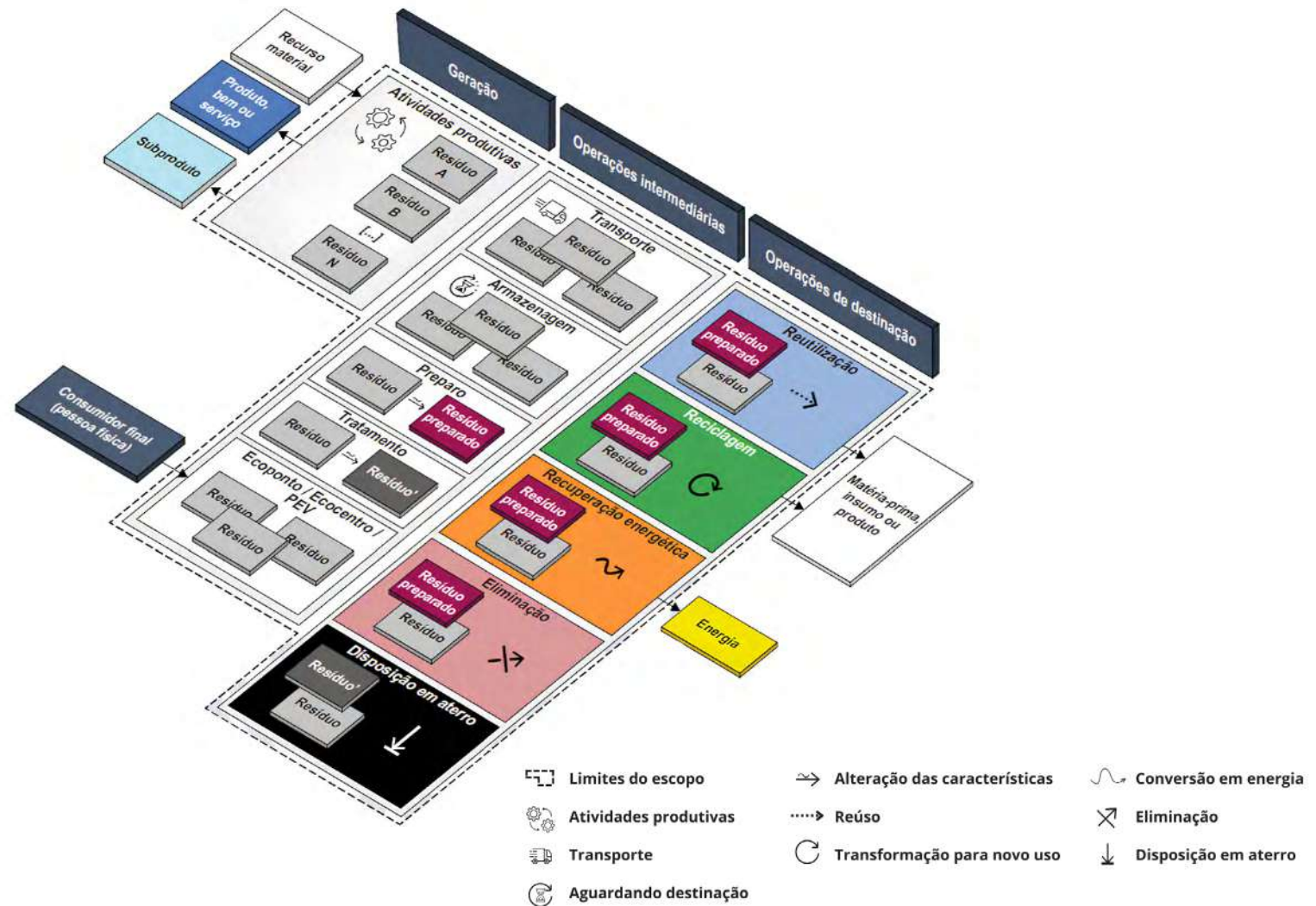
Esta norma técnica está alinhada com a crescente preocupação da sociedade com as questões ambientais e com o desenvolvimento sustentável. Por isso, tem como principais objetivos:

- Maximizar a valorização dos recursos presentes nos resíduos e evitar danos ou riscos à saúde pública e ao meio ambiente durante as etapas do gerenciamento dos resíduos;
- Harmonizar as informações e comunicações entre as partes interessadas envolvendo o gerenciamento de resíduos por meio de terminologia apropriada.

Esta norma técnica estabelece os requisitos gerais aplicáveis às etapas de gerenciamento de resíduos, desde a origem do resíduo até sua destinação, incluindo a movimentação e operações intermediárias, se houverem, de acordo com a sequência estabelecida na figura apresentada na folha a seguir.

A sequência de operações da Figura 1, apesar de ter sido desenvolvida para ser utilizada por organizações de diversos segmentos, portes e características, pode ser aplicada na abrangência requerida para o PMetGIRS, pois essa norma técnica se aplica aos geradores dos resíduos e demais operadores envolvidos na cadeia de gerenciamento de resíduos, desde sua geração até a sua destinação ou disposição final.

Figura 1: Indicação das Operações de Gerenciamento dos Resíduos



Fonte: NBR 17100-1:2023 - Gerenciamento de Resíduos. Parte 1: Requisitos Gerais

Esta norma técnica se aplica a todos os tipos de resíduos, independentemente de sua origem e periculosidade, excetuando-se:

- os solos provenientes de obras de terraplanagem;
- os resíduos constituídos de material e rejeito de mineração movimentados e depositados na própria mineração;
- os rejeitos radioativos;
- os resíduos não perigosos gerados por pessoa física na condição de consumidor final e sem relação com atividade econômica ou produtiva; e
- os materiais, substâncias, objetos ou bens, quando estes passarem a se enquadrar no “status de não resíduo” ou como subproduto.

Haja vista a complexidade dos temas contemplados no PMetGIRS e com base na relevância das contribuições que as normas técnicas fornecem, em especial complementando as regras e diretrizes determinadas pelas legislações nos níveis federal, estadual e municipais (questões tratadas nos próximos capítulos), entende-se que as normas técnicas citadas a seguir são referências a serem seguidas pelos atores que participam do processo de gerenciamento de resíduos.

São elas:

- ABNT NBR 7500 - Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos.
- ABNT NBR 10004 - Resíduos sólidos - Classificação.
- ABNT NBR 11174 - Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes - Procedimento.
- ABNT NBR 12235 - Armazenamento de resíduos sólidos perigosos - Procedimento.
- ABNT NBR 13221 - Transporte terrestre de produtos perigosos - Resíduos.

- ABNT NBR 13853-I - Recipientes para resíduos de serviços de saúde perfurantes ou cortantes - Requisitos e métodos de ensaio.
- ABNT NBR 15112 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- ABNT NBR 15113 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- ABNT NBR 16725 - Resíduo químico - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente - Ficha com dados de segurança de resíduos químicos (FDSR) e rotulagem.
- ABNT NBR 12810 - Resíduos de serviços de saúde - Gerenciamento extra estabelecimento - Requisitos.
- ABNT NBR 13894 - Tratamento no Solo (landfarming).
- ABNT NBR 13896 - Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.
- ABNT NBR 14725-4 - Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente - Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ).

Nota: A NBR 14725:2023 foi recentemente emitida e consolida todas as partes anteriormente contempladas pela edição 2014 em apenas uma.

- ABNT NBR 15114:2004 - de 30 de junho de 2004 - Resíduos Sólidos da Construção Civil - Áreas de Reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- ABNT NBR 15849 - Resíduos Sólidos Urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

A relação de normas técnicas aqui mencionada não pretende ser exaustiva, pois existem outras relacionadas ao tema de gerenciamento de resíduos. Porém, esta relação inclui todas as normas que estão citadas como referências na NBR 17100-1:2023 - Gerenciamento de resíduos. Parte 1: Requisitos gerais.

Inicialmente, para embasamento dos conceitos e dos pilares que compõem o prognóstico do Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos, faz-se necessário que sejam descritos os princípios que norteiam o processo de gerenciamento de resíduos.

São eles:

- Admitem-se como resíduos somente aqueles gerados a partir do descarte de materiais, substâncias, objetos ou bens utilizados nas atividades antropogênicas de produção ou consumo.
- Um material, substância, objeto ou bem deve passar a ser considerado como resíduo a partir do momento que ocorrer seu descarte.
- Entende-se por resíduo o material, substância, objeto ou bem que:
 - Foi gerado inevitavelmente ou não intencionalmente em um processo ou atividade, e que não possui propósito de uso junto ao gerador uma vez que, na condição ou estado em que se encontra não é possível seu uso no processo ou atividade que lhe deu origem;
 - Possuía um propósito finito, tendo se tornado sem utilidade após preencher o propósito inicial (por exemplo, embalagens, toners de impressoras vazios não retornáveis);
 - Possui uma performance não aceitável devido a uma falha na sua estrutura ou estado, ou ainda em decorrência do mau uso;
 - Não possui mais finalidade de emprego ou uso pelo gerador, ainda que possa manter a performance à qual se propõe.

Ao longo do tempo, os 3 R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) sofreram sucessivas evoluções, como o acréscimo de "Repensar" e "Recusar".

Para este Prognóstico, faz-se necessário aplicar o conceito mais adequado e atual, de maximizar o potencial de valorização dos resíduos por meio da hierarquização no gerenciamento de resíduos.

Segundo a norma técnica NBR 17100 - Parte 1:2023, entende-se por hierarquizar o gerenciamento de resíduos o estabelecimento da ordem de prioridade nas atividades de gerenciamento de resíduos sólidos.

Desta forma, o objetivo é promover o melhor aproveitamento dos recursos previstos: não geração, reutilização, reciclagem, recuperação energética, eliminação e disposição ambientalmente adequada.

Essas etapas inerentes à hierarquização descritas acima serão tratadas em diversos momentos desse Prognóstico do PMetGIRS, respeitando as premissas, o escopo e as interfaces pertinentes.

Por fim, cabe mencionar que o PMetGIRS foi criado para ser um plano de gerenciamento integrado, indicando a importância da colaboração entre os diversos atores envolvidos, tanto na esfera pública, quanto na esfera privada, incluindo a sociedade civil.

Assim, com investimentos e a cooperação conjunta de todos, será possível avançar com práticas cada vez mais sustentáveis, protegendo o ambiente e melhorando a qualidade de vida das gerações futuras.

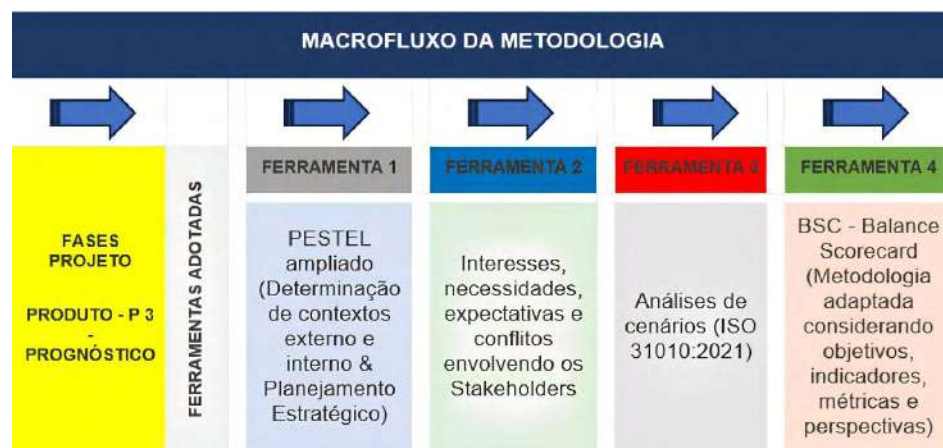
Equipe ENGECONSULT.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para estruturar o A metodologia adotada para estruturar o prognóstico considerou a aplicação de ferramentas de análise consagradas com suas adaptações e customizações pertinentes em virtude das particularidades desse processo tão complexo.

A Figura 2 mostra o macrofluxo que consolida as etapas e ferramentas adotadas para o gerenciamento desse Prognóstico.

Figura 2: Macrofluxo da Metodologia Adotada no PMetGIRS



Fonte: ENGECONSULT, 2023

2.1. PRIMEIRA FERRAMENTA - PESTEL AMPLIADO

Além dos aspectos ambientais diretamente relacionados ao tema de gerenciamento de resíduos, também é preciso considerar outros fatores relevantes como os políticos, econômicos, sociais, entre outros. Esses

fatores reunidos formam os contextos internos e externos nos quais o PMetGIRS está inserido.

Para fazer a análise desses fatores, foi utilizada a ferramenta conhecida como Análise PESTEL, onde cada letra representa um fator importante a ser considerado: Políticos, Econômicos, Sociais, Tecnológicos, Ecológicos e Legais (Tabela 1).

O PESTEL é um método de planejamento, que permite trazer uma visão geral de ameaças e oportunidades que podem interferir no contexto de cada um dos fatores anteriormente citados.

Tabela 1: Contextos Interno e Externo - PESTEL

Contextos interno e externo					
Fatores	Políticos	Econômicos	Sociais	Tecnológicos (Ambientais)	Legais / Regulatórios

Fonte: Adaptado pela equipe do projeto

Para estabelecer esse contexto foi utilizada a ferramenta conhecida como PESTEL Ampliada, que foi adaptada para acomodar novos fatores a serem considerados, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Novos Contextos Interno e Externo - PESTEL Ampliado

Contextos interno e externo					
Fatores	Logísticos	Institucionais	Demográficos	Educação e Conhecimento	Inovação

Fonte: Adaptado pela equipe do projeto

• Políticos (P):

Os fatores políticos desempenham um papel significativo na determinação dos fatores que podem impactar o gerenciamento integrado de resíduos sólidos em um plano estadual envolvendo um número significativo de municípios.

Essas questões estão expostas a variações do ambiente político nas esferas municipais, além da estadual (Rio de Janeiro), que se materializam em riscos e oportunidades inerentes aos sistemas políticos.

Dentre eles, é possível citar:

- O envolvimento e o engajamento a partir do reconhecimento da importância do projeto pelas representações municipais, tanto do executivo como do legislativo e do judiciário;
- Relações de integração, ambiente de articulação e parcerias entre as esferas de poder municipal e estadual;
- Participação e envolvimento de movimentos e organizações da sociedade civil e suas representações políticas como, por exemplo, instituições religiosas, ONG, sindicatos, movimentos de trabalhadores e outras organizações de base política;

- eleições, tendências políticas e mudanças de Governo, cujos resultados podem impactar o desenvolvimento do projeto;
- O ambiente externo e a política internacional, além de acordos internacionais voltados para o meio ambiente, podem ampliar a participação de atores e também gerar oportunidades no desenvolvimento e implantação do projeto.

• Econômicos (E):

O gerenciamento de resíduos e as questões financeiras, como o CAPEX (Capital Expenditure - Despesa de Capital) e o OPEX (Operational Expenditure – Custos Operacionais), estão intimamente relacionados quando se trata de projetos e iniciativas relacionadas à gestão dos resíduos.

Assim, serão exploradas as interligações desses aspectos, como por exemplo:

- Investimento em Infraestrutura:

O gerenciamento de resíduos envolve a implementação de infraestrutura adequada para a coleta, tratamento e disposição dos resíduos. Isso requer investimentos em veículos, equipamentos, instalações e tecnologias específicas para lidar com diferentes tipos de resíduos. Esses investimentos geralmente são classificados como CAPEX, pois representam despesas significativas realizadas para construir ou adquirir ativos duradouros que trarão benefícios ao longo do tempo.

- Tecnologias de Tratamento e Disposição:

As tecnologias usadas no tratamento de resíduos também podem exigir investimentos significativos. Isso pode incluir a compra de máquinas de reciclagem, equipamentos de compostagem, incineradores ou a criação de aterros sanitários, investimentos estes considerados como CAPEX.

- **Redução de Custos Operacionais:**

Os custos operacionais consistem na manutenção ou melhoria dos bens físicos, como equipamentos, propriedades e imóveis, além de custear as atividades operacionais. Embora a implementação de uma infraestrutura robusta de gerenciamento de resíduos envolva custos iniciais significativos, ela pode ajudar a reduzir os custos operacionais a longo prazo. Por exemplo, a reciclagem de materiais pode reduzir os custos de aquisição de insumos para indústrias. Portanto, os investimentos em gerenciamento de resíduos podem gerar economias operacionais ao longo do tempo.

- **Benefícios Financeiros a Longo Prazo:**

Um bom gerenciamento de resíduos pode trazer benefícios financeiros significativos a longo prazo, como o aumento da eficiência operacional, a conformidade com regulamentações ambientais e a redução de multas por práticas inadequadas de descarte. Esses benefícios financeiros podem compensar os custos iniciais do CAPEX e levar a uma melhor saúde financeira da organização.

- **Avaliação do Retorno sobre o Investimento (ROI):**

Ao tomar decisões sobre investimentos em gerenciamento de resíduos, as empresas e governos normalmente avaliam o ROI, ou seja, o retorno sobre o investimento. Isso implica comparar os benefícios financeiros esperados com os custos de investimentos. Projetos que prometem retornos mais rápidos ou maiores benefícios financeiros em relação ao investimento inicial são mais atraentes para os tomadores de decisão. No Brasil, os investidores preferem projetos com tempo de retorno entre 3 e 4 anos. Já americanos e europeus consideram como viáveis projetos com tempo de retorno maior, na faixa de 6 a 7 anos. Vale ressaltar que esses prazos são típicos e não necessariamente se reproduzirão na nossa realidade.

Em resumo, o gerenciamento de resíduos é uma área em que os aspectos financeiros, como o CAPEX e o OPEX, desempenham um papel fundamental na tomada de decisões.

Os investimentos iniciais em infraestrutura e tecnologia são essenciais para a implementação bem-sucedida de práticas sustentáveis de gerenciamento de resíduos, mas, apesar de representarem elevado desembolso em curto prazo, podem levar a benefícios financeiros significativos no longo prazo.

- **Sociais (S):**

Fatores sociais são determinantes em programas como o PMetGIRS especialmente em função da participação ativa de organizações sociais como as associações de catadores e associações de moradores, entre outras.

Os interesses, necessidades, expectativas e conflitos desses atores serão tratados pela segunda ferramenta utilizada (Interesses, necessidades, expectativas e conflitos envolvendo cada uma das partes interessadas - Metodologia adaptada).

É importante reconhecer que os riscos e impactos sociais, além dos econômicos e ambientais, podem ser diferentes nas várias etapas do PMetGIRS, sendo impossível prever com segurança todos os impactos.

Circunstâncias adversas poderão ocorrer, assim como as medidas de mitigação planejadas podem falhar por diferentes motivos.

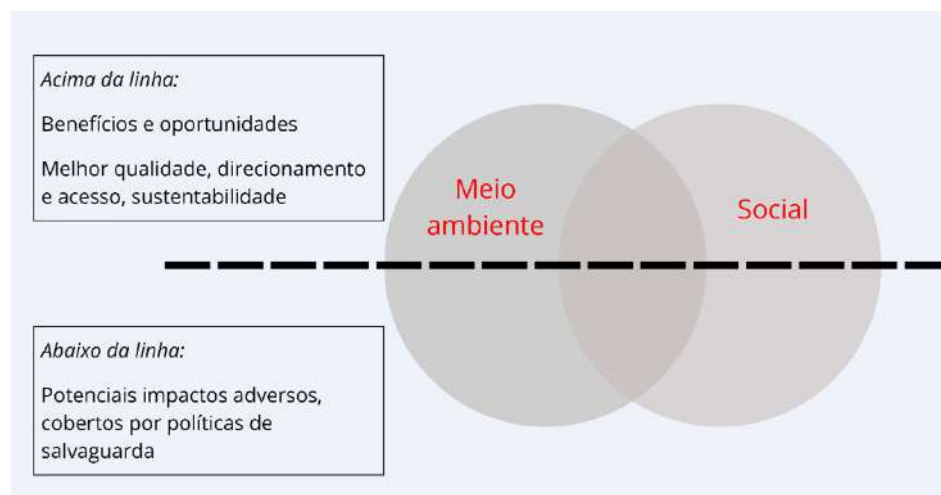
A análise social, o envolvimento dos atores e a atualização de planos e programas devem, portanto, estar integrados como elementos centrais durante todo o decorrer do PMetGIRS.

Esse processo contribui para aumentar os benefícios e oportunidades do PMetGIRS, bem como identificar e administrar o risco de possíveis impactos adversos.

A Figura 3 apresentada a seguir serve de ilustração, mostrando:

- (i) a sobreposição das questões ambientais e sociais e
- (ii) os benefícios “acima da linha” e os impactos adversos e riscos “abaixo da linha”.

Figura 3: Enfoque Ambiental e Social Integrado



Fonte: Avaliação de impacto social - Como integrar questões sociais a projetos de desenvolvimento - BID, 2017

Em sequência ao visto anteriormente, as interfaces entre as questões ambientais e sociais podem ser apresentadas, e posteriormente tratadas como riscos e oportunidades.

Alguns exemplos listados estão relacionados com os temas ambientais, sociais e as questões transversais.

Tabela 3: Temas Sociais e Ambientais e Questões Transversais

Temas Ambientais	Questões Transversais	Temas Sociais
Biodiversidade, habitat e florestas Recursos naturais vivos Prevenção e gestão da poluição Eficiência de recursos Dejetos e materiais perigosos Controle de pragas Serviços ecossistêmicos e fluxos ambientais Mudança climática e gases de efeito estufa	Herança cultural (tangível e intangível) Saúde e segurança ambiental Saúde e segurança da comunidade Consulta aos atores Cadeias de suprimento	Direitos humanos Inclusão social e grupos vulneráveis (Responsabilidade social do projeto) Reassentamento involuntário (escuta e participação dos grupos afetados) Participação e envolvimento dos atores sociais no projeto com atividades pré-existentes ou realocação em novas oportunidades

Fonte: BID, 2017 (Adaptação da figura)

Em complemento a essa abordagem, é possível considerar os seguintes fatores pertinentes ao enfoque social do PMetGIRS:

- Organizações políticas e representatividade: composição política e consciência política e socioambiental (políticas e projetos de educação política e educação ambiental existentes);
- Crises socioambientais (ocorrência de problemas ambientais com impacto social relevante: fragilidade no gerenciamento de resíduos, poluição do ar, falta de saneamento e consequentes alagamentos, pragas e doenças disseminadas);
- Organizações de movimentos sociais locais (movimentos de trabalhadores rurais, sindicatos, movimentos de atingidos por barragens, pastorais e outras organizações religiosas).

- Relações entre as instituições e a questão ambiental: as formas organizadas de tratamento da questão ambiental e, especialmente, com a existência de lixões ou aterros nas esferas locais.
- Nível de conscientização e desenvolvimento dessa consciência sobre a questão dos RSU: existência de programas e projetos escolares e de outras instituições (ONG, instituições religiosas) de conscientização para reutilização, coleta seletiva e descarte adequado do resíduo.
- Possibilidade de participação ativa das populações locais e de responsabilidade social do projeto com a permanência de atividades de trabalho e educação existentes anteriormente e inclusão de novas oportunidades.

• **Tecnológicos (T):**

Esses fatores incluem aspectos como atividades de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), automação, incentivos tecnológicos e a taxa de mudança tecnológica. Além disso, estes fatores também podem determinar as barreiras à entrada, o nível mínimo de operação eficaz e influenciar decisões sobre opções de compra de equipamentos.

As mudanças tecnológicas também podem afetar os custos, a qualidade e a produtividade das operações e levar à inovação em se tratando de um plano tão complexo como o PMetGIRS.

Como não poderia ser diferente, o gerenciamento de resíduos enfrenta vários desafios tecnológicos para lidar com a quantidade crescente de resíduos produzidos e garantir práticas sustentáveis de tratamento e disposição. Com base na NBR 17100 - Parte I - Gerenciamento de Resíduos: Requisitos Gerais, são estabelecidas tecnologias de acondicionamento para o transporte, armazenagem, preparo, destinação ou disposição de resíduos. Essas tecnologias, com seus respectivos códigos, estão descritas no Anexo I desse Prognóstico.

Complementarmente, o uso de tecnologias de monitoramento e rastreamento é importante para a gestão eficiente de resíduos. Isso pode incluir:

- Sistemas de Identificação por Radiofrequência (RFID) em contêineres de resíduos para rastrear sua movimentação e otimizar rotas de coleta, bem como sistemas de monitoramento de aterros para acompanhar o acúmulo de resíduos e a produção de biogás.
- Aplicativos móveis, plataformas de mídia social e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser usados para disseminar informações sobre coleta seletiva, reciclagem e redução do desperdício, contribuindo para aspectos de sensibilização e educação que tem por finalidade também engajar o público e na conscientização sobre práticas adequadas de gerenciamento de resíduos.
- Internet das Coisas (IoT) na Coleta de Resíduos: A aplicação de dispositivos IoT em contêineres de resíduos e caminhões de coleta pode otimizar o planejamento de rotas, melhorar a eficiência da coleta e fornecer dados em tempo real sobre os níveis de enchimento dos contêineres, evitando coletas desnecessárias e reduzindo custos operacionais.

Essas são apenas algumas das principais questões tecnológicas relacionadas ao gerenciamento de resíduos. O desenvolvimento contínuo e a adoção de tecnologias inovadoras são fundamentais para melhorar a eficiência, sustentabilidade e impacto ambiental das práticas de gerenciamento de resíduos no contexto do PMetGIRS.

• **Ecológicos (E):**

O fator ecológico, ou ambiental, abrange todas as influências sobre o meio, como as políticas e os impactos ambientais (sejam eles negativos ou positivos).

O aumento da consciência ambiental, tornou o fator ecológico ainda mais importante, levantando debates e preocupações com emissões de GEE,

gestão de resíduos, cuidados com espécies em extinção e a busca por energias limpas e renováveis, por exemplo.

As questões ecológicas relacionadas especificamente à gestão de resíduos se apresentam como o tema central do PMetGIRS e são detalhadas ao longo de todo esse plano.

- **Legais (Leg):**

Esse fator abrange a legislação específica do setor, regulamentações de proteção ao consumidor, direitos de propriedade intelectual, legislação trabalhista e qualquer outro aspecto legal relevante. Também podem ser considerados, quando pertinentes, aspectos como processos judiciais, litígios, conformidade regulatória, entre outros.

É possível destacar como marcos legais importantes para o PMetGIRS: a Lei Federal nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e que, acrescida pela Lei Complementar Estadual RJ nº 184/2018, reforçou a importância da elaboração de Planos Metropolitanos de Resíduos Sólidos.

A abordagem e o detalhamento das questões legais inerentes, bem como o complemento pelos demais requisitos legais pertinentes ao tema de gerenciamento de resíduos, estão descritos no Capítulo 4 - Aspectos Legais e Institucionais.

- **Logísticos (Log):**

As questões de logística desempenham um papel fundamental no gerenciamento de resíduos, especialmente em planos complexos e com as características do PMetGIRS. Isso se dá porque afetam a eficiência, a eficácia, a sustentabilidade e o custo geral das operações relacionadas desde a geração, passando pelas fases de coleta, transporte e tratamento, até a disposição final dos resíduos.

A logística pode influenciar o gerenciamento de resíduos de diversas formas diferentes. Entre elas, é possível citar:

- **Coleta Eficiente:**

A logística adequada é essencial para garantir a coleta eficiente de resíduos das fontes geradoras, como residências, empresas e indústrias. O planejamento de rotas otimizadas, a definição de horários de coleta e a seleção adequada de veículos e equipamentos são aspectos logísticos importantes para reduzir os custos operacionais e minimizar o impacto ambiental, como a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

- **Gestão de Fluxo de Resíduos:**

A logística é responsável por coordenar o fluxo dos resíduos desde o ponto de coleta até a sua disposição final. Isso envolve a escolha de rotas eficientes de transporte, o uso de estações de transferência para reduzir os custos de transporte dos resíduos coletados e a coordenação com instalações de tratamento ou aterros sanitários.

- **Rotogramas:**

São ferramentas visuais que representam as etapas sequenciais de um processo ou atividade. Eles podem ser extremamente úteis no contexto de sistemas logísticos para o gerenciamento de resíduos, pois fornecem uma representação clara e organizada do fluxo de atividades envolvidas no manejo, transporte, tratamento e disposição final de resíduos.

- **Infraestrutura de Transferência:**

A logística de resíduos muitas vezes requer a construção e operação de instalações ou estações de transferência, todas as vezes em que a distância do centro de coleta à área de tratamento ou disposição final excede 25 Km, onde os resíduos são transferidos dos veículos compactadores para carretas de maior capacidade volumétrica antes de serem transportados para locais de tratamento ou disposição final. Essas instalações têm o objetivo de reduzir a

distância percorrida pelos caminhões de coleta e otimizar o uso dos veículos de transporte.

- **Tecnologias de Rastreamento:**

Tecnologias de rastreamento e monitoramento são importantes na logística de resíduos para acompanhar a movimentação dos caminhões de coleta, garantir a conformidade com as rotas planejadas e fornecer dados em tempo real sobre o nível de enchimento dos contêineres, facilitando o planejamento de coleta.

- **Logística Reversa:**

A logística também é relevante para a implementação de sistemas de logística reversa, que visam coletar e encaminhar produtos e materiais descartados de volta para o ciclo produtivo ou para a reciclagem. A logística reversa requer planejamento cuidadoso para garantir a eficiência na coleta de produtos pós-consumo e sua recuperação ou reciclagem apropriada.

- **Economia Circular:**

Esse conceito tem como base o desenho de produtos, compartilhamento, manutenção, reutilização, remanufatura e reciclagem de materiais. Alinhado à abrangência preconizada pelo PMetGIRS, se apresenta como uma alternativa ao modelo tradicional, que envolve produção, consumo e descarte, uma vez que defende o uso dos recursos naturais com menos desperdício. Diante do aumento no uso de materiais e consequente aumento na geração de resíduos, o setor produtivo vem investindo em novos modelos de negócio, na utilização cíclica de produtos e materiais (sem formação de resíduos), e no redesenho de processos e produtos. Essas são atitudes típicas da economia circular, que favorecem a redução do desperdício e do consumo de matéria-prima, gerando ganhos ambientais e econômicos.

- **Redução de Custos e Aumento de Eficiência:**

Uma logística bem estruturada pode ajudar a reduzir os custos gerais do gerenciamento de resíduos, minimizando distâncias percorridas, otimizando o uso de veículos, evitando coletas desnecessárias, reduzindo o desperdício de recursos e aumentando a eficiência da coleta e do transporte, em geral.

- **Simulação de Cenários Logísticos:**

Com base no apresentado anteriormente, é possível realizar simulações de diferentes cenários para avaliar o impacto de mudanças no sistema logístico de gerenciamento de resíduos. Essa abordagem permite que as organizações tomem decisões mais informadas antes de implementar mudanças significativas no processo.

- **Institucionais (I):**

Planos como o PMetGIRS são uma parte essencial das políticas públicas e empresariais que visam lidar com os desafios ambientais e demais desafios associados ao fluxo e à cadeia de valores do processo de gerenciamento integrado do manejo dos resíduos sólidos. Diversos aspectos institucionais são fundamentais para o sucesso desses planos. Alguns desses principais aspectos são:

- **Responsabilidades Institucionais:**

No processo de gerenciamento de resíduos deve haver uma clara definição das responsabilidades das diferentes instituições envolvidas no gerenciamento de resíduos. Isso inclui órgãos governamentais responsáveis por elaborar políticas, regulamentos e fiscalização, empresas privadas ou públicas envolvidas na coleta, transporte e tratamento, bem como o papel das comunidades e dos geradores na segregação dos resíduos na fonte e seu descarte adequado.

- **Instituições de Fiscalização e Monitoramento:**

É necessário contar com órgãos governamentais ou agências responsáveis por fiscalizar o cumprimento das regulamentações de gerenciamento de resíduos. Essas instituições monitoram as atividades das empresas envolvidas, verificam a conformidade com as normas estabelecidas e aplicam medidas corretivas quando necessário.

- **Planejamento e Orçamento:**

As instituições responsáveis pelo gerenciamento de resíduos devem desenvolver planos estratégicos de longo prazo para a gestão sustentável dos resíduos. Isso inclui metas claras, prazos, ações prioritárias e a alocação de recursos humanos, materiais e financeiros adequados para implementar e manter os planos.

- **Parcerias Público-Privadas (PPP):**

Em muitos casos, é vantajoso estabelecer esse tipo de parceria entre o setor público e privado para otimizar a eficiência e a cobertura dos serviços de gerenciamento de resíduos. Essas parcerias podem abranger desde a coleta e transporte até o tratamento e a destinação final.

- **Consórcios Intermunicipais:**

Diante das características e proximidade de alguns municípios, também aparece como vantajoso o estabelecimento de consórcios intermunicipais, principalmente no que toca à destinação final dos resíduos.

- **Outras Parcerias:**

Parcerias existentes entre órgãos ambientais e instituições de ensino para projetos de educação ambiental; entre as instituições de ensino superior para desenvolvimento de projetos em parcerias

com as escolas municipais; na existência e participação de organizações locais e ONGs em audiências públicas eventuais nos municípios; e na participação de instituições sociais (câmara de vereadores, partidos políticos, instituições religiosas, escolas, etc.) em campanhas educacionais para conscientização sobre segregação na fonte, reutilização, coleta e descarte responsável.

Esses são alguns dos principais aspectos institucionais que devem ser considerados ao desenvolver e implementar planos de gerenciamento de resíduos eficientes, eficazes e sustentáveis.

Na dependência da especificidade do município, outros aspectos institucionais devem ser considerados, como a capacitação técnica das equipes responsáveis pelo manejo dos resíduos e a capacidade de endividamento do município.

A colaboração entre diferentes atores, o cumprimento das regulamentações, a conscientização pública e o uso de tecnologias adequadas são fatores-chave para o sucesso dessas iniciativas.

- **Demográficos (D)**

Os fatores demográficos consideram características populacionais relevantes, como tamanho, crescimento, redução, distribuição etária, distribuição de renda, níveis de educação e migração.

Esses fatores estão diretamente relacionados aos padrões de consumo e à demanda por produtos e serviços, consequentemente, à produção de RSU, conforme explicitado na Tabela 4. Os levantamentos demográficos e seus indicadores são referenciais importantes também para o conhecimento de recursos humanos qualificados e da necessidade de ampliar a educação e o conhecimento no que diz respeito à geração e direcionamento dos RSU.

Vale ressaltar que foram observadas variações significativas relacionadas ao número de habitantes e demais indicadores obtidos no último Censo

Demográfico realizado pelo IBGE (2022) que se relacionam de forma intensa com as questões do PMetGIRS. A tabela a seguir apresenta um recorte do Censo 2022 com dados relevantes dos 22 (vinte e dois) municípios contemplados pelo PMetGIRS.

Tabela 4: Inventário Metropolitano de RSU Atualizado

Item	Municípios	População IBGE (2022)	RSU Total (t/dia)	Ranking %	kg RSU/hab.dia
1	Rio de Janeiro	6.625.849	8.179,90	52,78%	1,23
2	Duque de Caxias	782.799	1.826,22	11,78%	2,33
3	Nova Iguaçu	819.134	1.117,81	7,21%	1,36
4	São Gonçalo	929.446	1.117,81	7,21%	1,20
5	Niterói	523.664	624,99	4,03%	1,19
6	Belford Roxo	446.731	424,08	2,74%	0,95
7	Itaboraí	231.004	311,55	2,01%	1,35
8	São João de Meriti	393.773	307,38	1,98%	0,78
9	Maricá	223.938	295,89	1,91%	1,32
10	Petrópolis	304.758	287,91	1,86%	0,94
11	Magé	248.208	243,87	1,57%	0,98
12	Itaguaí	132.867	151,3	0,98%	1,14
13	Queimados	139.194	111,78	0,72%	0,80
14	Mesquita	168.849	109,47	0,71%	0,65
15	Nilópolis	150.281	98,63	0,64%	0,66
16	Seropédica	85.359	72,33	0,47%	0,85

Item	Municípios	População IBGE (2022)	RSU Total (t/dia)	Ranking %	kg RSU/hab.dia
17	Paracambi	41.146	50,5	0,33%	1,23
18	Japeri	96.595	42,74	0,28%	0,44
19	Guapimirim	50.409	38,79	0,25%	0,77
20	Cachoeiras de Macacu	53.887	36,16	0,23%	0,67
21	Rio Bonito	55.068	34,26	0,22%	0,62
22	Tanguá	31.169	15,9	0,10%	0,51
Total/Média		12.534.128	15.499,27	100,00%	1,24

Fonte: IBGE e SNIR, (2022 e 2020)

• Educação e Conhecimento (EC)

Esse fator aborda a importância da educação e conhecimento como impulsionadores do desenvolvimento econômico e competitividade. Inclui a análise da disponibilidade de mão de obra qualificada, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, parcerias com instituições acadêmicas e a adoção de novas tecnologias. Esses fatores são preponderantes para a efetiva implementação do PMetGIRS. Na quarta ferramenta utilizada, será levada em consideração a “Perspectiva de Educação e Aprendizagem” conforme estabelecido pelo BSC (Balance Scorecard), que será fundamental para o encerramento desse prognóstico e conexão para o Plano de Ações, que compõe a fase posterior do plano de gerenciamento de resíduos.

• Inovação (I)

Intimamente ligado aos fatores tecnológicos anteriormente descritos, a capacidade de inovação em um setor ou indústria específica é de extrema

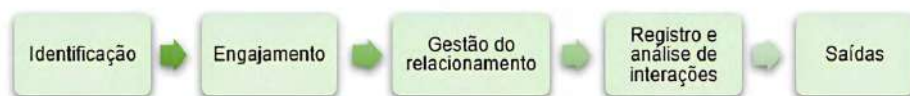
relevância. Em se tratando do PMetGIRS, serão tratados nesse plano as análises das tendências de inovação, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, colaborações com startups e a capacidade das organizações que compõem o plano de se adaptarem às mudanças tecnológicas. Ao longo dos demais capítulos serão apresentadas inovações, incluindo as tecnológicas, a fim de propor soluções eficazes e sustentáveis considerando, sempre que possível, os Estudos de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental (EVTEA's).

2.2. SEGUNDA FERRAMENTA - INTERESSES, NECESSIDADES, EXPECTATIVAS E CONFLITOS ENVOLVENDO OS ATORES (METODOLOGIA ADAPTADA)

Após o estabelecimento dos contextos interno e externo por meio da utilização da ferramenta PESTEL Ampliado, faz-se necessário compreender em que medida os interesses, necessidades, expectativas e conflitos envolvendo os atores desse PMetGIRS se apresentam. Esse entendimento dará as diretrizes de como será feito o gerenciamento no futuro (no Planejamento das atividades), de forma a estabelecer as ações necessárias para que o gerenciamento aconteça de forma eficaz.

O fluxo de gerenciamento pode ser visto na figura abaixo:

Figura 4: Fluxo de Gerenciamento de Atores



Fonte: ENGECONSULT, 2023

• Definição e Contextualização dos Atores

Em um primeiro momento é necessário definir e contextualizar que Atores são organizações ou indivíduos que têm um ou mais interesses, conflitos, necessidades e/ou expectativas em quaisquer decisões ou atividades inerentes ao projeto.

Por esses quesitos serem real ou potencialmente afetados pelas características e complexidades do PMetGIRS, são criadas relações entre os atores pertinentes. Os principais atores do PMetGIRS serão apresentados em uma tabela mais à frente.

Reiterando que essas questões são complexas e muitas vezes concorrentes e conflitantes entre os interesses, necessidades e expectativas desses atores.

Vale ressaltar ainda que as relações criadas por esses interesses, conflitos, necessidades e expectativas existem, inclusive, independentemente de os atores terem ou não consciência delas.

Nesse contexto, o interesse refere-se à base real ou potencial de uma reivindicação, ou seja, exigir algo que é devido ou exigir respeito a um direito. Essas reivindicações não necessariamente envolvem demandas financeiras ou direitos legais. Às vezes, uma reivindicação pode ser simplesmente o direito de ser ouvido.

A relevância ou significância de um interesse é melhor determinada por sua relação com o desenvolvimento sustentável.

A compreensão de como indivíduos ou grupos são, ou podem ser afetados pelas decisões e atividades de uma organização irá possibilitar a identificação dos interesses que estabelecem uma relação com as organizações que compõem o PMetGIRS. Portanto, a determinação dos impactos de suas decisões e atividades irá facilitar a identificação de seus atores mais importantes.

O PMetGIRS possui diversos atores e eles possuem interesses variados e por vezes conflitantes. Por exemplo, os interesses dos residentes da comunidade poderiam incluir os impactos positivos de uma organização, como emprego, melhorias nas vias de acesso à comunidade e melhorias na rede de iluminação pública e os impactos negativos da mesma organização, como poluição provocada por emissões atmosféricas e incômodos provocados pelo odor gerado em aterros sanitários, quando mal operados.

Nem todos os atores pertencem a grupos organizados que têm o propósito de representar seus interesses perante organizações específicas. Muitos atores podem não estar organizados de forma alguma e, por essa razão, podem ser negligenciados ou ignorados.

Grupos que defendem causas sociais ou ambientais podem ser atores cujas decisões e atividades tenham um impacto relevante e significativo em suas causas.

Para identificação dos atores pertinentes ao PMetGIRS foram formuladas as seguintes questões:

- Entidades com quem as organizações que compõem o PMetGIRS têm obrigações legais;
- Indivíduos ou grupos ou empresas que poderiam ser positivamente ou negativamente afetados pelas atividades ou decisões do PMetGIRS;
- Partes que provavelmente expressarão preocupação com as decisões e atividades desenvolvidas pelo PMetGIRS.
- Atores envolvidos anteriormente quando preocupações semelhantes precisaram ser tratadas;
- Colaboradores internos das organizações que compõem o PMetGIRS que podem ajudar a cuidar de impactos específicos;
- Entidades ou empresas que podem afetar a capacidade das organizações que compõem o PMetGIRS de arcar com suas responsabilidades;

- Partes que seriam desfavorecidas se fossem excluídas do processo de engajamento;
- Entidades, empresas, indivíduos que podem ser afetados, considerando a cadeia de valor das organizações que compõem o PMetGIRS.

• Engajamento dos Atores

O engajamento dos atores envolve diálogo entre as organizações que compõem o PMetGIRS. Ele ajuda as organizações a abordarem sua responsabilidade social ao fornecer uma base sólida para suas decisões.

Esse engajamento pode assumir várias formas. Pode ser iniciado por uma das organizações que compõem o PMetGIRS ou pela resposta de uma organização a um ou mais atores. Pode ocorrer em reuniões informais ou formais e pode adotar uma grande variedade de formatos, como reuniões individuais, conferências, workshops, audiências públicas, mesas-redondas, comitês consultivos, procedimentos regulares e estruturados de informação e consulta, negociação coletiva e fóruns na internet.

Convém que o engajamento dos atores seja interativo. Ele visa dar oportunidade para que as suas opiniões sejam ouvidas e sua característica principal é a comunicação de via dupla.

O engajamento dos atores pode ser usado para:

- Aumentar a compreensão das organizações que compõem o PMetGIRS sobre os prováveis efeitos de suas decisões e atividades em atores específicos;
- Determinar como melhor aumentar os impactos benéficos das decisões e atividades das organizações que compõem o PMetGIRS e como diminuir os impactos negativos;
- Determinar se as alegações das organizações que compõem o PMetGIRS acerca de sua responsabilidade social são vistas como confiáveis;

- Ajudar as organizações que compõem o PMetGIRS a analisarem seus desempenhos para melhorá-los;
- Conciliar conflitos envolvendo seus interesses, os interesses dos demais atores e as necessidades e expectativas da sociedade como um todo;
- Abordar a relação entre os interesses dos atores e as responsabilidades das organizações que compõem o PMetGIRS com a sociedade em geral;
- Contribuir para a aprendizagem contínua das organizações que compõem o PMetGIRS;
- Cumprir obrigações legais (por exemplo, com os empregados);
- Tratar de interesses conflitantes entre as organizações que compõem o PMetGIRS e os demais atores;
- Proporcionar para as organizações que compõem o PMetGIRS os benefícios da obtenção de diferentes perspectivas;
- Aumentar a transparência de suas decisões e atividades; e
- Formar parcerias para atingir objetivos mutuamente benéficos.

Na maioria das situações, as organizações que compõem o PMetGIRS já saberão, ou poderão facilmente saber, quais são as necessidades e expectativas da sociedade sobre a forma como convém que a organização cuide de seus impactos.

Nessas circunstâncias, elas não precisam depender do engajamento dos atores específicos para compreender essas necessidades e expectativas, apesar do processo de engajamento trazer outros benefícios.

As expectativas da sociedade também são encontradas em leis e regulamentos, expectativas sociais ou culturais amplamente aceitas e em normas ou melhores práticas estabelecidas relativas a assuntos específicos.

Convém que as expectativas criadas pelo engajamento dos atores venham se somar em vez de substituir as expectativas criadas sobre os comportamentos das organizações que compõem o PMetGIRS.

O envolvimento e preferencialmente o engajamento dos atores é essencial para planos da magnitude e complexidade do PMetGIRS e pode ser considerado como a pedra angular de uma tomada de decisão informada e de boa governança.

A matriz a seguir estabelece a metodologia que foi adotada nesse Prognóstico do PMetGIRS para esse gerenciamento:

Foi considerada a “Sociedade”, sob a tutela e representação do IRM (Instituto Rio Metrópole) em virtude de suas responsabilidades e competências outorgadas, como ator preponderante para a aplicação dessa metodologia.

Sendo assim, os interesses, necessidades, expectativas e conflitos descritos na tabela a seguir são os que a “Sociedade” espera em relação aos demais atores relacionados ao PMetGIRS.

A seguir é apresentada a sistemática adotada para gerenciamento dos atores no contexto do PMetGIRS:

- Identificação e categorização do ator;
- Necessidades, Expectativas, Interesses e Conflitos em relação ao PMetGIRS;
- Tipos de relacionamento - Os relacionamentos podem se dar por:
 - Proprietário / Investidor: Por responsabilidade;
 - ONG: Por influência;
 - Comunidade (Vizinhança): Por proximidade;
 - Funcionários: Por dependência;
 - Órgãos Regulamentadores: Por autoridade;

- Clientes e Provedores (Fornecedores & Prestadores de Serviços): Por relação comercial;
- Órgãos Representativos do Setor: Por representação;
- Órgãos de Financiamento: Por relação financeira.
- Nível de influência - Poder de impacto nos objetivos, resultados e imagem do PMetGIRS;
- Intensidade do nível de interesse deste ator no contexto do PMetGIRS;
- Resultado / Estratégia - Estratégia resultante do cruzamento: poder de impacto x nível de interesse;
- Exemplos de ações que podem ser implementadas de acordo com a estratégia resultante.

Após a aplicação da sistemática apresentada os atores serão classificados conforme categorização a seguir:

Tabela 5: Classificação dos Atores quanto às Ações de Gerenciamento

Influência	Interesse	Estratégia
Alto	Alto	Gerenciar com atenção
Alto	Baixo	Manter satisfeito
Baixa	Alto	Manter informado
Baixa	Baixo	Monitorar

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Após a aplicação das classificações estabelecidas conforme critérios definidos na Tabela 5, com base nos resultados obtidos pelo cruzamento dos dados “Poder de impacto nos objetivos, resultados e imagem do

PMetGIRS” X “Intensidade do nível de interesse deste ator no contexto do PMetGIRS”, estão definidos os tipos de estratégias a serem adotadas de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 6: Exemplos de Ações de Gerenciamentos x Estratégias.

Estratégias	Ações de Gerenciamento
Gerenciar com Atenção	Cumprir com o que foi acordado ou com o que está na legislação e comprovar
	Reunião de acompanhamento
	Apresentar resultados de mitigação de impactos negativos
	Adaptar em função das particularidades do ator
Manter Satisfeito	Seguir o planejamento acordado
	Realizar reuniões com temas de interesse com os atores
	Convidar para evento/atividades os atores (quando for possível)
	Divulgar impactos positivos
Manter Informado	Adaptar em função das particularidades do ator
	Mala direta com informações sobre o andamento do PMetGIRS;
	Relatórios de desempenho;
	Adaptar em função das particularidades do ator

Tabela 6: Exemplos de Ações de Gerenciamentos x Estratégias. (continuação)

Estratégias	Ações de Gerenciamento
Monitorar	Monitorar pela mídia;
	Monitorar por redes sociais;
	Adaptar em função das particularidades do ator

Fonte: Adaptado pela Equipe do Projeto.

A seguir será apresentada a aplicação da matriz de gerenciamento das necessidades, expectativas, conflitos e interesses dos atores, considerando os critérios e ações estabelecidas acima:

Nota: Os relacionamentos podem ser por: Proprietário / Investidor: Por responsabilidade; ONG: Por influência; Comunidade (Vizinhança): Por proximidade; Funcionários: Por dependência; Órgãos Regulamentadores: Por autoridade; Clientes e Provedores (Fornecedores & Prestadores de Serviços): Por relação comercial; Órgãos Representativos do Setor: Por representação; Órgãos de Financiamento: Por relação financeira.

Tabela 7: Gerenciamento dos Interesses, Necessidades, Expectativas e Conflitos de Atores

Identificação do ator	Categoriz.	Necessidades, expectativas, interesses, conflitos	Tipos de relacionam.	Nível de influência	Nível de interesse	Resultado / estratégia	Exemplo de ações de acordo com a estratégia
Órgão de Controle Ambiental Estadual	INEA	Garantir o cumprimento às legislações ambientais	Por autoridade	Alto	Alto	Gerenciar com atenção	Cumprir com o que foi acordado ou com o que está na legislação e comprovar. Realizar reuniões de acompanhamento, sempre que solicitado.
	Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade						
Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Dos 22 municípios do PMetGIRS	Garantir o cumprimento às legislações ambientais	Por autoridade	Alto	Alto	Gerenciar com atenção	Cumprir com o que foi acordado ou com o que está na legislação e comprovar. Realizar reuniões de acompanhamento, sempre que solicitado.
Associação e/ou Cooperativa de catadores de resíduos	Distribuídos na região dos 22 municípios do PMetGIRS, onde existentes	Garantir a disponibilidade contínua de resíduos recicláveis para comercialização e remuneração	Por influência	Alto	Alto	Gerenciar com atenção	Cumprir com o que foi acordado e comprovar. Realizar reuniões de acompanhamento, sempre que solicitado.

Tabela 7: Gerenciamento dos Interesses, Necessidades, Expectativas e Conflitos de Atores. (continuação)

Identificação do ator	Categoriz.	Necessidades, expectativas, interesses, conflitos	Tipos de relacionam.	Nível de influência	Nível de interesse	Resultado / estratégia	Exemplo de ações de acordo com a estratégia
Comunidades nos entornos dos locais de operação dos aterros	Distribuídas na região dos 22 municípios do PMetGIRS, onde existentes	Garantir a minimização e/ou mitigação de impactos negativos oriundos da operação dos aterros como por exemplo, odor, emissões atmosféricas e ruído.	Por vizinhança	Baixo	Alto	Manter informado	Mala direta com informações sobre o andamento do PMetGIRS. Enviar relatórios periódicos de desempenho e /ou andamento do PMetGIRS.
Organizações da cadeia de gerenciamento de resíduos	Transportadores de resíduos	Garantir a geração contínua de resíduos a serem transportados a fim de potencializar a continuidade do negócio	Por relação comercial	Baixo	Alto	Manter informado	Mala direta com informações sobre o andamento do PMetGIRS. Enviar relatórios periódicos de desempenho e / ou andamento do PMetGIRS.
Organizações da cadeia de gerenciamento de resíduos	Receptores de resíduos	Garantir a geração contínua de resíduos a serem recebidos a fim de potencializar a continuidade do negócio	Por relação comercial	Baixo	Alto	Manter informado	Mala direta com informações sobre o andamento do PMetGIRS. Enviar relatórios periódicos de desempenho e / ou andamento do PMetGIRS.
Órgãos de financiamento de equipamentos e tecnologias para tratamento de resíduos	Bancos e/ou outras instituições financeiras	Cumprimento dos pagamentos dos financiamentos estabelecidos	Por relação financeira	Alto	Alto	Gerenciar com atenção	Cumprir com o que foi acordado e comprovar. Realizar reuniões de acompanhamento, sempre que solicitado.
Organizações não governamentais (ONG) que atuem nas áreas ambiental e social	NA	Garantir o desempenho do PMetGIRS adequado sob às dimensões ambiental e social	Por influência	Alto	Alto	Gerenciar com atenção	Cumprir com o que foi acordado e comprovar. Realizar reuniões de acompanhamento, sempre que solicitado.

Fonte: Adaptado pela equipe do projeto

Ao longo da implementação do PMetGIRS e em função de seus desdobramentos essa tabela de atores deverá ser ampliada e customizada.

2.3. TERCEIRA FERRAMENTA – ANÁLISE DE CENÁRIOS (METODOLOGIA ADAPTADA DA ISO 31010:2022)

• Visão Geral:

Estudos realizados pela ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) em 2022 mostram que, neste ano, 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos foram gerados, dos quais 61% foram destinados para aterros sanitários.

Diante deste cenário e da alta demanda por materiais reciclados, o principal desafio do setor é conectar o resíduo produzido aos setores que fazem o reaproveitamento desses materiais.

No que tange ao fomento da indústria da reciclagem, as políticas nacionais são uma das principais soluções para a gestão dos resíduos, economia circular e redução nas emissões de carbono, além de potencialmente gerar renda para os catadores de material reciclável.

Vale destacar também o Fundo de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem (Favorecicle) e o Fundo de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecicle), criados pela Lei Federal nº 14.260, de 08 de dezembro de 2021, ambos com o objetivo de estimular a cadeia produtiva da reciclagem e fomentar o uso de matérias-primas e de insumos de materiais recicláveis e reciclados, embora ainda não seja possível submeter projetos, tampouco captar recursos, dados que seguem pendentes de regulamentação pela CVM e do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (UNGARETTI et al, 2023).

• Utilização:

Análise de cenário é o nome dado a uma série de técnicas que envolvem o desenvolvimento de modelos de como o futuro pode ser. Em termos gerais, consiste em determinar um cenário plausível e trabalhar o que pode acontecer, dados os vários desenvolvimentos futuros possíveis.

Para escalas de tempo relativamente curtas, pode envolver a extrapolação do que aconteceu no passado.

Para escalas de tempo mais longas, como é o caso do PMetGIRS que estabelece um cenário de futuro de até 30 anos, a análise de cenário envolverá a construção de um cenário projetado com base nos dados coletados e a exploração da natureza dos riscos dentro desse cenário.

Mais frequentemente aplicada por um grupo de atores, com diferentes interesses e especialidades, a análise de cenário envolve a definição de alguns detalhes dos cenários a serem considerados e a exploração das implicações de cada um e do risco associado.

As mudanças comumente consideradas incluem:

- Mudanças no macroambiente (como apresentado na ferramenta PESTEL Ampliado - 1ª ferramenta adotada na Metodologia);
- Mudanças mais específicas, em relação ao PMetGIRS, associadas aos fatores preponderantes identificados no PESTEL Ampliado, como por exemplo, mudanças em: tecnologia; logística; inovação e dados demográficos, entre outros;
- Alterações nos interesses, necessidades, expectativas e conflitos pertinentes aos atores contemplados no PMetGIRS e como elas podem impactar o plano (2ª ferramenta adotada na Metodologia);
- Possíveis decisões futuras com base nos cenários apresentados ao final do Prognóstico e considerando também os resultados descritos na 4ª ferramenta adotada na Metodologia – BSC Balance Scorecard.

- **Entradas:**

Para realizar uma análise de cenário, são necessários dados sobre tendências e mudanças atuais e ideias para mudanças futuras.

Para cenários complexos ou de muito longo prazo, é necessária especialização na técnica.

Dentre as principais entradas pode-se destacar:

- **Diversidade de Resíduos:**

A variedade de resíduos gerados exige uma compreensão abrangente das diferentes características e impactos ambientais;

- **Tecnologia e Infraestrutura:**

É necessário investimento em tecnologias de tratamento, reciclagem e disposição adequada dos resíduos. A infraestrutura de coleta, transporte e processamento também é fundamental;

- **Legislação e Normas Técnicas:**

A legislação ambiental e as normas técnicas influenciam a forma como os resíduos devem ser gerenciados;

- **Conscientização Pública:**

A educação e conscientização da população são cruciais para promover a separação adequada de resíduos na fonte e incentivar a participação em programas de reciclagem.

- **Saídas:**

A saída pode ser uma narrativa para cada cenário, que conta como alguém pode passar das condições presentes para o cenário em questão.

Os efeitos considerados podem ser benéficos e prejudiciais e as narrativas podem incluir detalhes plausíveis que agreguem valor aos cenários.

Outros resultados podem incluir uma compreensão dos possíveis efeitos da política ou planos para vários futuros plausíveis, uma lista de riscos que podem surgir se os futuros se desenvolverem e, em algumas aplicações, uma lista de indicadores antecedentes para esses riscos.

Dentre as principais saídas pode-se destacar:

- **Redução de Impacto Ambiental:**

O gerenciamento integrado visa minimizar a poluição do solo, água e ar, bem como reduzir as emissões de gases de efeito estufa associadas ao tratamento de resíduos;

- **Reciclagem e Reutilização:**

A reciclagem e a reutilização de materiais reduzem a extração de recursos naturais e a área necessária para a implantação de aterros sanitários;

- **Geração de Energia:**

Alguns resíduos podem ser utilizados para a geração de energia por meio de processos como o mass burning ou a digestão anaeróbia com produção de biogás a partir de resíduos orgânicos;

- **Economia Circular:**

O gerenciamento integrado de resíduos está alinhado com os princípios da economia circular, onde os resíduos são vistos como recursos valiosos.

- **Pontos fortes:**

Os pontos fortes oriundos da análise de cenário incluem o seguinte:

- Levam em consideração uma gama de futuros possíveis. Isso pode ser preferível à abordagem tradicional de confiar em previsões que pressupõem que os eventos futuros provavelmente continuarão a

seguir as tendências anteriores. Isso é importante para situações em que haja pouco conhecimento atual no qual basear as previsões ou em que os riscos estejam sendo considerados a longo prazo.

- Apoiam a diversidade de pensamento;
- Incentivam o monitoramento dos indicadores principais de mudança;
- Ajudam a construir resiliência para o que quer que ocorra com base em decisões tomadas para os riscos identificados.

Dentre os principais pontos fortes merecem ser destacados:

- **Minimização de Impactos:**
O enfoque integrado ajuda a reduzir os impactos ambientais, promovendo a utilização eficiente dos recursos;
- **Sustentabilidade:**
Ao incorporar práticas de economia circular, o gerenciamento integrado contribui para a sustentabilidade ambiental e econômica;
- **Cooperação Interdisciplinar:**
Requer a colaboração entre diversos setores, como governos, indústrias, comunidades locais e instituições acadêmicas;
- **Inovação Tecnológica:**
Estimula o desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de tratamento e reciclagem de resíduos.

- **Limitações:**

As limitações oriundas da análise de cenário incluem o seguinte:

- Os cenários usados podem não ter uma base adequada, por exemplo, os dados podem ser especulativos, podendo produzir resultados irreais;

- Há poucas evidências de que os cenários explorados para o futuro de longo prazo sejam aqueles que realmente ocorrem.

Dentre as principais limitações pode-se destacar

- **Custos Financeiros:**
A implementação de infraestrutura e tecnologias adequadas pode ser onerosa, exigindo investimentos significativos;
- **Desafios Técnicos:**
O tratamento de certos tipos de resíduos, como os perigosos, pode ser complexo e demandar tecnologias avançadas;
- **Resistência Cultural:**
Mudanças nos hábitos de consumo e gestão de resíduos podem encontrar resistência cultural e comportamental;
- **Monitoramento e Fiscalização:**
Garantir o cumprimento das regulamentações e a qualidade dos processos de gerenciamento pode ser desafiador;
- **Necessidade de Esforços Coordenados:**
O gerenciamento integrado de resíduos é uma abordagem essencial para lidar com os desafios ambientais associados ao descarte de resíduos. No entanto, requer esforços coordenados de vários setores e partes interessadas para alcançar resultados eficazes e sustentáveis.

Na figura a seguir é apresentada uma visão consolidada de um dos cenários identificados para o PMetGIRS.

Figura 5: Visão Consolidada dos Cenários



Fonte: ENGECONSULT, 2023

2.4. QUARTA FERRAMENTA – BSC (BALANCE SCORECARD) – ABORDAGEM EXPANDIDA E ADAPTADA PARA O CONTEXTO DO PMETGIRS

A seguir é apresentada a visão geral do BSC (Balance Scorecard), que foi customizada para as características e particularidades do PMetGIRS.

O Balance Scorecard (BSC) ou “Painel de Controle Balanceado”, é uma ferramenta de gestão estratégica que foi desenvolvida no início da década

de 1990 por Robert Kaplan e David Norton, professores da Harvard Business School.

A motivação inicial se deu por conta da insuficiência à época dos indicadores financeiros que eram utilizados para avaliar o desempenho de uma organização.

Por conta de sua abrangência mais completa e equilibrada para medir o desempenho de uma organização, já que além da perspectiva financeira, o BSC “clássico” contempla ainda as perspectivas dos processos internos, dos clientes e a de aprendizagem e crescimento.

Em função das particularidades do PMetGIRS e em sinergia com as demais ferramentas utilizadas nessa metodologia foram adaptadas as perspectivas financeiras/econômicas, processos internos (logística/tecnologia/ inovação), atores e a de aprendizagem (educação e crescimento).

Em sequência são apresentados, por meio de tabelas, os objetivos, indicadores e métricas considerados pertinentes ao PMetGIRS separados por cada uma das perspectivas definidas e que representam a primeira fração da tabela completa do BSC - Balance Scorecard.

Figura 6: Perspectivas do BSC



Fonte: ENGECONSULT, 2023

Tabela 8: BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Financeira (Econômica).

Financeiras (econômicas)			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Perspectiva
Otimizar a relação entre despesas com manejo/despesas correntes	Despesas com manejo/despesas correntes (%)	Monitorar a incidência das despesas com o manejo de RSU nas despesas correntes da RMRJ	Qualidade e eficiência do serviço
Reduzir a participação do custo do tratamento e disposição final de RSS no custo total de manejo de RSU	Incidência do custo do serviço de tratamento e disposição final de resíduos de saúde (RSS) no custo total do manejo de RSU (%)	Monitorar a incidência do custo do serviço de tratamento e disposição final de resíduos de saúde (RSS) no custo total do manejo de RSU (%)	Qualidade e eficiência do serviço
Reduzir a participação do custo do tratamento e disposição final (RDO+RPU) no custo total de manejo de RSU	Despesas com os serviços de tratamento e destinação final (RDO+RPU) no custo total com limpeza urbana (%)	Monitorar a incidência das despesas com os serviços de tratamento e destinação final (RDO + RPU) no custo total com limpeza urbana (%)	Qualidade e eficiência do serviço
Buscar a autossuficiência financeira RMRJ com o manejo de RSU	Autossuficiência financeira da RMRJ com o manejo de RSU (%)	Relacionar receita arrecadada para o manejo de RSU com despesa total da Prefeitura	Relação entre receita e despesa
Reduzir custo unitário médio do serviço de beneficiamento / destinação final de RCC (R\$/t)	Custo unitário médio do serviço de beneficiamento / destinação final de RCC (R\$/t)	Monitorar a incidência do custo unitário médio do serviço de beneficiamento / destinação final de RCC (R\$/t)	Eficiência econômica do serviço

Tabela 8: BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Financeira (Econômica). (continuação)

Financeiras (econômicas)			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Perspectiva
Reduzir custo unitário médio do serviço de coleta RCC (R\$/t)	Custo unitário médio do serviço de coleta RCC (R\$/t)	Monitorar o custo unitário médio do serviço de coleta RCC	Eficiência econômica do serviço
Avaliar a eficiência econômica do serviço de destinação final de RSS	Custo unitário médio do serviço de tratamento e destinação final de resíduos RSS (R\$/t)	Monitorar o custo unitário médio do serviço de tratamento e destinação final de resíduos RSS	Eficiência econômica do serviço
Reduzir custo unitário médio do serviço de tratamento e destinação final de resíduos RSS (R\$/t)	Custo unitário médio do serviço de coleta seletiva realizada por cooperativa de catadores (R\$/t)	Monitorar o custo unitário médio do serviço de coleta seletiva realizada por cooperativa de catadores	Eficiência econômica do serviço
Reduzir custo unitário médio do serviço de transbordo e transporte ao destino final RDO+RPU (R\$/t)	Custo unitário médio do serviço de transbordo e transporte ao destino final RDO+RPU (R\$/t)	Monitorar o custo unitário médio do serviço de transbordo e transporte ao destino final RDO+RPU	Eficiência econômica do serviço
Reduzir custo unitário médio do serviço de destinação final de resíduos RDO+RPU (R\$/t)	Custo unitário médio do serviço de destinação final de resíduos RDO+RPU (R\$/t)	Monitorar o custo unitário médio do serviço de destinação final de resíduos RDO+RPU	Eficiência econômica do serviço

Financeiras (econômicas)			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Perspectiva
Reduzir a despesa da prefeitura com o manejo de RSU com base na população urbana.	Despesa per capita com manejo de RSU com relação à população urbana (R\$/hab)	Monitorar a incidência das despesas per capita com manejo de RSU com relação à população urbana	Relação entre despesa per capita e população urbana

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Tabela 9: BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva dos Atores

Atores			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Ator
Reduzir custos	Taxa de Redução de Custos	Reflete a eficiência na redução dos custos associados ao gerenciamento de resíduos, como descarte e transporte.	Acionista / Investidor
Aumentar ROI	Taxa de Retorno sobre Investimento (ROI) em Iniciativas de Sustentabilidade	Avalia o retorno financeiro obtido a partir dos investimentos feitos em práticas de gerenciamento de resíduos mais sustentáveis.	Acionista / Investidor
Reduzir emissões de GEE	Taxa de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)	Mensura o impacto ambiental positivo ao reduzir as emissões de GEE associadas ao processo de gerenciamento de resíduos.	Comunidade

Tabela 9: BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva dos Atores (continuação)

Atores			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Ator
Aumentar participação de comunidade em Programas de Educação Ambiental	Taxa de Participação em Programas de Educação Ambiental	Mede o envolvimento da comunidade local em programas educativos que visam conscientizar sobre a importância do gerenciamento adequado de resíduos.	Comunidade
Garantir conformidade legal	Conformidade com legislações e normas técnicas	Avalia o grau de cumprimento das regulamentações e normas locais de gerenciamento de resíduos.	Órgão de Controle Ambiental
Garantir conformidade legal	Nº de Infrações Ambientais Relacionadas	Monitora a conformidade da empresa com as regulamentações ambientais e a ocorrência de infrações.	Órgão de Controle Ambiental
Melhorar adesão às rotinas operacionais	Taxa de Adesão às Diretrizes de Separar Resíduos	Mede o cumprimento dos funcionários em relação à separação adequada de resíduos no local de trabalho.	Funcionários das empresas
Aumentar satisfação de clientes	Taxa de Satisfação dos Clientes	Avalia o grau de satisfação dos clientes com os serviços de gerenciamento de resíduos, refletindo a qualidade do serviço prestado.	Clientes
Reduzir tempo de resposta de coleta especial	Tempo de Resposta a Solicitações de Coleta Especial	Mede a rapidez com que a empresa atende às solicitações de coleta especial de resíduos por parte dos clientes.	Clientes

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Tabela 10: BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Processos (Tecnologia; Logística e Inovação).

Processos (tecnologia; logística e inovação)			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Perspectiva
Aumentar nº de novas tecnologias	Nº de novas tecnologias implementadas	Acompanha a quantidade de tecnologias inovadoras adotadas para melhorar o gerenciamento de resíduos, como sensores de enchimento de contentores, monitoramento de rotas etc.	Inovação tecnológica
Incrementar investimentos em P&D	Valor de Investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para Tecnologias de Gerenciamento de Resíduos	Reflete o compromisso com a inovação, medindo os recursos destinados ao desenvolvimento de soluções tecnológicas.	Inovação tecnológica
Aumentar automação em processos de triagem	Taxa de Automação no Processo de Triagem	Mede a proporção de resíduos que são triados automaticamente por tecnologias de classificação, reduzindo a necessidade de intervenção humana.	Eficiência operacional
Aumentar eficiência na compactação de resíduos	Eficiência na Compactação de Resíduos	Avalia o grau de compactação dos resíduos utilizando tecnologias de compactação avançadas, impactando na otimização do espaço e na redução de custos de transporte.	Eficiência operacional

Tabela 10: BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Processos
(Tecnologia; Logística e Inovação). (continuação)

Processos (tecnologia; logística e inovação)			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Perspectiva
Reduzir tempo de resposta para solicitação de coleta	Tempo Médio de Resposta a Solicitações de Coleta via Aplicativo	Avalia a eficácia das tecnologias de comunicação (como aplicativos móveis) na gestão das solicitações de coleta de resíduos por parte dos clientes.	Qualidade do Serviço
Incrementar precisão na rota de coleta	Taxa de Precisão na Rota de Coleta	Mede a exatidão da rota de coleta planejada versus a rota executada, utilizando tecnologias de geolocalização e roteamento.	Qualidade do Serviço
Aumentar disponibilidade de sensores em monitoramento de contentores	Taxa de Disponibilidade de Sensores de Monitoramento de Contentores	Mede a proporção de contentores equipados com sensores de monitoramento para otimizar a coleta de resíduos em tempo real.	Capacidade de monitoramento
Aumentar adesão à Plataforma Online	Percentual de Adesão à Plataforma Online de Informações sobre Resíduos	Avalia o grau de adesão de clientes e comunidade a plataformas online que fornecem informações detalhadas sobre o gerenciamento de resíduos.	Capacidade de monitoramento

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Tabela 11: BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Aprendizagem
(Educação e Conhecimento)

Aprendizagem (educação & conhecimento)			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Perspectiva
Aumentar participação em treinamentos	Taxa de Participação em Treinamentos de Gerenciamento de Resíduos	Mede a proporção de funcionários que participaram de treinamentos relacionados ao correto gerenciamento de resíduos, visando melhorar seus conhecimentos e práticas.	Capacitação e Desenvolvimento
Aumentar o número e/ou nível de certificações	Nº de Certificações em Gerenciamento de Resíduos Obtidas	Acompanha a quantidade de certificações conquistadas pelos funcionários da organização em relação ao gerenciamento de resíduos, indicando seu nível de especialização.	Capacitação e Desenvolvimento
Incrementar nº de ideias de melhorias	Taxa de Ideias Implementadas para Melhorar o Gerenciamento de Resíduos	Mede a proporção de ideias propostas pelos funcionários e implementadas com sucesso para aprimorar os processos de gerenciamento de resíduos.	Adoção de novas ideias

Tabela 11: BSC (Balance Scorecard) - Perspectiva Aprendizagem
(Educação e Conhecimento) (continuação)

Aprendizagem (educação & conhecimento)			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Perspectiva
Reduzir tempo médio de implementação de novas tecnologias	Tempo Médio para Implementação de Novas Tecnologias	Avalia a rapidez com que a organização adota e implementa novas tecnologias para otimizar o gerenciamento de resíduos.	Adoção de novas ideias
Incrementar pesquisa de engajamento dos funcionários em práticas sustentáveis	Pesquisa de Engajamento dos Funcionários em Práticas Sustentáveis	Realiza pesquisas regulares para avaliar o grau de envolvimento dos funcionários em práticas de gerenciamento de resíduos sustentáveis e identificar oportunidades de melhoria.	Cultura de Sustentabilidade
Incrementar iniciativas de conscientização sobre gerenciamento de resíduos	Nº de Iniciativas de Conscientização sobre Gerenciamento de Resíduos	Acompanha a quantidade de iniciativas promovidas para aumentar a conscientização dos funcionários sobre a importância do gerenciamento adequado de resíduos.	Cultura de Sustentabilidade

Aprendizagem (educação & conhecimento)			
Objetivos	Indicadores	Métricas	Perspectiva
Aumentar uso da plataforma de compartilhamento de boas práticas de gerenciamento de resíduos	Taxa de Uso da Plataforma de Compartilhamento de Boas Práticas de Gerenciamento de Resíduos	Mede a proporção de funcionários que utilizam uma plataforma interna para compartilhar e acessar boas práticas relacionadas ao gerenciamento de resíduos.	Compartilhamento de Conhecimento
Aumentar engajamento em práticas bem-sucedidas	Nº de Casos de Estudo de Sucesso Documentados	Acompanha a quantidade de casos de estudo documentados que destacam as abordagens bem-sucedidas de gerenciamento de resíduos, incentivando o aprendizado entre equipes e departamentos.	Compartilhamento de Conhecimento

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Em sequência à implementação do PMetGIRS e ao longo da elaboração do Plano de Ações, as tabelas anteriores serão complementadas e customizadas.

3. ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS

A hierarquia no gerenciamento de resíduos, conforme definido na NBR 17100 - Parte 1, deve obedecer a seguinte ordem de prioridade:

- não geração;
- redução;
- reutilização;
- reciclagem;
- recuperação energética;
- eliminação;
- disposição ambientalmente adequada.

O objetivo deste capítulo é apresentar um modelo institucional para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e resíduos da construção civil, considerando o documento “DIAGNÓSTICO GERAL”, de maio de 2023, integrante da Fase 2 do Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMETGIRS) e as premissas estabelecidas no Termo de Referência para Contratação de Serviços de CONSULTORIA para Elaboração do Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (fevereiro de 2022).

A construção do modelo abordará todas as etapas do gerenciamento de resíduos, a saber:

- minimização da geração;
- reutilização;

- logística reversa;
- ampliação da coleta seletiva;
- transporte;
- ampliação da reciclagem de resíduos sólidos urbanos (RSU) e de resíduos da construção civil (RCC);
- manuseio;
- compostagem;
- tratamento;
- destinação final de rejeito.

Os seguintes aspectos deverão ser levados em conta dentro de um horizonte de 30 anos:

Aspectos Legais e Institucionais: serão considerados os arranjos coletivos entre os municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), as responsabilidades do poder público, o qual inclui o Estado do Rio de Janeiro, os municípios da RMRJ, o Instituto Rio Metrópole, a iniciativa privada e os requisitos legais e normativos aplicáveis.

Aspectos Tecnológicos: levará em conta o encadeamento das alternativas tecnológicas, descritas nos Capítulos 1 e 2 deste Prognóstico, visando um modelo de gerenciamento de resíduos que proporcione os maiores benefícios sociais, ambientais, econômicos, financeiros e institucionais, incluindo a minimização das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

A Tabela 12 apresenta as principais constatações do Diagnóstico do PMetGIRS da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), enquanto a Tabela 13 apresenta a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade do Rio de Janeiro, realizada através de pesquisa de campo feita pela COMLURB em 2020.

Note-se que os dados apresentados na Tabela 13 foram atualizados em função dos dados populacionais do CENSO 2022, do IBGE.

Convém reforçar que, por falta de dados regionais relativos à gravimetria dos RSU, os dados da COMLURB serão extrapolados para todos os municípios da Região Metropolitana.

Destaca-se que a base para contabilização do quantitativo de RSU gerado por cada município foi o questionário apresentado pela Engeconsult, conforme orientado no Diagnóstico Geral, item 5.2.2.

Tabela 12: Conclusões do Diagnóstico Geral - Fase 2 do PMetGIRS.

Item	Conclusão de Diagnóstico	Item do Diagnóstico
1	Inventário global de RSU igual a (15.499) t/dia, nos 22 municípios metropolitanos.	Item 5.2.1 (Caracterização dos RSU)
2	A composição média do RSU metropolitano é: Matéria Orgânica (50,78 %), Recicláveis (38,71 %) e outros / Inertes (10,51 %).	Item 5.2.1 (Caracterização dos RSU)
3	O transporte rodoviário do RSU e a emissão de metano (CH ₄) nos lixões e nos aterros sanitários são geradores de GEE.	Item 7.4 (Recuperação de gás de aterros e créditos de carbono).
4	Logística complexa de RSU, entre a coleta e o transporte para destinação, percorrendo 54.000 km/dia, usando 1.100 caminhões através das cidades e das estradas metropolitanas	Item 5.2.3 (Coleta domiciliar)
5	A principal destinação do RSU é o aterro sanitário.	Item 5.2.4 (Destinação e disposição final)

Item	Conclusão de Diagnóstico	Item do Diagnóstico
6	Apenas os municípios do Rio de Janeiro e de Niterói arrecadam o suficiente para cobrir as despesas com o manejo do RSU.	Item 5.6.3 (Tarifas públicas praticadas por município)
7	A destinação final do lodo ativado oriundo do tratamento biológico das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é a mesma do que o RSU, ou seja, o aterro sanitário. A partir dos registros do sistema de Manifesto de Transporte de Resíduos do INEA, o total anual de lodo metropolitano produzido é de 114.161 ton.	Item 5.5.3 (Destinação de lodo)
8	A atividade de reciclagem efetuada pelos trabalhadores autônomos (catadores) e pelas cooperativas é executada durante a fase de coleta do RSU, antes da destinação final dele. A coleta seletiva metropolitana requer estruturação central. O índice de reciclagem do RSU é próximo a 1%, em média, na RMRJ.	Item 6.3 (Reciclagem de resíduos sólidos urbanos)
9	Sem a triagem do RSU metropolitano, para a obtenção de matérias-primas da indústria da reciclagem, não há como estabelecer os fluxos virtuosos da logística reversa e da economia circular.	Item 6.7 (Economia Circular)
10	Na RMRJ o manejo de RCC se dá no âmbito das Centrais de Tratamento de Resíduos (CTR) em unidades de triagem com baixa tecnologia.	Item 6.6 (Usinas de reciclagem de RCC e destinação de RSS)
11	Os Resíduos Sólidos de Saúde são tratados por serviços privados.	Item 6.6 (Usinas de reciclagem de RCC e destinação de RSS)
12	O banco de dados do sistema IRMS, o qual permite a manipulação espacial de dados relacionados à gestão de resíduos sólidos metropolitanos, está em desenvolvimento e expansão.	Item 9.3 (Banco de dados em desenvolvimento)

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Tabela 13: Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos

Municípios da RMRJ	RSU Total (t/dia)	Composição do Lixo Domiciliar (t/dia)			Lixo Reciclável (t/dia)			
		Orgânicos	Recicláveis	Outros	Plástico	Papel	Metal	Vidro
Belford Roxo	424	215	164	45	21	24	3	6
Cachoeiras de Macacu	36	18	14	4	3	2	0	0
Duque de Caxias	1.826	927	707	192	133	104	12	25
Guapimirim	39	20	15	4	3	2	0	1
Itaboraí	312	158	121	33	23	18	2	4
Itaguaí	151	77	58	16	11	9	1	2
Japeri	43	22	17	4	3	2	3	1
Magé	244	124	94	26	18	14	2	3
Maricá	296	150	115	31	21	17	2	4
Mesquita	109	56	42	12	8	6	1	2
Nilópolis	99	50	38	10	7	6	1	1
Niterói	625	317	242	66	45	36	4	9
Nova Iguaçu	1.118	568	433	117	81	64	7	15
Paracambi	50	26	20	5	4	3	3	1
Petrópolis	288	146	111	30	21	16	2	4
Queimados	112	57	43	12	8	6	1	2
Rio Bonito	34	17	13	4	2	2	0	0
Rio de Janeiro	8.180	4.154	3.168	860	594	466	53	12
São Gonçalo	1.118	568	433	117	81	64	7	15
São João de Meriti	307	156	119	32	22	18	2	4
Seropédica	72	37	28	8	5	4	0	1
Tanguá	16	8	6	2	1	1	0	0
Média (%)		50,78%	38,71%	10,51%	18,76%	14,72%	1,68%	3,55%

Fonte: COMLURB (2020)

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Conforme identificado no Diagnóstico Geral, a coleta domiciliar é uma responsabilidade municipal, feita por órgãos próprios ou empresas contratadas da prefeitura, através de transporte rodoviário, apesar da COMLURB (Rio de Janeiro) já ter realizado estudos para efetuar o transporte por via ferroviária e hidroviária.

Quanto à coleta seletiva, dos vinte e dois municípios da RMRJ, onze possuem coleta seletiva institucionalizada e os demais encaminham o RSU diretamente da coleta à disposição final nos aterros sem efetuar nenhum tipo de tratamento prévio.

No que diz respeito ao tratamento de RSU somente a COMLURB (Rio de Janeiro) efetua a segregação dos resíduos em Centrais de Triagem localizadas em Irajá, Bangu e no Caju (Figura 7).

Figura 7: Central de Triagem de Material Reciclável de Irajá



Fonte: PMGIRS Rio de Janeiro – 2017 / 2020

Também nas instalações do Caju, a COMLURB processava a fração orgânica dos resíduos coletados em leiras de compostagem (Figuras 8 e 9), sendo que mais recentemente passou a utilizar a triagem manual. Vale ressaltar que a ETR Caju possui as instalações para processamento da fração orgânica por meio de um processo de pirólise em compartimentos fechados e estanques, usando a tecnologia desenvolvida pela empresa Methanum (Figura 10).

Usina de Compostagem do Caju
Figura 8: Leiras de Compostagem



Figura 9: Unidade de Peneiramento



Fonte: PMGIRS Rio de Janeiro – 2017 / 2020

Figura 10: Processo de Biodigestão da Methanum



Fonte: PMGIRS Rio de Janeiro – 2017 / 2020

Em termos de aproveitamento energético a partir dos RSU, não há nenhuma instalação operacional, ainda que a Ciclus (empresa que opera no Rio de Janeiro) possua uma Licença de Instalação para uma unidade de 1.200 t/dia a ser implementada nas instalações da COMLURB, no Caju.

Com relação ao transporte, de novo o município do Rio de Janeiro sobressai, possuindo cinco Estações de Transferência de Resíduos - ETR's, onde ocorre a concentração de RSU de bairros próximos.

Como dito anteriormente, metade dos municípios da RMRJ possuem coleta seletiva, enquanto a outra metade encaminha o RSU diretamente da coleta à disposição final nos aterros sem efetuar nenhum tipo de transferência.

Por sua vez, nunca é demais lembrar que o gerenciamento do RSU deve ser conduzido de forma a viabilizar a valorização dos resíduos, otimizar os processos de coleta, maximizar a reciclagem e minimizar os impactos ambientais e sociais.

O modelo proposto inclui o poder público, a iniciativa privada, as associações e a população em geral, promovendo uma gestão eficiente de resíduos sólidos urbanos que é essencial para a construção de cidades sustentáveis e saudáveis.

Com o intuito de fortalecer as práticas ambientais nos municípios da RMRJ, deve haver incentivo constante à coleta seletiva. Outro aspecto importante ao processo da evolução da gestão de RSU é a manutenção sistemática das informações em base de dados oficiais, além da análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos.

A adoção de sistemas modernos de monitoramento, como softwares especializados e dispositivos de coleta de dados em tempo real, são fundamentais para facilitar o processo de engajamento dos órgãos responsáveis.

Além da utilização destes mecanismos, o estabelecimento de parcerias com instituições de pesquisas e empresas especializadas é a única forma de se implementar soluções tecnológicas inovadoras.

A seguir são apresentados exemplos de questões relacionadas a temas relevantes e inerentes ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos associados aos principais ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis)

A poluição, especialmente a emissão de gases de efeito estufa, é uma das principais causas das mudanças climáticas. Ao prevenir a poluição do ar, da água e do solo, bem como controlar as emissões de gases poluentes, contribuímos significativamente para mitigar as mudanças climáticas.

Isso também está relacionado à transição para energias renováveis e ao desenvolvimento de tecnologias limpas, que são componentes cruciais da luta contra as mudanças climáticas.

A prevenção e controle de poluição em áreas urbanas são cruciais para criar cidades sustentáveis. Isso inclui a gestão adequada de resíduos,

redução da poluição do ar e da água, bem como a proteção de espaços verdes urbanos. Reduzir a poluição torna as cidades mais habitáveis, melhora a qualidade de vida e promove ambientes urbanos saudáveis e sustentáveis.

Ao minimizar a poluição associada à produção e ao consumo, podemos avançar em direção a um modelo econômico mais sustentável. Isso envolve a redução do desperdício, a reciclagem eficiente, a promoção de práticas industriais limpas e o desenvolvimento de tecnologias mais limpas.

Tabela 14: Gestão de Resíduos Sólidos x ODS

Despesas Relacionadas com Gestão de Resíduos Sólidos	ODS Associados
Subsídios a estados e municípios para gestão adequada de resíduos sólidos urbanos em alinhamento à Política Nacional de Resíduos Sólidos, incluindo coleta, separação, processamento e reciclagem	
Instalação e manutenção de sistemas de captura de biogás em aterros sanitários	

Fonte: ENGECONSULT, 2023

O ODS 11 tem como objetivo “Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”. Uma gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos é uma parte essencial para alcançar essa meta. A Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, criada pela Lei nº 12.305/10, define diretrizes para a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, incluindo a promoção da coleta seletiva, reciclagem e tratamento adequado.

Ao subsidiar estados e municípios para implementar práticas de gestão adequada de resíduos sólidos urbanos, incluindo coleta, separação, processamento e reciclagem, as ações contribuem para:

- **Inclusividade:** Garantem que todos os membros da sociedade tenham acesso a serviços adequados de gestão de resíduos, independentemente de sua localização ou status socioeconômico;
- **Segurança:** Reduzem riscos à saúde pública ao promover a coleta e o tratamento adequado dos resíduos, prevenindo a contaminação do meio ambiente e das comunidades;
- **Resiliência:** A gestão adequada dos resíduos contribui para a resiliência das comunidades urbanas, especialmente em face de desafios ambientais como inundações e mudanças climáticas;
- **Sustentabilidade:** Estimulam a economia circular, promovendo a reciclagem e o reuso de materiais, o que reduz a demanda por recursos naturais e contribui para a sustentabilidade a longo prazo.

O ODS 12 tem como objetivo “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”. Citando o biogás como um subproduto da decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos em aterros sanitários, sua captura e utilização permite produzir energia sustentável que se alinha com os objetivos do ODS 12 de várias maneiras:

- **Eficiência no Uso de Recursos:** Ao capturar e utilizar o biogás, estamos aproveitando um recurso que de outra forma seria perdido, transformando resíduos em uma fonte de energia útil. Isso demonstra uma abordagem mais eficiente no uso de recursos;
- **Redução do Desperdício:** A captura de biogás reduz as emissões de gases de efeito estufa provenientes de aterros sanitários, ajudando a mitigar as mudanças climáticas. Isso está em linha com o objetivo de reduzir o desperdício e minimizar o impacto ambiental das atividades humanas;

- **Promoção da Energia Sustentável:** A conversão de biogás em energia contribui para a produção de energia sustentável e renovável. Isso é crucial para atender às demandas energéticas da sociedade de maneira sustentável, sem esgotar os recursos naturais não renováveis;
- **Inovação e Infraestrutura:** A instalação e manutenção de sistemas de captura de biogás requerem tecnologias inovadoras e infraestrutura adequada, o que está alinhado com o estímulo à inovação e ao desenvolvimento de infraestrutura sustentável.

Tabela 15: Controle de Emissões de GEE x ODS

Despesas relacionadas com Controle de Emissões de GEE	ODS Associado
Monitoramento, relatório, verificação, bem como divulgação e estimativa das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e de sua redução	
Iniciativas de redução de emissões de GEE apoiadas pelo Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, desde que alinhadas com os critérios de exclusão previstos neste arcabouço	

Fonte: ENGECONSULT, 2023

O ODS 13 tem como objetivo “Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos”. Isso inclui medidas para melhorar a educação, a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação da mudança do clima, adaptação, redução de impacto e alerta precoce.

As ações mencionadas estão alinhadas com essa meta, pois envolvem o monitoramento e a redução das emissões de gases de efeito estufa, que são cruciais para combater as mudanças climáticas. O monitoramento e controle das emissões são passos essenciais para entender a extensão do problema e desenvolver estratégias eficazes para a redução das emissões.

Além disso, o apoio às iniciativas de redução de emissões de GEE pelo Fundo Nacional sobre Mudança do Clima contribui para a implementação prática de medidas de mitigação, o que é fundamental para alcançar os objetivos da ODS 13.

Energia renovável, como solar, eólica, hidrelétrica, geotérmica e biomassa, é uma fonte vital de energia acessível e limpa. Ao investir em tecnologias de energia renovável, países podem fornecer eletricidade a áreas rurais remotas, promover acesso equitativo à energia e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Ao substituir fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis por energias renováveis, as emissões de gases de efeito estufa são significativamente reduzidas. Além disso, a energia renovável é uma solução para reduzir a pegada de carbono e limitar o aquecimento global, ajudando a proteger ecossistemas vulneráveis e comunidades costeiras dos impactos adversos das mudanças climáticas.

Em resumo, a promoção e adoção de energias renováveis são essenciais para alcançar tanto o ODS 7, ao proporcionar energia acessível e limpa para todos, quanto o ODS 13, ao ajudar a combater as mudanças climáticas, mitigando as emissões de gases de efeito estufa e reduzindo os impactos negativos sobre o meio ambiente e as comunidades vulneráveis.

Tabela 16: Energia Renovável x ODS

Despesas Relacionadas com Energia Renovável	ODS Associados
Desenvolvimento, construção, instalação, expansão, operação, manutenção, reforma, e terrenos relacionados à produção de eletricidade e armazenamento de energia para as fontes de energia descritas a seguir. Para ser elegível, o nível de emissões das atividades deve ser menor que 100g CO ₂ e/kWh, salvo indicação em contrário Energia Solar (Fotovoltaica); Energia Eólica; Plantas térmicas solares	
Energia hidrelétrica de usinas a fio d'água sem reservatório artificial ou com capacidade de armazenamento reduzida, ou usinas com uma pegada de carbono abaixo de 50g CO ₂ e/kWh ou densidade de potência acima de 10 W/m ² para projetos que começaram a operar a partir de 2020, ou ainda usinas com uma pegada de carbono abaixo de 100g CO ₂ e/kWh ou densidade de potência acima de 5 W/m ² para projetos que entraram em operação antes de 2020; Energia a partir de biomassa e resíduos sólidos urbanos ou resíduos industriais	
Produção de biocombustíveis com Certificado de Produção Eficiente de Biocombustíveis, em atendimento à Resolução ANP nº 758/2018 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	
Produção de biometano: Desenvolvimento, construção, instalação e expansão da produção de combustível derivado de resíduos	
Tecnologias de armazenamento de energia renovável (incluindo baterias eficientes)	
Tecnologias de hidrogênio de baixo carbono, incluindo produção e armazenamento ou aplicação de hidrogênio em diferentes tecnologias	
Desenvolvimento e capacidade industrial para produção de equipamentos, componentes, tecnologias e materiais necessários à transição energética, mais diretamente para energia eólica, energia solar; armazenamento, veículos elétricos, veículos movidos a biocombustível e hidrogênio de baixo carbono	

Fonte: ENGECONSULT, 2023

A substituição de insumos fósseis por materiais renováveis em produtos de base biológica é uma estratégia fundamental para reduzir nossa dependência de recursos não renováveis.

Essa ação não apenas impulsiona a inovação tecnológica, mas também contribui para o alcance do ODS 9.4, que visa aumentar a eficiência do uso de recursos e promover a produção e o consumo sustentáveis. Ao utilizar fontes renováveis, reduzimos a pegada de carbono e promovemos práticas de produção mais ecológicas.

A criação de plantas industriais especializadas em processar resíduos é um exemplo de como a inovação pode transformar resíduos em recursos valiosos. Essas plantas não apenas ajudam a lidar com a crescente preocupação global com os resíduos, mas também estão alinhadas com o ODS 9.1, que busca desenvolver infraestruturas resilientes e promover a industrialização inclusiva e sustentável.

Ao transformar resíduos em produtos utilizáveis, estamos não apenas reduzindo o desperdício, mas também promovendo práticas industriais mais eficientes e sustentáveis.

Tabela 17: Produtos, Tecnologias de Produção e Processos – Economia Circular X ODS

Despesas Relacionadas com Produtos, Tecnologias de Produção e Processos Adaptados à Economia Circular	ODS Associados
Produtos de base biológica que utilizam materiais renováveis em substituição a insumos fósseis	
Plantas industriais que processam resíduos para gerar novos produtos ou para restaurá-los a um estado que possibilite um novo processamento; Incentivo às ações de logística reversa e à negociação de acordos setoriais	

Fonte: ENGECONSULT, 2023

3.1.1. Não Geração, Redução, Reutilização

O Poder Público é responsável por definir políticas de incentivo à não geração, redução, reutilização, reciclagem e logística reversa.

A educação ambiental exerce um papel fundamental nesta etapa do gerenciamento de resíduos, uma vez que contempla formas distintas de comunicação e de relacionamento com os vários atores sociais, comunidades e população, possibilitando conscientizá-los acerca dos riscos ambientais e sociais dos resíduos.

Uma consequência direta destas iniciativas é a adoção de práticas de reutilização, reciclagem e acondicionamento adequado dos resíduos gerados. Outra consequência é o desenvolvimento de uma cultura questionadora em relação ao consumo de produtos e recursos naturais, o que tem como resultado hábitos mais sustentáveis de consumo.

O Programa Reciclar é Pensar, por exemplo, proposto pelo Projeto de Lei 11/19, visa à educação ambiental e à formação de cidadãos engajados na transformação das relações da sociedade com o meio ambiente.

Para isso, o programa prevê a implantação de sistema de coleta seletiva de resíduos recicláveis nas dependências das escolas da rede pública e privada de ensino médio e fundamental do Estado do Rio de Janeiro.

Sob a orientação da direção das escolas, professores e demais funcionários, as atividades didático-pedagógicas fundamentadas na educação ambiental devem possibilitar a compreensão do gerenciamento do programa, bem como a implementação do processo da coleta seletiva e a sua viabilidade econômica. Além disso, devem estimular a apresentação de trabalhos, por parte dos alunos, envolvendo o tema.

A minimização da geração de resíduos é um processo interativo entre o setor público, o setor privado e a sociedade em geral, alimentado, essencialmente, por políticas públicas e ações de educação e conscientização.

Instrumentos legais, tal qual a Lei Estadual 8.006 de 25/06/2018, que dispõe sobre a substituição e recolhimento de sacolas plásticas em estabelecimentos comerciais localizados no Estado do Rio de Janeiro, fomentam a minimização da geração de resíduos pela sociedade em geral. Adicionalmente, a orientação para o uso de bolsas reutilizáveis confeccionadas de materiais alternativos leva ao aumento do ciclo de vida dos produtos.

Além da proposição de políticas, o poder público é o provedor de recursos para a implantação de programas e campanhas. O Programa Estadual de Gestão de Resíduos Integrada e Desenvolvimento Sustentável (PROGRIDE) tem como objetivo o fomento e a implementação de ações que promovam a não geração de resíduo, a redução, o reuso, o reaproveitamento, a reciclagem, a recuperação de materiais, o tratamento adequado e a disposição final ambientalmente adequada.

Campanhas voltadas para a conscientização da população e empresas em geral são instrumentos para a adoção de práticas que levem a uma menor geração de resíduos.

Programas no âmbito municipal, tal qual o Lixo Zero, uma parceria da COMLURB com a Guarda Municipal, promovem a conscientização da população local quanto a aspectos específicos do gerenciamento de resíduos.

As iniciativas particulares da sociedade também possuem alta relevância para a minimização da geração de resíduos.

A compostagem é uma alternativa sustentável para os resíduos orgânicos úmidos e vem sendo incentivada em nível nacional e internacional, por instituições como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUD).

Alguns condomínios adotam esta prática, como por exemplo o Condomínio Passaredo, localizado no bairro da Taquara no Município do Rio de Janeiro.

O condomínio criou um centro de meio ambiente e, dentre as atividades realizadas, a compostagem aparece como a principal (ALTINO, 2017).

Os funcionários possuem à disposição máquinas para triturar e peneirar o material orgânico e a terra que sobra é colocada em um minhocário.

Esta iniciativa pode ser realizada em residências sem que sejam necessários grandes aportes de recursos.

Empresas privadas também têm adotado iniciativas de destaque como o Shopping Eldorado, no Município de São Paulo.

O empreendimento criou uma usina de compostagem na garagem de serviço do shopping, mudou as regras do condomínio, produziu uma cartilha para os lojistas, treinou os funcionários diretos para fazer a separação correta e instalou ilhas de manuseio do lixo orgânico dentro da praça de alimentação (GODINHO, 2017).

Por fim, instalou uma horta no terraço para aproveitar o adubo gerado. O shopping recicla cerca de 80% das 60 toneladas de lixo orgânico produzidas mensalmente (BASSANEZE, 2020).

Por outro lado, a legislação municipal exerce importância destacada no ambiente da coleta seletiva e reciclagem dos resíduos.

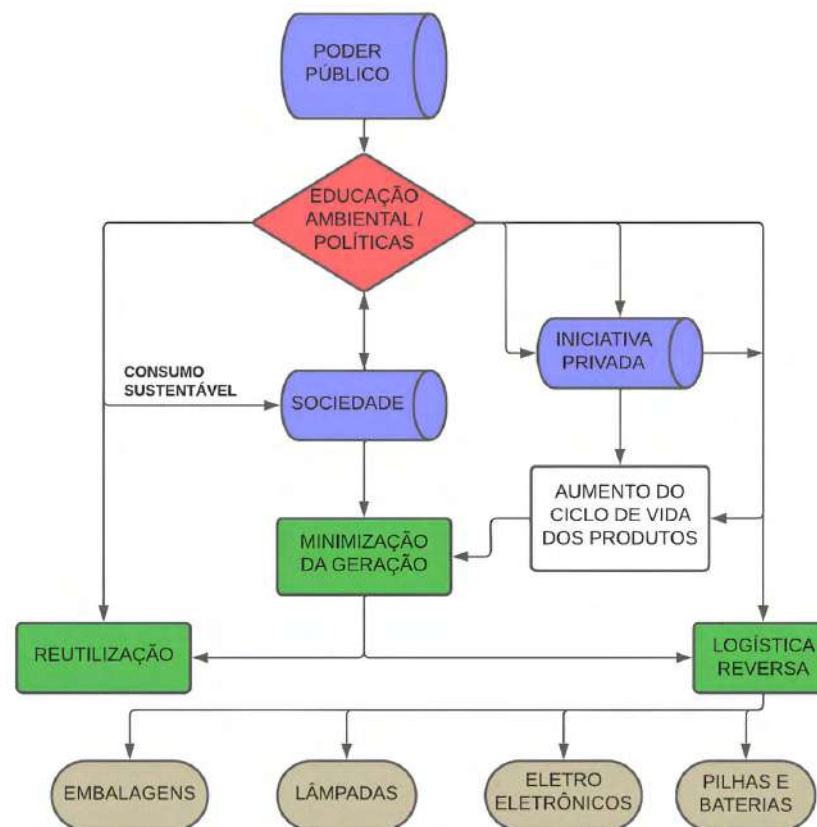
É fundamental a criação de legislação municipal para identificar a figura jurídica do Grande Gerador, tornando-o responsável pelo gerenciamento de seus resíduos e desonerando o Poder Público dos serviços de coleta e destinação dos resíduos.

Também importante no âmbito municipal, é instituir a obrigação de todos os Grandes Geradores realizarem a segregação dos resíduos na fonte, efetuando a respectiva coleta seletiva envolvendo as cooperativas de catadores.

A Lei Municipal 5.538 de 31 de outubro de 2012, modificada pela Lei Municipal 6.483 de 29 de dezembro de 2020, do Município do Rio de Janeiro, dispõe sobre este tema, podendo servir de exemplo para os demais municípios.

A Figura 11 apresenta o fluxo do processo de minimização da geração de resíduos sólidos urbanos.

Figura 11: Fluxo do Processo de Minimização da Geração de RSU



Fonte: ENGECONSULT, 2023

As diversas etapas do gerenciamento de resíduos serão realizadas por meio de um conjunto de ações envolvendo o setor público, as instituições privadas, as cooperativas de catadores, a academia e a sociedade em geral.

As políticas públicas são desenvolvidas pelo setor público e visam orientar as ações a serem desenvolvidas no âmbito do gerenciamento de resíduos. O poder público, em especial o municipal, participa da etapa de coleta de resíduos, em parceria com as cooperativas de catadores e as instituições privadas.

A destinação dos resíduos é realizada por instituições privadas por meio de contratos com a administração pública, por meio de concessões ou parcerias público-privadas (PPP).

A academia, por meio das instituições de nível superior, deve fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de soluções para a reciclagem e as tecnologias de destinação de resíduos. A participação das escolas de formação básica é fundamental dentro das ações de educação e conscientização ambiental.

A Figura 12 apresenta o modelo institucional referente à participação no gerenciamento de RSU.

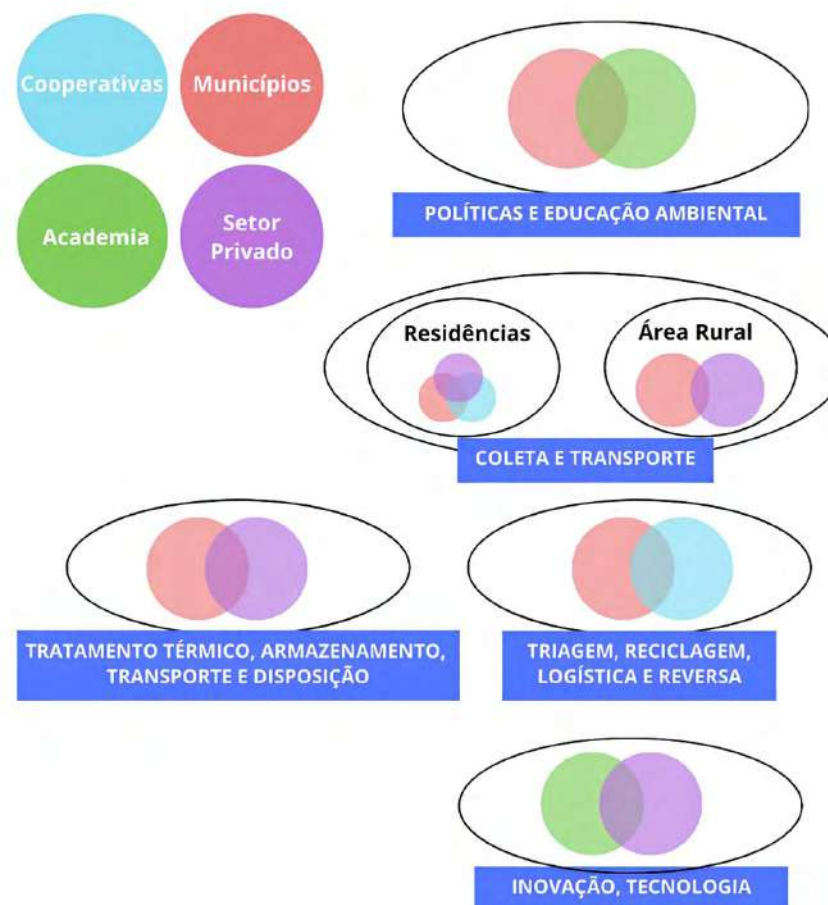
Dentro do fluxo de gerenciamento dos RSU o acondicionamento adequado dos resíduos gerados tem importância fundamental para os processos de coleta.

A disponibilização de coletores específicos para os diversos tipos de materiais recicláveis, tais quais conjuntos coletores de compartimentos, contêineres plásticos e caçambas, é de suma importância para dar eficiência à coleta seletiva e permitir que os materiais recicláveis sejam descartados de forma apropriada aos processos de reciclagem.

O material deve ser acondicionado de forma segregada, tanto quanto possível, a fim de valorizar os recicláveis. A coleta seletiva deve ser realizada regularmente e os materiais segregados devem ser destinados diretamente para a reciclagem.

A criação de Postos de Entrega Voluntária (PEV's) é uma ação recomendada, inclusive para municípios de menor porte ou turísticos. Nestes locais, os resíduos são depositados em recipientes específicos para cada tipologia, otimizando a coleta.

Figura 12: Modelo Institucional de Participação no Gerenciamento de RSU



Fonte: ENGECONSULT, 2023

- **Contêineres Plásticos**

Estes recipientes plásticos podem ser identificados com as cores e tipos de resíduos e podem ser utilizados para resíduos recicláveis e resíduos orgânicos. Possuem capacidade variada, sendo os mais comuns com capacidade para 120, 240 e 360 litros. A Figura 13 apresenta os tipos mais comuns de contêineres plásticos.

Figura 13: Contentores Plásticos para Resíduos



Fonte:Vertown (Acesso em 2023)

- **Contêineres de 20 Pés**

São coletores que podem ser utilizados para acondicionar resíduos orgânicos, recicláveis, resíduos de construção civil e resíduos de varrição. Possuem capacidade para armazenar até cerca de 30 m³. A Figura 14 apresenta este tipo de contêiner.

Figura 14: Contêiner de 20 Pés



Fonte:Vertown (Acesso em 2023)

- **Contêiner Modular**

São contêineres com compartimentos para diferentes tipos de resíduos, sendo extremamente adequado para a utilização em PEV's. A Figura 15 apresenta este tipo de contêiner.

Figura 15: Contêiner Modular



Fonte:Vertown (Acesso em 2023)

- **Compactadores Estacionários (Compactainer)**

São caçambas de resíduos acopladas a um compactador, que reduz o volume dos resíduos em cerca de 50%, sendo ideais para grandes geradores, pois possuem capacidades que variam de 8 m³ a 17 m³. A coleta é feita por um caminhão específico.

A Figura 16 apresenta o compactador estacionário.

Figura 16: Compactadores Estacionários (Compactainer)



Fonte: Vertown (Acesso em 2023)

- **Caçamba Fechada**

São coletores para grandes volumes de resíduos, possuindo capacidade de 5 ou 7 m³. A Figura 17 apresenta a caçamba fechada.

Figura 17: Caçamba Fechada de 7 m³



Fonte: Transresíduos (Acesso em 2023)

- **Contêiner metálico**

São recipientes com tampas e capacidade de 1.200 L, muito utilizados para a coleta de RSU em áreas de difícil acesso. A Figura 18 apresenta este contêiner.

Figura 18: Contêiner Metálico de 1200 L



Fonte: COMLURB (2021)

3.1.2. Coleta Seletiva

Conforme descrito no Diagnóstico Geral, apenas onze dos vinte e dois municípios possuem um sistema institucionalizado de coleta seletiva.

Apesar da existência da coleta seletiva em alguns municípios, a quantidade de material reciclado é pouco significativa, tendo seu valor máximo de 5,65% em Cachoeiras do Macacu, de acordo com os dados levantados no Diagnóstico Geral. Tal cenário corrobora a premissa de ampliação da coleta seletiva.

O sistema de coleta seletiva da RMRJ deve abranger toda a região para viabilizar o adequado gerenciamento de resíduos e atender à Política Nacional de Resíduos Sólidos. A coleta deve envolver as cooperativas e pode envolver empresas de reciclagem a fim de viabilizar o sistema. Os materiais coletados são direcionados para as empresas de reciclagem.

As prefeituras devem, por meio de legislação, acordos específicos ou acordos setoriais estabelecer regras para a coleta seletiva de recicláveis de grandes geradores.

Os acordos setoriais que resultam em programas de logística reversa, bem como iniciativas de mudanças nos processos de produção, são exemplos de ações que contribuem para a adequada gestão e monetização dos resíduos.

Com o propósito de orientar municípios e consórcios de gestão de resíduos nesse sentido, são apresentadas as seguintes recomendações:

- Promover campanhas de conscientização que destaquem os benefícios ambientais e econômicos da coleta seletiva;
- Implementar programas de recompensa para incentivar a população a aderir à coleta seletiva, como descontos em serviços públicos ou parcerias com empresas locais;

- Estabelecer parcerias com escolas, empresas e organizações locais para envolver a comunidade em programas educativos sobre a importância da separação adequada dos resíduos;
- Investir na infraestrutura necessária para a coleta seletiva, como contêineres específicos para diferentes tipos de materiais;
- Implementar pontos de coleta estratégicos em locais de grande circulação, como centros comerciais, escolas e em áreas residenciais;
- Estabelecer parcerias com cooperativas de catadores locais, oferecendo suporte técnico, treinamento e condições adequadas de trabalho;
- Criar políticas que garantam a inclusão social e econômica dos catadores, promovendo sua participação ativa na cadeia de reciclagem por meio de campanhas de incentivo à sua regularização e adequação às necessidades dos municípios.

Os resíduos são transportados por veículos adequados de acordo com o tipo de coletor utilizado, como se descreve a seguir.

- **Caminhão Poliguindaste**

São utilizados para transporte de caçambas de diferentes capacidades. Podem ser do tipo simples (6 t) ou duplo (10 t).

A Figura 19 mostra um poliguindaste simples.

Figura 19: Caminhão Poliguindaste Simples



Fonte: Transresíduos (Acesso em 2023)

• Caminhão Roll On Roll Off

Este tipo de veículo é utilizado para transporte de caçambas e contêineres de diferentes capacidades, com capacidade de carga de 12 t. A Figura 20 mostra um caminhão roll on – roll off.

Figura 20: Caminhão Roll On Roll Off



Fonte: Transresíduos (Acesso em 2023)

• Caminhão Baú

São utilizados para transporte de coletores diversos de coleta seletiva, com capacidade de carga da ordem de 3,3 t. A Figura 21 apresenta um veículo tipo baú.

Figura 21: Caminhão Baú



Fonte: Transresíduos (Acesso em 2023)

Uma outra vertente da coleta seletiva são os planos e programas associados à economia circular.

Um bom exemplo da relação de processos adaptados à economia circular é o reaproveitamento do óleo de cozinha. O óleo de cozinha desempenha um papel fundamental em nossa culinária, mas seu descarte inadequado pode causar sérios danos ao meio ambiente.

Em todo o mundo, milhões de litros de óleo de cozinha usados são descartados incorretamente em ralos e no lixo, causando poluição nos sistemas

de água e no solo. Quando o óleo é despejado em ralos, pode entupir tubulações e sistemas de esgoto, resultando em custos substanciais de manutenção e limpeza para as autoridades municipais e, em última instância, para os contribuintes.

Além disso, o óleo de cozinha pode contaminar cursos d'água, causando poluição da água e afetando a vida aquática. Quando o óleo entra em contato com o solo, ele prejudica a qualidade do solo e a capacidade de absorção de água, o que pode levar a inundações e erosão.

No entanto, é possível transformar esse problema em uma solução sustentável, beneficiando tanto o meio ambiente quanto a comunidade.

A reciclagem adequada do óleo de cozinha não apenas reduz a poluição, mas também evita custos ambientais e financeiros significativos associados ao seu descarte inadequado.

Uma das ações mais eficazes para lidar com o óleo de cozinha usado é a criação de pontos de entrega voluntária em toda a comunidade. Esses pontos permitiriam que as pessoas entregassem seus óleos usados de maneira segura e conveniente.

Para incentivar a participação da comunidade, é sugerido que um sistema de remuneração seja implementado. A remuneração é uma forma eficaz de motivar as pessoas a aderirem ao programa de coleta de óleo de cozinha. Dessa forma, as pessoas que entregarem seu óleo usado em um ponto de entrega voluntária podem receber incentivos financeiros, descontos em compras locais ou outros benefícios. Isso não apenas incentivaria a participação, mas também envolveria a comunidade de forma ativa na preservação do meio ambiente.

O óleo de cozinha usado não precisa ser um resíduo prejudicial ao meio ambiente. Em vez disso, pode ser transformado em uma valiosa fonte de energia. A Petrobrás, ou outras empresas com capacidade para tal, desempenham um papel crucial nesse processo. Ao coletar o óleo de cozinha

usado da comunidade, essas empresas podem processá-lo e convertê-lo em biocombustível, uma alternativa mais sustentável que os combustíveis fósseis.

O Programa “RECICLAR SOCIAL” é um exemplo de como o envolvimento comunitário pode criar uma abordagem holística para a sustentabilidade. Sua atuação abrange as esferas ambiental, econômica e social.

Além de coletar resíduos de óleo vegetal e transformá-los em biodiesel, a organização também recicla resíduos de óleo mineral e industrial, convertendo-os em óleo de rerrefino, que pode ser utilizado na fabricação de lubrificantes e outros produtos.

Em resumo, o aproveitamento do óleo de cozinha usado como fonte de combustível é uma abordagem inteligente e sustentável para lidar com um resíduo comum.

A implementação de pontos de entrega voluntária, juntamente com um sistema de remuneração para incentivar a participação da comunidade, pode transformar o descarte de óleo de cozinha em uma ação benéfica para o meio ambiente e a sociedade.

Por outro lado, não se pode deixar de alertar sobre a importância dos projetos institucionais no campo da coleta seletiva. Um bom exemplo é o projeto “Águas da Guanabara”.

Iniciativa da Federação Estadual dos Pescadores do Rio de Janeiro (FEPERJ) o projeto visa a limpeza e a conservação da Baía de Guanabara, contando com a participação de pescadores das colônias Z-8 e Z-9, que estão retirando lixo dos rios e manguezais da região.

Além de retirar o lixo dos rios e manguezais, o projeto também está promovendo a conscientização sobre a importância da coleta seletiva. Os pescadores estão sendo capacitados a separar o lixo que retiram e estão incentivando a população a fazer o mesmo.

O projeto “Águas da Guanabara” é um exemplo de como a colaboração entre a sociedade civil e o governo pode ajudar a proteger o meio ambiente e melhorar a vida das pessoas.

Em apenas 8 meses, os pescadores retiraram mais de 300 toneladas de lixo dos rios e manguezais da Baía de Guanabara. Esse lixo inclui uma variedade de materiais, como plástico, metal, vidro e papel.

A remoção desse lixo está tendo um impacto positivo na vida dos pescadores. Os pescadores estão relatando que a pesca está melhorando, pois o lixo não está mais bloqueando as redes. Além disso, os pescadores estão vendo mais vida selvagem retornando ao mangue, incluindo siris, que não eram vistos na região há décadas.

O projeto “Águas da Guanabara” também está tendo um impacto positivo na vida social dos pescadores. A Federação Estadual dos Pescadores do Rio de Janeiro (FEPERJ), que coordena o projeto, está fornecendo aos pescadores uma variedade de serviços, incluindo exames de saúde, seguro social e ajuda financeira.

O PMetGIRS recomenda que o IRM, com o apoio dos municípios, promova e apoie iniciativas como estas, fomentando a atuação dos pescadores e de cooperativas de catadores de lixo.

3.1.3. Logística Reversa

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleceu a logística reversa como um dos instrumentos para a gestão de resíduos e os resíduos que estão abrangidos por sistemas deste tipo devem ser segregados para o encaminhamento na forma definida.

Os acordos setoriais são iniciativas visando um aumento no ciclo de vida dos produtos, com a participação do poder público, empresas privadas e sociedade em geral. Os fabricantes, importadores, distribuidores e

comerciantes têm a responsabilidade de operacionalizar os programas e acordos, sendo que alguns produtores já disponibilizam meios para devolução de produtos utilizados.

Dentre os resíduos com logística reversa já estabelecida destacam-se as embalagens em geral; pilhas e baterias; lâmpadas fluorescentes; óleos lubrificantes e embalagens; pneus inservíveis; agrotóxicos e suas embalagens; eletroeletrônicos e componentes; medicamentos e embalagens; e óleo de cozinha usado.

A Lei Estadual 8.151/2018 que institui o Sistema de Logística Reversa de Embalagens e Resíduos de Embalagens, no âmbito do Estado do Rio de Janeiro, estabelece que as ações de logística reversa devem ser organizadas pelas empresas responsáveis pela produção, importação ou comercialização das embalagens prioritariamente em parceria com cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis.

O Instituto Rio Metrópole (IRM) por meio de suas competências estabelecidas pela Lei Complementar 184 de 27/12/2018 pode apoiar a execução dos acordos setoriais já firmados relacionados à logística reversa, promovendo, quando aplicável, a integração das ações entre os municípios da RMRJ.

Tal atuação tende a trazer um aumento de eficiência no processo e na ampliação dos PEV's. O IRM também pode fomentar e auxiliar as campanhas de conscientização quanto à logística reversa.

3.1.4. Coleta Domiciliar

A coleta dos resíduos sólidos domiciliares (RDO) e dos resíduos de limpeza pública (RPU) é de responsabilidade das prefeituras. O material coletado deve ser direcionado para os processos de triagem. O transporte deve ser feito em distâncias máximas recomendadas de 25 km, conforme indicado no Diagnóstico do PMetGIRS da Região Metropolitana do

Rio de Janeiro e, para distâncias superiores a este valor, é recomendável o uso de estações de transferência.

Os RSU são usualmente coletados nas residências por meio de caminhões compactadores, com capacidade variando de 6 a 24 m³ de RSU compactado, com o objetivo de diminuir o volume para o transporte até as estações de transbordo ou unidades de tratamento ou de destinação final.

Figura 22: Caminhão Compactador



Fonte: COMLURB, 2021

Normalmente estes veículos são equipados com “lifters”, cuja finalidade é permitir o içamento de contêineres.

A Figura 23 apresenta um caminhão equipado com lifter.

Figura 23: Caminhão Compactador com Lifter



Fonte: COMLURB, 2021

A utilização de moto-triciclos é, também, uma opção para regiões de acesso mais difícil. A Figura 24 apresenta esta alternativa.

Figura 24: Moto-triciclo para Coleta de RSU em Locais de Dificil Acesso



Fonte: COMLURB, 2021

3.1.5. Transbordo e Transporte

Como dito anteriormente, o transporte dos resíduos em caminhões compactadores deve ser feito em distâncias máximas recomendadas de até 25 km, conforme indicado no Diagnóstico do PMetGIRS da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Para distâncias superiores a este valor, é recomendável o uso de estações de transferência de resíduos (ETR), normalmente projetadas para armazenar uma quantidade de resíduos de até 2 (dois) dias de coleta, ver Figura 25. Ou seja, se a ETR for projetada para operar com 100 t/dia, seu fosso de armazenagem deve ser suficiente para abrigar até 200 toneladas de resíduos (correspondendo a aproximadamente 800 m³ de capacidade volumétrica).

Além disso, as áreas de armazenamento devem ser projetadas de forma a conter os líquidos gerados pelos resíduos para permitir seu tratamento e correta destinação.

Também devem ser dotadas de sistemas controlados de exaustão, de forma a evitar a dispersão dos odores desagradáveis emanados pela digestão da fração orgânica dos resíduos, conforme se mostra na Figura 26.

Figura 25: Área de Armazenamento de uma ETR



Fonte: LIMPURB, 2015

Figura 26: Sistema de Exaustão de uma ETR



Fonte: Operastudio, 2013

Conforme publicado no Manual de Gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos do IBAM (Instituto Brasileiro de Administração Municipal_2001), existem quatro tipos de estações de transbordo: estações com transbordo direto (Figura 27) e estações com armazenamento, sendo que estas últimas se subdividem em estações com compactação e sem compactação (Figura 28).

Figura 27: Transbordo Direto



Figura 28: ETR com Armazenamento e sem Compactação



Fonte: Revista Pensar Engenharia, 2015

Estações com transbordo direto são as mais empregadas atualmente. Contam com um desnível entre os pavimentos para que os caminhões de coleta, posicionados em uma cota mais elevada, façam a descarga do lixo do caminhão de coleta diretamente no veículo de transferência.

Por não contarem com local para armazenamento de lixo, estas estações necessitam de uma maior frota de veículos de transferência para assegurar que os caminhões de coleta não fiquem retidos nas estações aguardando para efetuar a descarga dos resíduos. Dessa forma, evita-se a exposição de resíduos, trazendo benefícios visuais e valorização da região, além de evitar a proliferação de insetos e reduzir vetores de contaminação, especialmente roedores.

As estações com armazenamento possuem, na maioria das cidades, os roteiros de coleta de lixo domiciliar iniciados em um mesmo horário, sendo provável que os veículos terminem a coleta e cheguem na estação de transferência em uma mesma faixa de horário. A chegada simultânea de veículos torna imprescindível que a estação de transferência conte com um local para o armazenamento dos resíduos.

Já as estações com compactação têm como principal objetivo o aumento da massa específica dos resíduos visando a redução das despesas com transporte.

O modelo mais tradicional conta com silo de armazenamento e desnível entre os pavimentos de carga e descarga. Um sistema hidráulico instalado no silo compacta os resíduos no interior dos veículos de transferência.

Por fim, as estações sem compactação devem contar com pátio pavimentado, cobertura e fechamento lateral, a fim de evitar a exposição dos resíduos e conferir melhor padrão estético às instalações.

O carregamento dos resíduos nos veículos de transferência pode ser feito através de escavadeiras hidráulicas ou pás carregadeiras.

Este modelo facilita bastante a velocidade na descarga dos veículos de coleta e no carregamento dos veículos de transferência, podendo ser empregado para estações de pequeno e grande portes.

As estações de transferência ainda podem abrigar unidades de triagem. Neste caso, o gerenciamento de resíduos fica otimizado e a quantidade de resíduos encaminhada para aterro sanitário fica reduzida, como recomenda a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Por fim, cabe mencionar que o Município do Rio de Janeiro possui cinco estações de transferência, as quais destinam os resíduos para o CTR-Rio, em Seropédica, assim distribuídas:

- ETR Caju: Atende a Zona Sul, Centro do Rio, Bonsucesso, Penha, São Cristóvão, Ilha do Governador e Olaria, com capacidade de recebimento de até 4.000 toneladas/dia.
- ETR Marechal Hermes: Atende Guadalupe, Costa Barro, Acari, Madureira, Cascadura, Coelho Neto, Ricardo de Albuquerque, Vicente de Carvalho, Realengo, Sulacap, Ilha do Governador, Campinho, Vila Valqueire, Penha, Braz de Pina e Vila da Penha, com capacidade de recebimento de até 1.000 toneladas/dia.
- ETR Bangu: Atende Realengo, Bangu, Vila Aliança, Vila Kennedy, Campo Grande, Santíssimo e Padre Miguel, com capacidade de recebimento de até 3.000 toneladas/dia.
- ETR Jacarepaguá: Atende Cidade de Deus, Taquara, Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes, Rocinha e Jacarepaguá, com capacidade de recebimento de até 1.500 toneladas/dia.
- ETR Santa Cruz: Atende Campo Grande, Santa Cruz e Pedra de Guaratiba, com capacidade de até 2.900 toneladas/dia.

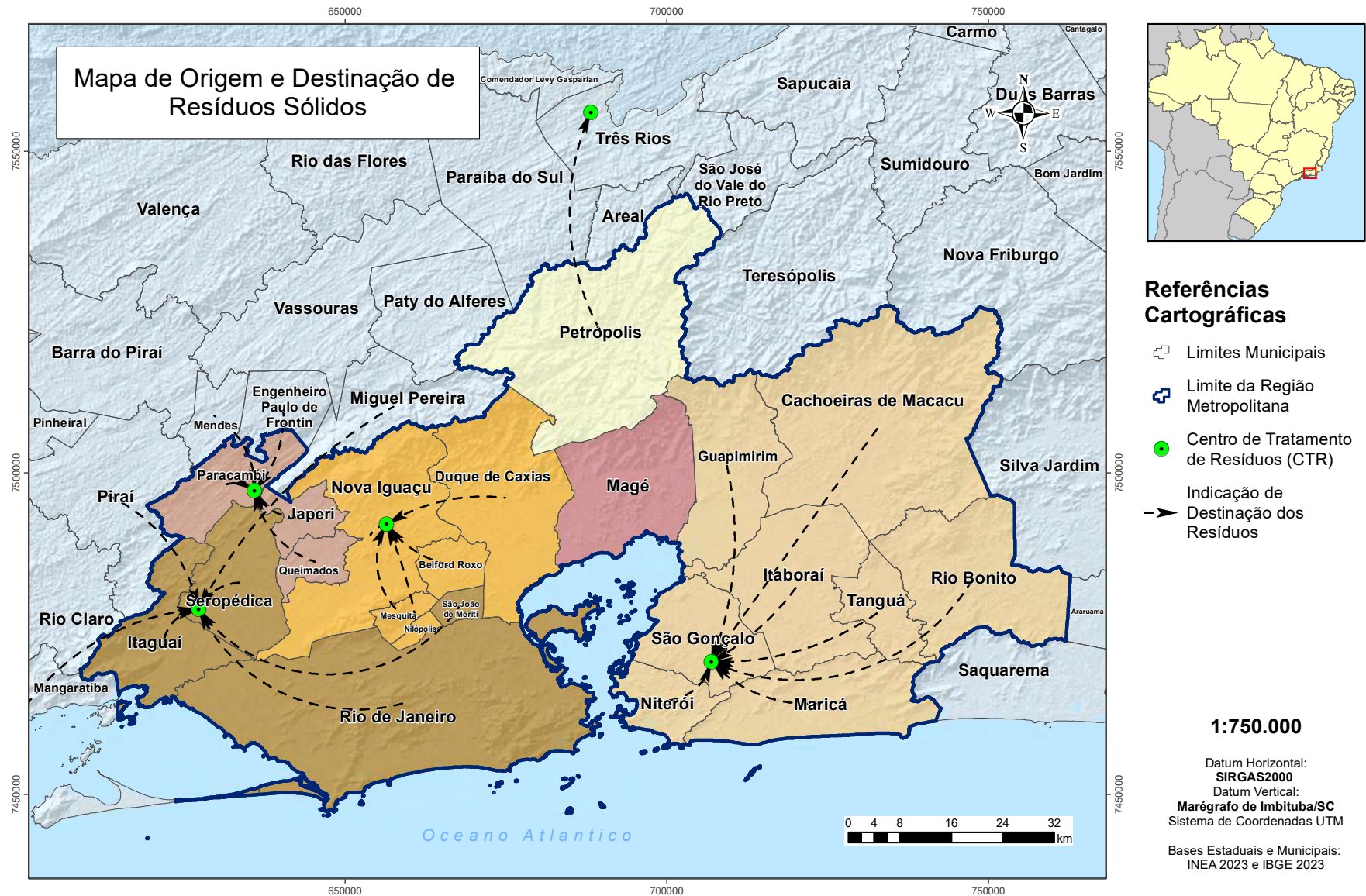
A Figura 29 e a Figura 30 apresentam, respectivamente, os mapas de localização das Estações de Transferência (ETR) e das Centrais de Tratamento localizadas na RMRJ, conforme identificados no Diagnóstico Geral.

Figura 29: Localização das ETR



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Figura 30: Localização das CTR - Mapa 8 do Diagnóstico Geral



Fonte: ENGECONSULT (2023).

Por outro lado, o transporte dos resíduos é uma atividade de interesse em função dos aspectos logísticos envolvidos e por conta dos impactos ambientais provocados, em especial pelo modal terrestre utilizado para este tipo de transporte, gerador de grande quantidade de gases de efeito estufa (GEE).

Além do encurtamento das distâncias entre os pontos de coleta e as estações de transferência, deve-se considerar que o transporte para as unidades de tratamento ou de destinação final deve ser feito em carretas de grande capacidade (em média da ordem de 45 m³), a fim de diminuir o número de viagens e, conseqüentemente, reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

Dentro das suas atribuições, o Instituto Rio Metrópole (IRM) pode estabelecer melhores condições operacionais de transbordo e transporte e atuar diretamente com os municípios para auxiliar na implementação das alternativas mais viáveis.

3.1.6. Tratamento

Dentre as principais formas de tratamento dos RSU destacam-se: a Triagem; a Digestão Aeróbia; a Digestão Anaeróbia; a Pirólise; e os Processos Térmicos de Recuperação de Energia.

Cada um destes processos se acha descrito no texto a seguir, sendo que, no Anexo 4 apresenta-se uma comparação entre as tecnologias mais viáveis.

a) Usinas de Triagem

As usinas de triagem podem ser convencionais ou mecanizadas. Estas últimas possuem processos automatizados para a separação dos diversos tipos de resíduos.

A seleção do tipo de usina deve ser feita, principalmente, em função da quantidade de resíduos a serem processados.

Usualmente, as usinas mecanizadas são utilizadas para capacidades maiores, visto que as unidades convencionais possuem capacidade de até 500 t/dia. Apesar de poderem operar acima do limite de 500 t/dia, as usinas convencionais perdem em viabilidade para as usinas mecanizadas em capacidades operacionais elevadas.

Uma Unidade de Triagem do tipo convencional, é equipada com correias transportadoras de catação, com separadores de materiais ferrosos e um triturador ao final das correias.

Já uma Unidade de Triagem Mecânica (UTM) é composta por um conjunto de equipamentos que visa separar o RSU in natura em três grupos diferentes de materiais: matéria orgânica; recicláveis e inertes. Para tal, além das correias utilizadas nas unidades convencionais, também são utilizadas peneiras rotativas, separadores óticos, balísticos e separadores de metais não ferrosos por indução magnética.

Devido à utilização dessas tecnologias, unidades mecânicas exigem mão de obra especializada em conjunto com a mão de obra utilizada na convencional (catadores manuais).

Em seguida, os recicláveis são separados em subgrupos: plásticos, papel, metais ferrosos e não ferrosos, alumínio, vidro e outros.

Por sua vez, os inertes são separados em inservíveis, como pedras, areia, concreto e alvenaria; e inertes, propriamente ditos, como: panos, couro, borracha e madeira.

Por fim, o subgrupo de inertes se reúne com a matéria orgânica e são processados, originando os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR).

As Usinas de Triagem devem ser posicionadas, preferencialmente, próximas à geração dos RSU, em bairros populosos ou, em ponto onde a UTM atenda a vários núcleos humanos em um único ponto. Com isso espera-se que a logística do RSU seja simplificada, reduzindo os custos de transporte dos resíduos.

A realização da triagem do RSU promove um incremento do valor agregado dos resíduos, recuperando os recicláveis e os combustíveis derivados de resíduos, além de reduzir de forma significativa a quantidade de materiais encaminhada aos aterros sanitários.

Em termos comerciais, os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) podem ser negociados com indústrias cimenteiras ou então encaminhados para usinas térmicas de recuperação de energia elétrica.

No Brasil, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ainda são encaminhados diretamente aos aterros, desperdiçando grande quantidade de materiais recicláveis e CDR.

A estratégia de triagem e reaproveitamento dos RSU pode mudar este cenário, com a consequente disposição em aterro sanitário apenas dos rejeitos gerados ao longo dos processos.

Especificamente para os municípios de pequeno porte, a estratégia de triagem e reaproveitamento dos RSU é uma oportunidade de agregar valor à fração coletada e reduzir o volume a ser encaminhado ao aterro.

Vale mencionar que a implantação, a manutenção e o gerenciamento de aterros sanitários por municípios de pequeno porte são sempre difíceis devido às limitações financeiras e técnicas.

A organização do setor a partir das unidades de triagem, possibilita a implantação de programas de coleta seletiva, logística reversa, economia circular, produção de energia elétrica sustentável e de educação ambiental, o que vem de encontro às normas e especificações da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Conforme os cenários estabelecidos, recomenda-se a implantação, ao longo do período abrangido por este plano, de Usinas de Triagem de acordo com a distribuição proposta na Tabela 18.

É importante mencionar, que, apesar de a Tabela 18 indicar uma unidade de triagem em Paracambi que gera apenas 50,5 t/dia no próprio município,

esta unidade também receberá os resíduos de Engenheiro Paulo de Frontin e Mendes, com médias de 9,39 e 6,72 t/dia, respectivamente para cada município, totalizando 66,61 t/dia para tal Unidade de Triagem.

Apesar das unidades mecanizadas apresentarem viabilidade econômica a partir de 350 t/dia, são recomendadas unidades convencionais até a capacidade limite de 500 t/dia, visto que estas geram mais empregos e não necessitam de mão de obra especializada.

Tabela 18: Distribuição das Usinas de Triagem Propostas

Municípios	Total de Resíduos (t/dia)	Usinas de Triagem (quantidade)	Tipos de Usinas
São Gonçalo	1117,81	2	Mecanizadas
Niterói	624,99	1	Mecanizada
Maricá	295,89	1	Convencional
Itaboraí	396,87	1	Convencional
Cachoeiras de Macacu			
Rio Bonito			
Tanguá			
Duque de Caxias	1826,22	2	Mecanizadas
Petrópolis	287,91	1	Convencional
Magé	282,66	1	Convencional
Guapimirim			
São João de Meriti	307,38	1	Convencional
Nova Iguaçu	1541,89	2	Mecanizadas
Belford Roxo			
Mesquita	208,10	1	Convencional
Nilópolis			

Tabela 18: Distribuição das Usinas de Triagem Propostas (continuação)

Municípios	Total de Resíduos (t/dia)	Usinas de Triagem (quantidade)	Tipos de Usinas
Rio de Janeiro	8179,90	12	Mecanizadas e convencionais
Queimados	428,65	1	Convencional
Itaguaí			
Seropédica			
Japeri			
Paracambi	50,50	1	Convencional
TOTAL	15.499,00	27	

Fonte: ENGECONSULT, 2023

b) Digestão Aeróbia

A digestão aeróbia de resíduos, também conhecida como compostagem, é um processo biológico de tratamento de resíduos orgânicos que ocorre na presença de oxigênio. Durante esse processo, microrganismos aeróbios, como bactérias e fungos, decompõem a matéria orgânica presente nos resíduos, convertendo-a em produtos finais como dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e biomassa microbiana.

A compostagem é um processo aplicável a materiais predominantemente orgânicos e biodegradáveis, consistindo na degradação biológica da massa de resíduos por meio de microrganismos.

A parcela orgânica do RSU ou do lodo serve de nutriente para o processo, bem como alguns compostos presentes nos resíduos, tais quais cobre e zinco, que se incorporam ao composto produzido, atuando como micronutrientes quando aplicados ao solo.

Basicamente, existem dois tipos de compostagem: a convencional e a acelerada.

Na compostagem convencional, a fração orgânica dos resíduos, tritura e homogeneizada, é colocada em leiras triangulares com cerca de 2,0 metros de base e altura similar, onde permanecem por um tempo que varia de 60 a 120 dias.

Durante o processo é feito o controle diário da umidade (teor ótimo entre 40% e 50%) e da temperatura (entre 25 e 45°C na fase mesófila e entre 55 e 65°C na fase termófila da leira), efetuando-se o reviramento da massa de resíduos a cada semana de modo a assegurar a aeração contínua da massa de resíduos.

Além destes dois parâmetros, também devem ser monitorados a relação C:N, que deve se situar na faixa de 30 unidades, e o pH, que deve estar por volta de 6,0 na fase mesófila e entre 7,0 e 9,0 na fase termófila.

O produto obtido, chamado de composto, pode ser utilizado como condicionador de solos em virtude de seus teores de NPK e da característica de aumentar a retenção de umidade.

Já na compostagem acelerada, os resíduos são dispostos em leiras estáticas, com altura não superior a 2,0 metros, montadas sobre tubulações perfuradas que injetam ar ou oxigênio para atravessar a massa de resíduos. Com isso, há uma maior possibilidade de controle do processo (temperatura, umidade e aeração), propiciando um menor tempo de compostagem, cerca de 55 a 60 dias.

Na Região Metropolitana, só se tem conhecimento de dois municípios que se utilizaram do processo de compostagem acelerada, no início dos anos 2000; o Município de Tanguá, que doava o composto produzido para os agricultores locais, e o Município do Rio de Janeiro que, através de um convênio com o Governo Alemão, testou, sem sucesso, um sistema de biodigestão acelerada na sua unidade de Jacarepaguá.

A compostagem visa reproduzir as condições ideais do processo natural de degradação da matéria orgânica. O controle de fatores como umidade, temperatura, aeração e balanço de nutrientes é crucial para o sucesso do processo.

Esse método envolve a atuação de macroorganismos e microrganismos na rápida decomposição da matéria orgânica, eliminando patógenos e evitando vetores de doenças.

O produto final é um composto orgânico escuro, com textura homogênea e aroma de terra, que pode ser aplicado diretamente no solo, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas e sendo útil em jardins, vasos e hortas domésticas.

Para garantir uma compostagem de qualidade, a separação adequada dos resíduos na origem é essencial. Os resíduos orgânicos, como restos de alimentos e materiais de jardim, devem ser destinados à compostagem.

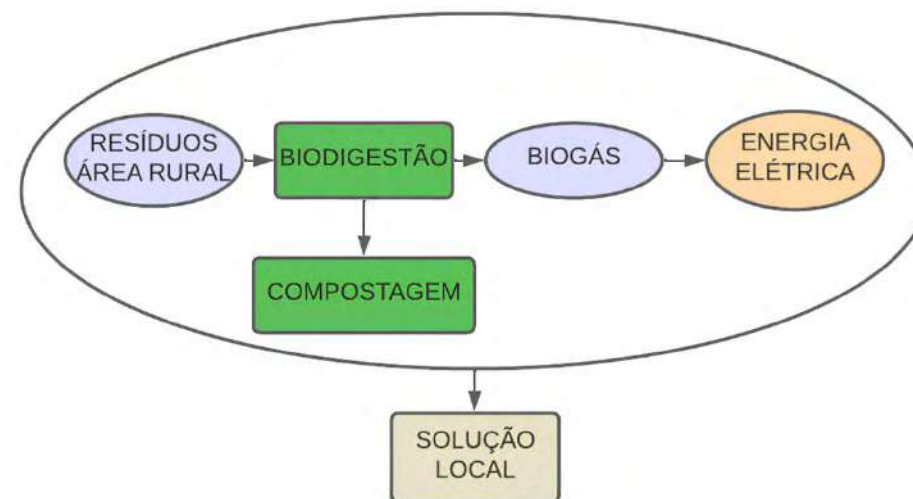
Outras categorias, como resíduos recicláveis secos (plástico, papel, metal, vidro) devem ser encaminhadas para a coleta seletiva, enquanto os rejeitos, que não podem ser reciclados, são coletados pelos municípios e destinados às suas respectivas destinações finais.

A escala da compostagem pode variar, desde pequenas quantidades tratadas em domicílios ou pátios comunitários até grandes quantidades gerenciadas por municípios ou em locais privados. Essa prática não apenas contribui para a gestão eficaz de resíduos urbanos, mas também promove a saúde ambiental e a sustentabilidade.

A compostagem pode ser utilizada como uma solução local, complementar, em regiões nas quais haja demanda para o consumo de composto, tais quais regiões rurais da RMRJ. Em cenários urbanos, a aplicação desse método pode ser especialmente relevante para lidar com resíduos orgânicos.

As soluções de destinação para estas áreas podem ser locais e gerenciadas no âmbito dos municípios ou dos proprietários, conforme a Figura 31.

Figura 31: Arranjo Local para Destinação de Resíduos da Área Rural



Fonte: ENGECONSULT, 2023

c) Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é uma biodegradação que se desenvolve por um processo metabólico complexo, que requer condições anaeróbias (atmosfera com déficit de oxigênio) e depende da atividade conjunta de uma associação de microrganismos para transformar material orgânico em dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4).

O processo pode ser dividido em quatro fases, sendo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Cada etapa é realizada por diferentes grupos de microrganismos, em sintrofia, e podem requerer diferentes condições ambientais.

De acordo com Jucon (2023), a digestão anaeróbia pode ser feita por sistema seco ou úmido. O sistema úmido produz uma quantidade maior de biogás, utiliza 83,5 litros de água por tonelada de resíduo tratado e consome mais energia para funcionar.

O sistema seco dispensa o acréscimo do líquido, é mais eficiente em relação à energia e produz 2,5 vezes mais biofertilizante que o sistema úmido. Ambos os processos têm como produto final gás (biogás) e composto.

Existem inúmeras tecnologias em termos mundiais, sendo os mais relevantes os processos DRANCO, Kompogas e Valorga, ainda que nenhum destes processos tenha logrado êxito em implantar unidades no Brasil.

Por outro lado, o Brasil já desenvolveu processos nacionais, com destaque para os processos iBio-Booster, Alt-21 e os túneis de metanização da Methanum.

A par dos processos capazes de tratar grandes quantidades de RSU, esta é uma solução que pode ser aplicada de forma local e em pequena escala sendo viável para o processamento de resíduos em Zonas Rurais e Comunidades, onde as redes coletivas não estejam implementadas, pois podem operar através de biodigestores compactos de simples instalação, operação e manutenção, além de apresentarem baixo custo de aquisição e implantação.

Trata-se de um big bag que recebe resíduos orgânicos em geral (restos de alimentos, lixo orgânico de origem animal e vegetal e outros). Dentro, há um compartimento que recebe os resíduos em um meio aquoso, com bactérias anaeróbicas inoculadas.

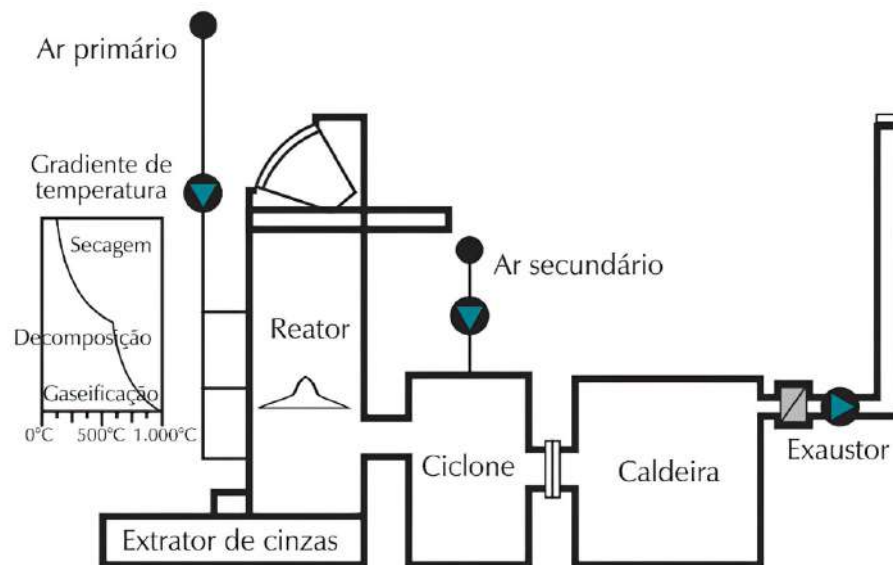
Nesse meio reacional, a matéria orgânica é digerida, dando origem a uma corrente gasosa rica em metano (CH_4), que é um combustível apto a ser queimado para gerar energia e calor.

d) Pirólise

A pirólise também é um processo de destruição térmica, como a incineração, com a diferença de absorver calor e se processar na ausência de oxigênio. Nesse processo, os materiais à base de carbono são decompostos em combustíveis gasosos ou líquidos e carvão.

Existem modelos de câmara simples, onde a temperatura gira na faixa dos 1.000°C , e de câmaras múltiplas, com temperaturas entre 600 e 800°C na câmara primária, e entre 1.000 e 1.200°C na câmara secundária (ver Figura 32).

Figura 32: Reator de Pirólise - Croqui



Fonte: Manual de Gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos do IBAM, 2001

Podem ser dotados de sistema de alimentação automática (contínua) ou semi-automática (em bateladas) e possuem queimadores auxiliares que podem operar com óleo combustível ou a gás.

Suas grandes vantagens são:

- garantia da eficiência de tratamento, quando em perfeitas condições de funcionamento;
- redução substancial do volume de resíduos a ser disposto (cerca de 95%).

Suas principais desvantagens são:

- custo operacional e de manutenção elevado;
- elevado custo de tratamento dos efluentes gasosos e líquidos;
- manutenção difícil, exigindo trabalho constante de limpeza no sistema de alimentação de combustível auxiliar, exceto se for utilizado gás natural.

Porém, o principal problema que inviabiliza sua utilização no tratamento dos RSU é a dificuldade de regulação das condições de queima em virtude da variabilidade dos teores de umidade e de matéria orgânica.

Entretanto, para resíduos com características constantes, como bagaço de cana, casca de arroz, cavacos de madeira e até mesmo resíduos de serviços de saúde, os pirolisadores são muito utilizados.

e) Tratamento Térmico – Usina de Recuperação de Energia – Combustão

Considerando a crescente preocupação da sociedade com relação às questões ambientais e ao desenvolvimento sustentável, tornou-se necessária a criação de uma norma sobre o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos, que promova a sua utilização de forma segura e sustentável, aumentando a confiabilidade das práticas de recuperação energética.

A ABNT NBR 16849:2020 foi elaborada com o objetivo de facilitar a comunicação entre as partes interessadas envolvidas na cadeia de custódia de seleção, preparação e uso para fins energéticos do resíduo sólido urbano, bem como facilitar a interação com questões ambientais.

Da mesma forma, definições claras e abrangentes sobre os requisitos de aceitação de resíduos para fins de recuperação energética, bem como a definição das classes dos lotes desse tipo de resíduo, são de

grande importância para a promoção de práticas seguras de recuperação energética.

A ABNT NBR 16849:2020 estabelece os requisitos para o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos com ou sem incorporação de outros resíduos classe II – Não perigosos, abrangendo os aspectos de elegibilidade de resíduos, registros e rastreabilidade, amostragem e formação dos lotes, armazenamento, preparo de resíduos sólidos urbanos para fins energéticos (RSUE), classificação dos lotes gerados e uso do RSUE nas unidades de recuperação energética (URE), respeitando a hierarquia de gestão e gerenciamento de resíduos.

Da NBR 16849:2020, destaca-se a seguinte definição: “Resíduo Sólido Urbano para Fins Energéticos (RSUE): resíduos sólidos urbanos, com ou sem incorporação de outros resíduos sólidos, resíduos agrossilvopastoris ou resíduos Classe II – Não perigosos elegíveis, utilizados em processos de recuperação energética de maneira controlada”.

O sistema de classificação do RSUE determina valores-limites de três características do resíduo, conforme descrito na tabela a seguir:

- Poder Calorífico Inferior (PCI) na base seca;
- Teor de cloro, como recebido;
- Teor de mercúrio, como recebido.

Tabela 19: Limites para Classificação dos RSUE

Características de Classificação dos RSUE				
Unidade	Medida estatística	Classe		
PCI (base seca)		P1	P2	P3
Kcal/kg	Limite inferior da média ($P \geq 95\%$)	$PCI \geq 4.750$	$4.750 \geq PCI \geq 3.580$	$3.580 \geq PCI \geq 2.390$

Tabela 19: Limites para Classificação dos RSUE (continuação)

Características de Classificação dos RSUE				
Teor de cloro		Cl	C2	C3
%	Limite superior da média ($P \geq 95\%$)	$3.580 \geq PCI \geq 2.390$	$0,5 \leq Cl \leq 1,5$	$1,5 \leq Cl \leq 3,0$
Teor de mercúrio		H1	H2	H3
mg/kg	Média aritmética	$Hg \leq 0,1$	$0,1 \leq Hg \leq 0,25$	$0,1 \leq Hg \leq 0,25$
	Percentil de 80	$Hg_{p80} \leq 0,2$	$0,2 \leq Hg_{p80} \leq 0,5$	$0,5 \leq Hg \leq 1,0$

Fonte: Adaptado do Capítulo 7.1 - ABNT NBR 16849:2020

Para o PMetGIRS da RMRJ, o RSU foi considerado com a seguinte composição:

- Matéria Orgânica: 50,78 %;
- Recicláveis: 38,71 %;
- Outros (inertes): 10,51 %.

Os compostos formadores dos CDR pela ABNT NBR 16849:2020 são associados com a classificação abaixo:

- Matéria Orgânica: 50,78 %, PCI (P3) – 2.390 kcal/kg;
- Outros (inertes): 10,51 %, PCI (P2) – 3.580 kcal/kg.

Motta e Chermont (1996) sugerem para a redução do RSU, reutilização do material produzido, reciclagem e a recuperação de energia através de combustão mass burning como formas de minimizar a quantidade de RSU encaminhada para destinação final.

A combustão mass burning ainda tem sido a alternativa adotada na Europa para diminuir o volume de RSU a ser depositado nos aterros,

prolongando a sua vida útil. Entre as vantagens deste processo pode-se citar:

- Uso direto da energia térmica para geração de vapor e/ou energia elétrica;
- Geração de energia a partir do RSU sem ruído e sem odor;
- Área para instalação reduzida.

Entre as desvantagens, tem-se:

- Inviabilidade do uso de RSU com menor poder calorífico;
- Umidade excessiva que prejudica a combustão;
- Necessidade de equipamentos auxiliares para manter a combustão;
- Elevados custos de investimento, operação e manutenção.

A biomassa do RSU metropolitano é um material orgânico não fossilizado e biodegradável, proveniente de plantas, animais e microrganismos. Esse material inclui produtos, subprodutos, resíduos e detritos provenientes do uso da madeira, da agricultura, da silvicultura e das indústrias relacionadas, bem como da fração biodegradável de resíduos industriais e urbanos com potencial de aproveitamento por recuperação energética.

A recuperação é feita em unidade dedicada à recuperação energética, denominadas Usinas de Recuperação Energética (URE), com aproveitamento da energia térmica gerada pela combustão de CDR.

O conceito de tratamento térmico inclui, além da combustão mass burning, outros processos, como a pirólise, gaseificação ou processos de plasma.

Na combustão mass burning podem-se distinguir três fases:

- Combustão: fase na qual os resíduos são tratados a diferentes temperaturas, de acordo com o processo escolhido;

- Pós-Combustão: fase na qual os gases produzidos na combustão são tratados a temperaturas elevadas ($>1.200^{\circ}\text{C}$) com excesso de ar;
- Depuração: fase em que os gases são esfriados e tratados por diferentes processos com finalidade de eliminar contaminantes e partículas em suspensão.

A recuperação de energia durante o tratamento térmico pode ter como objetivo:

- Geração de eletricidade;
- Geração de vapor para aquecimento doméstico ou processos industriais;
- Resfriamento de água em máquinas de absorção para fins de condicionamento de ar;
- Cogeração com a produção simultânea de eletricidade e/ou vapor, e/ou água gelada para condicionamento de ar.

Uma unidade que opera com o sistema mass burning é uma usina para a queima direta do CDR, onde na sequência da queima há a recuperação de energia da reação de combustão e, por fim, se processa o tratamento integral dos gases efluentes da queima.

A combustão do tipo “mass burning” é feita em uma câmara de combustão simples em condições de excesso de ar, que, associadas à temperatura, tempo de residência e turbulência apropriadas, asseguram o contato do ar com toda a massa de resíduos.

Os queimadores do tipo “modular” possuem câmaras primárias, com menor disponibilidade de ar (cerca de 80% do ar necessário para a combustão) e câmara secundária, com excesso de ar e temperatura superior, para realizar a oxidação completa.

A combustão pode ser realizada por meio de grelhas móveis, o tipo mais usual para RSU. Entretanto, existem ainda, os sistemas com grelhas fixas e fornos rotativos.

f) Tratamento Térmico – Gaseificação ou Termodegradação

A gaseificação é o processo de transformação de materiais sólidos e líquidos em gases por meio de temperaturas elevadas, em ambiente com baixa concentração de oxigênio. Tal condição é gerada em reatores que promovem a pirólise (degradação química por meio de temperatura elevada).

A reação química pode ser otimizada em ambientes de gás ionizado, conhecido como plasma, o qual é gerado em altas temperaturas. Neste caso, para a geração das altas temperaturas, pode ser usado nitrogênio ou argônio aquecidos eletricamente para a formação do plasma, ou ainda, catalisadores químicos.

O gás resultante da reação é normalmente composto por monóxido de carbono e hidrogênio, além de dióxido de carbono, metano e nitrogênio, possuindo, portanto, poder calorífico razoável e função de combustível.

Este gás é usualmente conhecido como gás de síntese (syngas), e é utilizado para a geração de energia elétrica ou como combustível para o funcionamento do reator, quando aplicável.

Trabalhos inovadores buscam o aproveitamento do hidrogênio gerado na gaseificação para a produção de energia elétrica por meio de Células de Combustível Alcalinas (AFC na sigla em inglês).

O material líquido gerado pela fusão (derretimento) dos resíduos sólidos é separado em frações orgânicas e inorgânicas para posterior reaproveitamento. As frações orgânicas são constituídas por óleos sintéticos e alcatrão (material betuminoso a base de hidrocarbonetos), além de outros produtos. A fração inorgânica gera material cerâmico e ferroso. O processo também pode gerar material sólido constituído por carvão, minerais e metais, os quais são separados e reaproveitados.

As vantagens desta tecnologia estão associadas ao reaproveitamento dos produtos gasosos, sólidos e líquidos, propiciando a geração de valor

e, por consequência do reaproveitamento, menor geração de efluentes líquidos e gasosos, bem como de resíduos sólidos. Como desvantagem destaca-se, em especial para as tecnologias de plasma, o alto custo para a obtenção de temperaturas elevadas.

Na tecnologia de gaseificação, o resíduo passa por um processo de secagem antes da entrada no reator de pirólise.

A temperatura do reator deve ser de, no mínimo, 800° C, visto ser esta a temperatura mínima requerida pela legislação nacional para o tratamento térmico de resíduos. A concentração de oxigênio no reator deve ser inferior à concentração necessária para a combustão, visto que o objetivo do processo não é efetuar a queima do resíduo, mas sim degradá-lo termicamente.

Parte do gás de síntese é direcionado para o fornecimento da temperatura do reator e o restante do gás gerado é encaminhado para uma caldeira (vaso de pressão contendo água) para a geração de vapor e produção de energia elétrica.

A fração líquida é separada por diferença de densidade para recipientes de armazenamento e para equipamentos de moldagem, caso aplicável. Os materiais produzidos são comercializados com as indústrias químicas e mecânicas.

O material sólido é separado por meio de separadores magnéticos ou de forma manual para a posterior comercialização com as indústrias.

As tecnologias de pirólise e tocha de plasma se apresentam como opção para o tratamento do RSU com recuperação energética e de produtos gasosos, líquidos e sólidos. Entretanto, não são utilizadas na mesma escala de processo que a combustão.

Adicionalmente, a umidade do RSU precisa ser removida para que estes processos tenham produtividade. Portanto, devem ser utilizadas de forma complementar ou como opção local.

g) Tratamento Térmico – Arco de Plasma

O Plasma Pirólise é uma tecnologia dedicada à destruição de resíduos, que associa as altas temperaturas geradas pelo plasma com a pirólise dos resíduos.

O processo de pirólise pode ser genericamente definido como sendo o de decomposição química por calor na ausência de oxigênio.

Quando um gás é aquecido a temperaturas elevadas há mudanças significativas nas suas propriedades. A 2.000 °C, as moléculas do gás começam a se dissociar em estado atômico e a 3.000 °C, os átomos são ionizados pela perda de parte dos elétrons. Este gás ionizado é denominado de plasma.

O plasma é uma forma especial de material gasoso que conduz eletricidade. No estado de plasma o gás atinge temperaturas extremamente elevadas que podem variar de 5 000 a 50 000 °C de acordo com as condições de geração.

O plasma é gerado pela formação de um arco elétrico, através da passagem de corrente entre o catodo e o anodo, e a injeção de um gás que é ionizado e pode ser projetado sobre os resíduos.

Figura 33: Arco Voltaico



Figura 34: Chama de Tocha de Plasma



Fonte: NRG Energy, Inc. – Philadelphia, PA – USA

A tocha de plasma atua tal qual a um queimador dentro de um forno siderúrgico, fornecendo toda a energia, na forma de calor em alta temperatura, para que os resíduos sejam fundidos e vaporizados. Tipicamente as temperaturas alcançadas por plasmas térmicos são da ordem de 15.000 °C, embora temperaturas até 50.000 °C sejam possíveis.

Existem basicamente dois tipos de tratamento de resíduos por plasma: fazendo incidir a tocha de plasma diretamente sobre os resíduos ou provocando o seu aquecimento prévio numa câmara de gaseificação.

Por meio da tocha de plasma produz-se eletricamente um campo de energia radiante de altíssima intensidade que aplicado sobre os resíduos produz a dissociação das ligações moleculares existentes nos compostos sólidos, líquidos ou gases, sejam eles perigosos ou não, orgânicos ou inorgânicos.

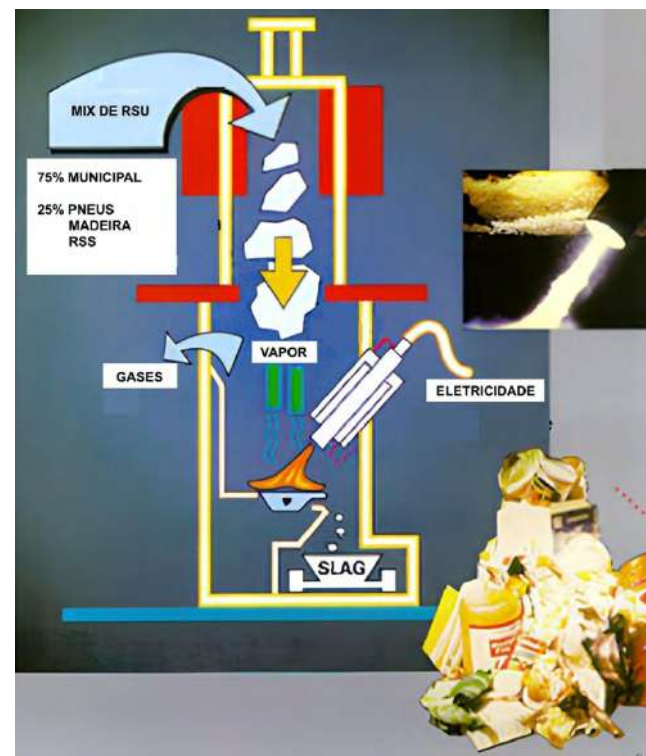
Assim, os resíduos quando sujeitos à ação do plasma deixam de ter a sua composição química original para se dissociarem em compostos mais simples.

Na figura abaixo, estão representadas esquematicamente as etapas do tratamento de RSU, usando o plasma como agente transportador de energia:

Etapas:

- a. RSU é admitido in natura em vaso refratário, onde uma tocha de plasma provoca a fusão do material sólido em líquido e, na sequência, em gás ionizado;
- b. A tocha gera a chama através da ionização do ar por arco voltaico, em altíssima temperatura;
- c. O gás produzido no reator de plasma é o Gás de Síntese, uma mistura de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂);

Figura 35: Etapas de Tratamento de RSU por Plasma



Fonte: Adaptado do Processo Plasma para Tratamento de RSU
Universidade de Passo Fundo (2018)

- d. O gás de síntese é conduzido para purificação e recuperação energética (gerando eletricidade);
- e. Os gases exaustos do sistema de recuperação energética são tratados e filtrados, antes de serem liberados para o meio ambiente;
- f. As altas temperaturas do processo (entre 3000 °C e 5000 °C) garantem a destruição de qualquer efluente gasoso perigoso (inclusive as dioxinas e os furanos);

- g. Já os minerais inorgânicos não gaseificados, transformam-se em materiais inertes e vítreos, de aplicação diversa na construção civil e no artesanato.

Figura 36: RSU Fundido em Reator com Tocha de Plasma



Fonte: NRG Energy, Inc. - USA – 2023

Os materiais resultantes do processo são recuperados em três formas distintas:

- Gás de Síntese (CO e H_2) que é encaminhado a um sistema de purificação e de combustão, para aproveitamento do poder calorífico dos gases;
- Materiais inorgânicos, silicatos vítreos, que sobrenadarão à fase metálica líquida. Estes materiais, no caso da tecnologia de aquecimento direto, foram sujeitos a temperaturas muito mais elevadas

do que na tecnologia em que se utiliza a gaseificação prévia. Os silicatos também conterão pequenas quantidades de metais encapsulados e metais líquidos, caso existam metais em quantidade suficiente.

- Após solidificação, os silicatos apresentam-se sob a forma vítrea de cor negra e de altíssima dureza, muito similar a um mineral de origem vulcânica. Da mesma forma que no mineral, os elementos encapsulados, mesmo os perigosos (Pb , Cd e outros) são totalmente insolubilizáveis e não lixiviáveis, porque estão aprisionados dentro da matriz cristalina do material, tal como acontece no caso do clínquer (coprocessamento em fornos de cimento).

Figura 37: Mineral Vítreo – Fundo do Reator com Tocha de Plasma



Fonte: NRG Energy, Inc. - USA – 2023

Os gases gerados durante o processo de decomposição por plasma pirólise são depois enviados para uma estação de tratamento de gases convencional, semelhante às estações do sistema mass burning.

Composições típicas das emissões gasosas do processo são: metano, monóxido e dióxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio e água.

A maioria dos estudos se refere apenas à composição dos gases na saída do processo de plasma. Porém, sob o ponto de vista ambiental o processo tem de ser avaliado no seu conjunto, isto é, tratamento dos resíduos, produção de gás e sua combustão para aproveitamento energético.

Muitas das referências ao emprego destas tecnologias, não se refere à composição dos gases após o ciclo de recuperação energética. Assim, por exemplo, as emissões de compostos organoclorados, como é o caso das dioxinas e furanos, não são descritas pelos fabricantes.

Na verdade, estes compostos, como já foi averiguado para outras tecnologias, formam-se na fase final no arrefecimento dos efluentes gasosos, após a sua combustão. As principais vantagens do uso desta técnica estão elencadas a seguir:

- Formação de compostos vitrificados estáveis sob o ponto de vista ambiental;
- Aproveitamento comercial dos produtos vitrificados;
- Maior capacidade de destruição primária dos compostos organoclorados.
- Alto nível de redução do volume de resíduos ao final do processo.

As desvantagens deste processo estão associadas ao alto custo, principalmente relacionado ao consumo de energia elétrica e ao material refratário para suportar as elevadas temperaturas; requer uma etapa de combustão e um sistema eficiente de tratamento dos gases.

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, só se tem conhecimento de uma única instalação operando a arco de plasma. É a unidade da Adesso Ambiental localizada no Município de Duque de Caxias (ver Figura 38).

Esta unidade, até o momento, só trabalha em pequena escala com resíduos de serviços de saúde, mas tem pretensões de incrementar suas atividades para RSU e resíduos industriais.

Figura 38: Unidade de Plasma Térmico da Adesso Ambiental

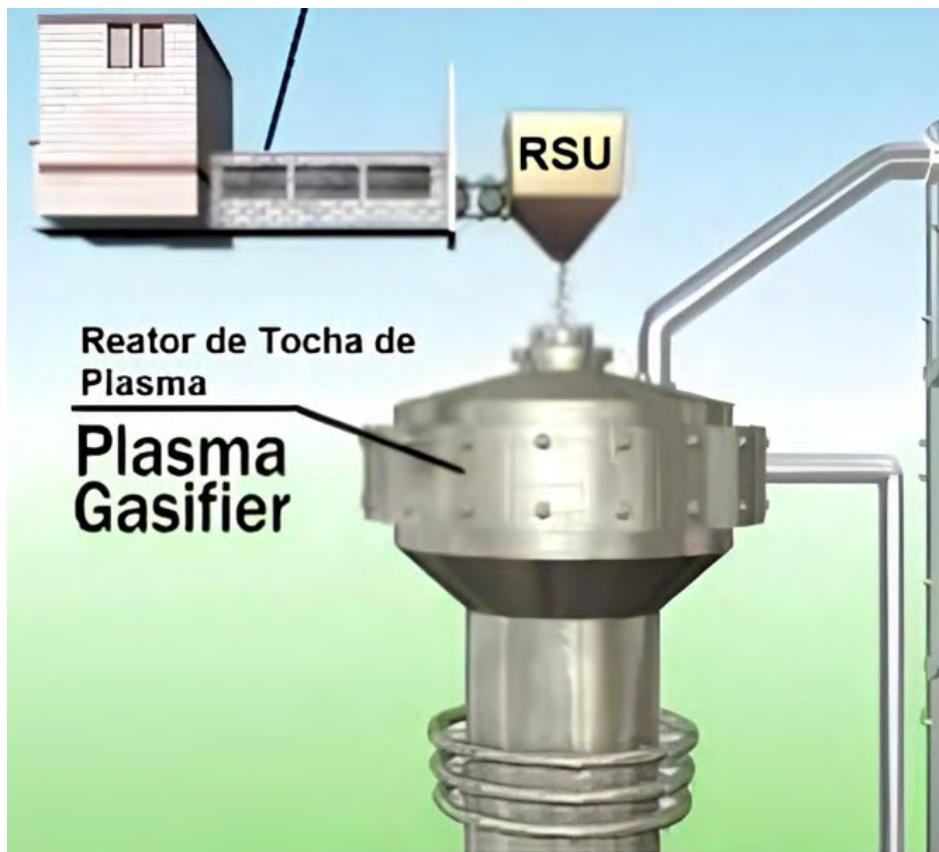


Fonte: Adesso Ambiental – 2023

Em termos globais, a NRG Energy Inc. é uma referência mundial para o tratamento de RSU, com recuperação energética associada. A sequência de imagens a seguir mostra o processo de tratamento de RSU com reator a plasma da NRG Energy.

1. O RSU bruto é admitido para tratamento pelo topo do reator.

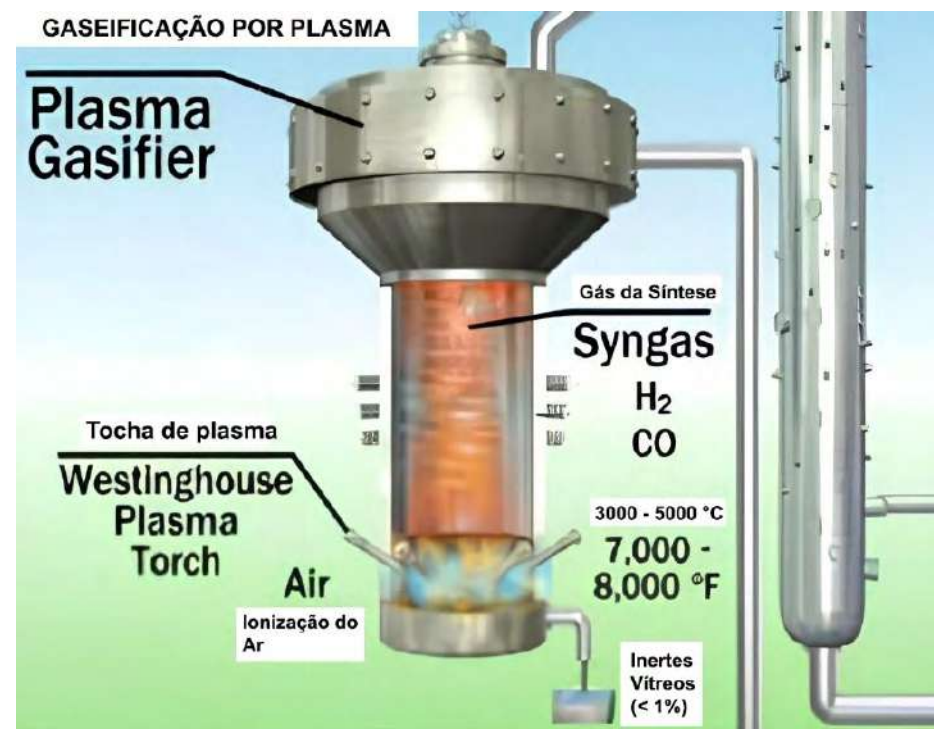
Figura 39: Entrada do RSU no Reator



Fonte: NRG Energy, Inc. - USA – 2023

2. Através da ionização do ar, gerado pelo arco voltaico dos eletrodos da tocha, uma chama de plasma a 5000 °C funde e vaporiza os materiais contidos no RSU. O produto da fase gasosa é composto por Gás de Síntese, uma mistura de monóxido de carbono e hidrogênio, altamente aquecido, que propiciará uma grande recuperação de energia, na forma de eletricidade.

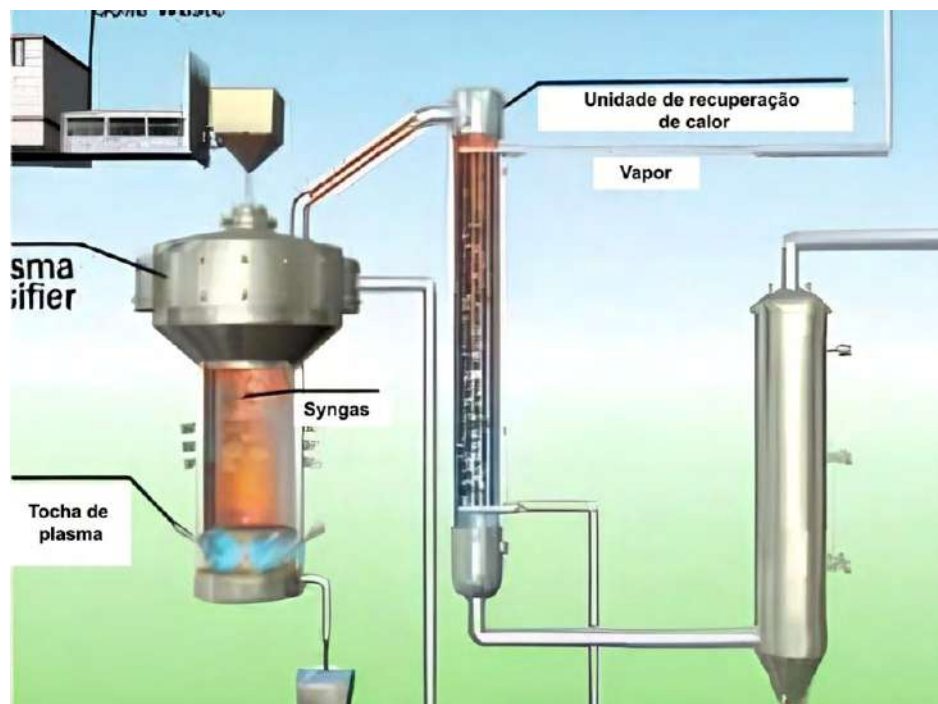
Figura 40: Gaseificação por Plasma



Fonte: NRG Energy, Inc. - USA – 2023

3. O Gás de Síntese superaquecido é encaminhado a uma unidade de recuperação de calor, gerando vapor d'água, que por sua vez, acionará um gerador de energia elétrica.

Figura 41: Recuperação de Calor



Fonte: NRG Energy, Inc. - USA – 2023

4. Com o Gás de Síntese (GS) resfriado na unidade de recuperação energética, ele na sequência passa através de um filtro de mangas, para impedir que o GS arraste partículas sólidas para o compressor da unidade.

5. Em seguida, o gás de síntese é purificado para remover contaminantes e inertes, que prejudicariam o balanço de energia da unidade de processo.

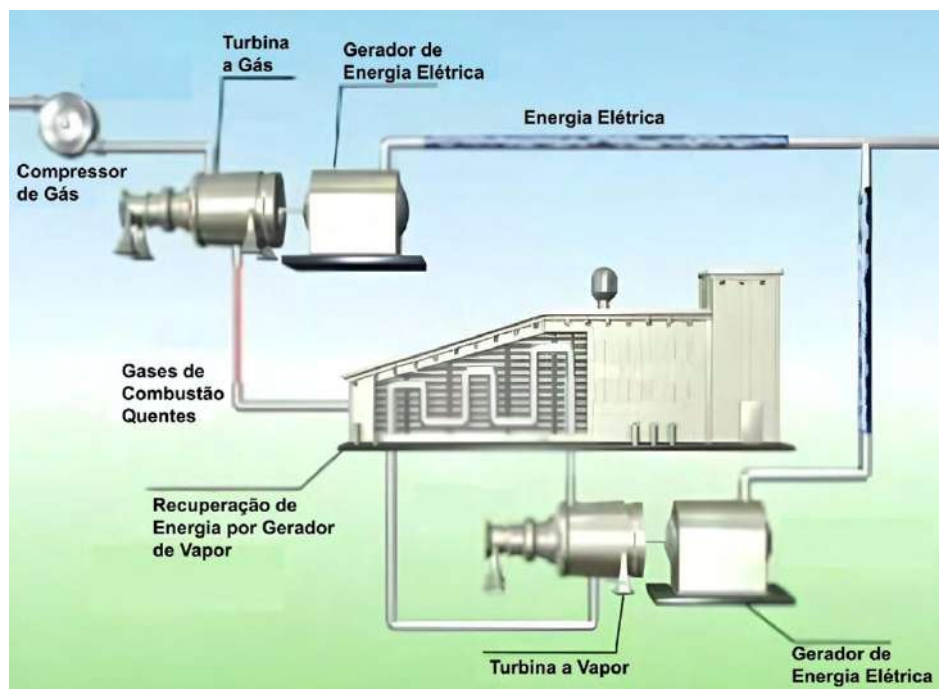
Figura 42: Tratamento do Gás de Síntese



Fonte: NRG Energy, Inc. - USA – 2023

6. Por fim, a última etapa do tratamento é a unidade de geração de eletricidade. Nessa etapa, inicia-se o processo com a compressão do gás de síntese a fim de que ele seja admitido na turbina a gás, como combustível. A turbina está acoplada a um gerador de eletricidade, através de um eixo, que transforma o trabalho da máquina em energia. Os gases exaustos que saem da turbina são encaminhados para uma turbina a vapor, onde há mais recuperação de energia, na forma de eletricidade.

Figura 43: Geração de Energia



Fonte: NRG Energy, Inc. - USA – 2023

3.1.7. Disposição final

Qualquer que seja o processo de tratamento de RSU adotado, sempre haverá rejeitos a serem dispostos de forma ambientalmente adequada. Na PNRS (Lei Federal nº 12.305/2010), os rejeitos de processo são assim definidos:

“XV - Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, capítulo 2, artigo 3º, parágrafo XV).

O aterro sanitário é a unidade de disposição final de rejeitos mais usada no mundo e o fluxo operacional atende às seguintes etapas:

- recebimento e pesagem;
- encaminhamento à área operacional;
- descarga e espalhamento;
- compactação; e
- cobertura com material inerte.

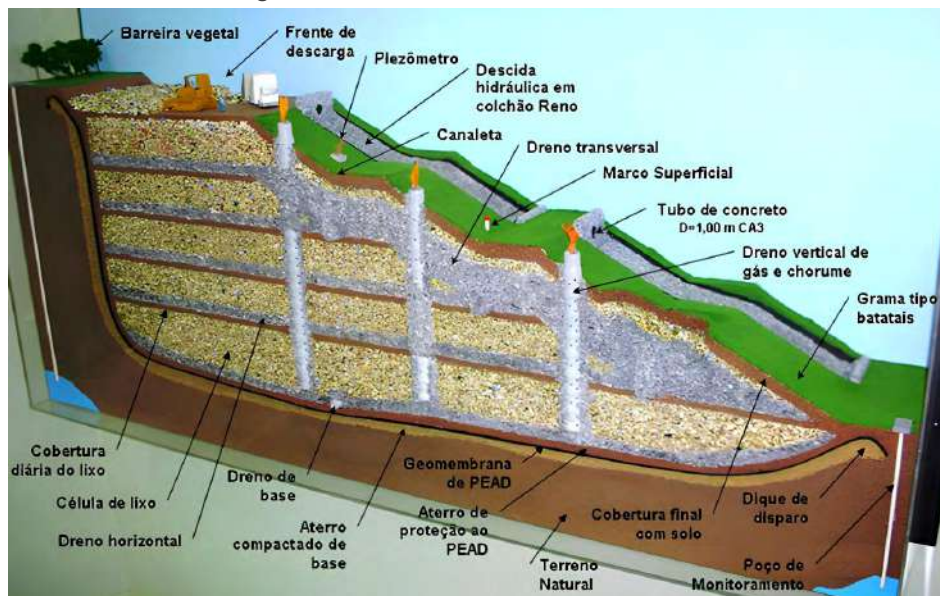
Uma vez dispostos no aterro sanitário, a fração orgânica dos rejeitos passa por um processo de biodegradação anaeróbia com geração de chorume e de uma mistura de gases, contendo alta concentração de metano, o biogás.

Para evitar que o chorume venha a poluir o solo e as águas subterrâneas o aterro sanitário possui dupla impermeabilização de fundo provida por uma camada de argila compactada, com, pelo menos, 80 cm de espessura, e uma manta de polietileno de alta densidade, com espessura mínima de 1,0 mm.

Para evitar problemas de excesso de pressão no maciço e a dispersão do biogás para a atmosfera, o aterro possui um sistema de drenagem que conduz o biogás para queimadores ou para aproveitamento na geração de energia.

A Figura 44 ilustra o esquema básico de um aterro sanitário.

Figura 44: Infraestrutura do Aterro Sanitário



Fonte: Viana (2015)

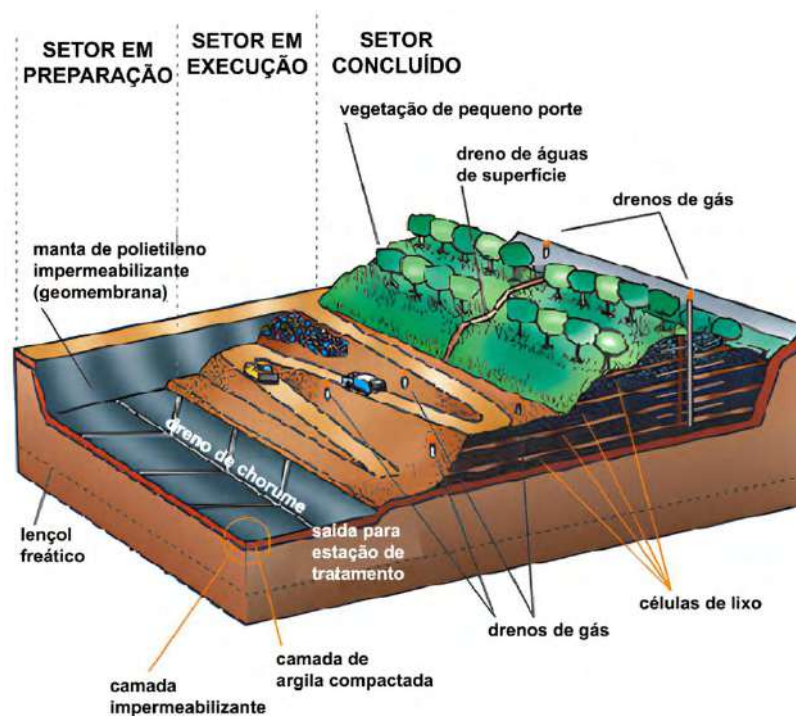
Nestas unidades os rejeitos são dispostos diretamente sobre o solo e, após espalhamento e compactação, são diariamente recobertos pelo próprio terreno e argila, e novamente compactados por 5 ou 6 passadas do trator de esteiras. Tal modo de operação evita a geração de odores e a presença de aves e outros vetores.

Uma vez enterrados, os rejeitos ficam submetidos a uma condição de anaerobiose e, as bactérias presentes promovem a digestão da matéria orgânica com a geração do chorume e do biogás. Através de tubos

perfurados distribuídos pela pilha de material enterrado é feita a drenagem do biogás, assim como do chorume que vai ter a drenos horizontais implantados na base do aterro.

A Figura 45 ilustra o esquema de operação do aterro e captação do chorume.

Figura 45: Captação do Chorume



Fonte: Frank e Sustentabilidade (2012)

O líquido drenado é armazenado em lagoas, impermeabilizadas de forma a proteger contra qualquer tipo de contaminação do solo e em volume suficiente para comportar todo o chorume gerado, incluindo os meses de maior incidência de chuvas.

A impermeabilização das lagoas é feita com mantas de polietileno e submetidas a controle de nível de chorume e a monitoramentos periódicos por meio de análises químicas. A Figura 46 apresenta uma lagoa de chorume.

Figura 46: Lagoa de Chorume



Fonte: Seger (2020)

Os gases captados são submetidos a processos de tratamento visando o seu reaproveitamento. O gás é composto principalmente por metano (55 a 70% por volume), dióxido de carbono (30 a 45% por volume) e outros gases em menores concentrações, tais quais sulfeto de hidrogênio e nitrogênio.

O biogás é um produto da fermentação anaeróbia a partir do substrato de matéria orgânica do RSU e o metano, seu principal componente, é o gás de efeito estufa (GEE) com maior potencial de aquecimento da atmosfera.

A conversão do metano em dióxido de carbono já apresenta uma redução de 21 vezes no potencial de aquecimento em relação à fração de

metano e, por este motivo, os aterros possuem queimadores nos pontos de drenagem dos gases.

Atualmente, as usinas de biogás operantes destinam seu uso para a produção de energia térmica, elétrica, mecânica e produção de biometano. Os substratos utilizados na biodigestão provêm de diversas fontes industriais e agropecuárias.

O grau de pureza e a concentração de metano são os principais fatores a serem considerados quando se avalia o potencial calorífico do biogás, que varia entre 15 e 30 MJ/Nm³.

Dentre os principais contaminantes que afetam o potencial energético do biogás, destacam-se o sulfeto de hidrogênio (H₂S) e o dióxido de carbono (CO₂).

Assim, a partir de aterros sanitários ou de grandes biodigestores industriais estabeleceu-se a oportunidade de recuperar biogás, rico em metano (CH₄), para o aproveitamento energético do combustível na forma de eletricidade.

Outro benefício do aproveitamento do biogás oriundo das pilhas do aterro sanitário é impedir que o metano vaze para atmosfera, tornando-se fonte de Gás de Efeito de Estufa (GEE).

Figura 47: Poço de Captação de Biogás



Fonte: Orizon Valorização de Resíduos

Dos combustíveis de biomassa, o biogás é de particular importância e pode substituir com sucesso os combustíveis fósseis para gerar eletricidade e calor.

Para obter o biogás de forma produtiva e rentável, o biogás bruto deve ser processado antes do uso, sendo submetido a condicionamento (purificação) e resultando nas propriedades necessárias.

Qualquer que seja a forma definitiva de usar o biogás, é impossível usá-lo no estado bruto; para viabilizar o uso do biogás por cogeração, as substâncias a eliminar são: água, halogênios, dióxido de carbono e enxofre.

Como dito em item anterior, o biogás é composto por uma mistura gasosa, onde o metano e o dióxido de carbono predominam, deixando os demais compostos possíveis com menos de 1 % de participação.

A composição típica do biogás está apresentada na Tabela 20, a seguir.

Tabela 20: Composição Típica do Biogás de Aterro Sanitário

Gás	Teor em Volume	Fórmula Química
Metano	55 - 75	CH ₄
Dióxido de Carbono	25 - 45	CO ₂
Nitrogênio	0 - 3	N ₂
Hidrogênio	0 - 2	H ₂
Oxigênio	0 - 0,1	O ₂
Gás Sulfídrico	0 - 1	H ₂ S

Fonte: DEUBLEINB, D., STEINHAUSER, A. Biogas from Waste and Renewable Resources, 2008

O aproveitamento energético do biogás pode ser feito de duas formas distintas: gerando diretamente energia elétrica através de motogeradores de energia ou, após beneficiamento, sendo utilizados em veículos automotores como GNV.

Entretanto, para ser usado como combustível, o biogás precisa ser purificado, removendo de si a umidade, os compostos de enxofre (gás sulfídrico e mercaptanas) e o dióxido de carbono (inerte, não combustível).

Assim, o biogás é sugado da pilha do aterro ou do biodigestor através de um soprador de gás, que direciona a corrente gasosa para a unidade de purificação e compressão.

Caso não haja condição de aproveitamento do biogás, ele deve ser queimado em tochas atmosféricas que o transformarão em dióxido de carbono (gás 21 vezes menos agressivo em efeito estufa do que o metano puro).

3.2. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

As proposições em relação aos resíduos da construção civil partem da sua consideração como recursos naturais não renováveis, com extração da matéria prima ocorrendo cada vez mais distante das áreas urbanas, de forma similar ao que ocorre com diversos recursos minerais. Além disso, observa-se um crescimento contínuo no custo de muitos desses materiais.

O foco principal é a maximização da recuperação de todos os componentes presentes nos resíduos da construção civil, abrangendo também os resíduos volumosos, inservíveis e verdes que comumente são manejados em conjunto.

A partir desse princípio, direciona-se a atenção para a infraestrutura física, os equipamentos a serem empregados nessas instalações e a abordagem para a gestão, incluindo regulamentações, regulação, fiscalização e licenciamento otimizado.

Vale ressaltar que, inicialmente, os resíduos da construção civil são de responsabilidade privada, até que se tornem um problema que demande intervenção pública. Nesse ponto, cabe ao poder público assumir a responsabilidade no âmbito da limpeza urbana.

As diretrizes centrais podem ser elencadas da seguinte maneira:

- Cumprir, em nível metropolitano, as Resoluções CONAMA (desde a inicial nº 307/2002, às demais coligadas: 348/2004, 431/2011, 448/2012, 469/2015);
- Estabelecer claramente as responsabilidades do gerador sobre estes resíduos de origem privada;
- Limitar as intervenções da administração pública às atividades corretivas da disposição irregular em vias e espaços públicos, às atividades preventivas facilitadoras do cumprimento das responsabilidades

privadas e ao desenvolvimento do arcabouço normativo para a gestão e gerenciamento;

- Reduzir os custos indevidos nos serviços públicos de limpeza urbana;
- Desenvolver e incentivar soluções adequadas tanto para pequenos quanto para grandes geradores e transportadores de resíduos, facilitando ao máximo a atuação responsável dos envolvidos nos fluxos dos resíduos;
- Consolidar a “cadeia de responsabilidades”, com os geradores declarando suas responsabilidades, cadastramento de transportadores, recepção apenas em áreas licenciadas e garantia do papel regulatório e fiscalizador de ente metropolitano;
- Implementar processos modernos de fiscalização das responsabilidades encadeadas no fluxo desses resíduos;
- Combater o despejo irregular de resíduos e incentivar a criação de áreas de triagem, reciclagem e aterramento de resíduos em conformidade com as Normas Técnicas Brasileiras (NBR 15.112:2004 a NBR 15.116:2004);
- Incentivar e fomentar a participação de investidores privados no manejo e reciclagem desses resíduos;
- Implementar processos de recuperação e reciclagem dos resíduos que estejam sob responsabilidade pública;
- Assumir os processos e custos relacionados à informação ambiental para promover a mudança de comportamento dos cidadãos e agentes econômicos.

3.2.1. Rede de instalações

No que diz respeito à infraestrutura física, são abrangidas tanto as instalações públicas quanto as privadas. A integração se dará não apenas no nível do planejamento, mas também, e principalmente, no nível operacional.

As instalações municipais, por sua vez, integram uma Rede Regional de Manejo de Resíduos Sólidos que deve considerar fortemente a Economia Circular. Passa-se, portanto, a ter um conjunto de endereços para os quais a população deverá encaminhar, por sua conta, alguns resíduos não definidos como de coleta domiciliar pela legislação.

A concepção adotada é de um sistema regional de áreas de manejo de resíduos sólidos, aplicando os conceitos de “adequada proximidade das soluções para resíduos” e “adequada escala das operações”, composto de um conjunto de instalações e procedimentos para valorização de resíduos em processos de Economia Circular.

No âmbito público, destaca-se a importância dos Ecopontos como pontos de recepção para pequenos volumes de resíduos gerados por cidadãos em atividades de pequeno porte.

Essa abordagem tem como objetivo evitar que esses resíduos se tornem um problema de limpeza urbana, o que é caro (custo 3 vezes maior que o da coleta em Ecopontos) e tem impactos ambientais negativos. Os Ecopontos devem fazer parte de uma rede de coleta de resíduos de responsabilidade dos pequenos geradores, evitando que se tornem um problema público.

Além disso, propõe-se o fomento à criação de Centrais Municipais de Recuperação de Resíduos, que lidarão com diversos tipos de resíduos, incluindo Resíduos da Construção Civil (RCC), volumosos, inservíveis e resíduos verdes.

Essas centrais servirão como pontos de destino para os resíduos coletados nos Ecopontos, onde os materiais poderão ser alocados em processos

de economia circular, evitando o descarte final. Para isso, é fundamental identificar empresas locais que possam receber esses materiais reciclados, como agregados reciclados, madeira triturada, embalagens recuperadas e gesso recuperado, entre outros.

No âmbito privado, incentiva-se a criação de Áreas de Transbordo e Triagem (ATT) e Áreas de Reciclagem para resíduos da construção civil e volumosos. Essas instalações devem ser licenciadas para garantir operações adequadas.

Também é importante considerar a possibilidade de incentivar a criação de aterros de resíduos da construção civil licenciados (também conhecidos como aterros de inertes), projetados de acordo com normas urbanas e ambientais, para atender às demandas deste setor econômico.

- **Rede Física para Captação de Pequenos Volumes**

A rede física de captação de pequenos volumes desempenha um papel fundamental na gestão de resíduos, visando atender à população envolvida em pequenas construções ou reformas.

Este sistema é especialmente projetado para lidar com volumes de resíduos que não justificam a contratação de transporte especializado pelos geradores.

- **Pontos de Entrega Voluntária (Ecopontos)**

Os municípios devem estabelecer Ecopontos como pontos de entrega voluntária para atrair resíduos de pequenos volumes, que devem oferecer caçambas para materiais inertes e áreas designadas para materiais volumosos, inservíveis e verdes.

Instalações preparadas devem ser disponibilizadas para os funcionários responsáveis, garantindo adequadas condições de trabalho.

- **Abrangência Urbana e Alcance Comunitário**

Essa rede de captação deve cobrir a área urbana, com foco especial em bairros em desenvolvimento e regiões periféricas.

Além de coletar resíduos de construção e os resíduos a eles coligados, essa rede também pode apoiar a coleta seletiva e programas de educação ambiental.

- **Localização Estratégica**

A localização de cada ponto de entrega voluntária deve ser estrategicamente escolhida, considerando fatores como bacias de captação, obstáculos geográficos e disponibilidade de terrenos e considerando que a distância máxima de transporte de resíduos até esses pontos não deve exceder 2 km.

- **Circuito de Coleta, Transporte e Destinação Final**

Uma vez implantada a rede, é essencial estabelecer um eficiente circuito de coleta e transporte para os resíduos atraídos;

A destinação dos materiais pode ser realizada pelo poder público ou por terceiros, de acordo com as diretrizes estabelecidas.

- **Rede Física para os Grandes Volumes**

A gestão de resíduos em grande escala representa uma parcela significativa dos problemas nas áreas urbanas.

Esta seção aborda a rede de coleta destinada a gerenciar os resíduos em grandes volumes, predominantemente sob a responsabilidade de agentes privados em todas as etapas, desde a geração até a destinação final.

A inadequação da destinação final desses resíduos muitas vezes resulta em depósitos ilegais, tornando imperativa a implementação de uma política sustentável para o manejo dos resíduos da construção civil.

O objetivo é estabelecer uma rede de instalações para triagem e reaproveitamento dos resíduos captados nos Ecopontos, ou recolhidos por meio de operações de limpeza corretiva qualificada (operações de limpeza urbana com remoção diferenciada dos resíduos dispostos em vias públicas) e também instalações privadas operando diretamente com os resíduos de geração privada.

- **Diretrizes para Planejamento da Rede**

A localização das instalações deve considerar distâncias, regulamentos de uso do solo e normas ambientais.

- **Recebimento de Resíduos**

Entregues voluntariamente, por munícipes, resíduos da construção civil (classes A, B, C e D);

Com pagamento de preço público, por agentes privados, os resíduos da construção civil (classes A, B, C e D);

Por executores diretos de obras públicas, os resíduos gerados nestas obras, principalmente os oriundos da construção civil, entregues segregados.

- **Operações nas Instalações**

Triagem de resíduos da construção civil e seu peneiramento, desmonte de resíduos volumosos e picotamento das madeiras da construção civil, de podas e madeiras dos volumosos.

Além disso, deve-se efetuar a segregação de troncos e galhos grossos, galharia fina e capina e roçada para tratamento adequado.

A rede de coleta para grandes volumes também pode ser implantada por agentes privados em livre concorrência, autorizados e fiscalizados pelo governo, com custos suportados pelos geradores. Iniciativas chave incluem o cadastro de transportadores, áreas de transbordo e triagem

(ATT's) para qualificação de materiais, áreas de reciclagem para beneficiamento e áreas de aterro para resíduos não recicláveis.

É fundamental estabelecer uma regulamentação clara para definir responsabilidades dos envolvidos nos fluxos e gestão do RCC e resíduos que comumente são destinados em conjunto.

3.2.2. Equipamentos para processamento

A gestão eficaz dos resíduos envolve a integração de vários elementos, incluindo o uso de equipamentos especializados, instalações de apoio, recursos humanos e controles operacionais.

Além disso, é crucial gerir os recursos financeiros decorrentes da gestão de resíduos de forma estratégica, visando equilibrar operações superavitárias e deficitárias, reduzindo a dependência de investimentos externos.

• Diretrizes para Municípios de Maior Porte

- Aquisição de equipamentos mecânicos para transformação de materiais após a coleta diferenciada;
- Uso desses equipamentos para a recepção e processamento diferenciado de resíduos, transformando-os em produtos úteis para obras públicas ou processos de economia circular;
- Adição de equipamentos diversos ao sistema de limpeza urbana das cidades maiores.

• Diretrizes para Municípios de Menor Porte

- Explorar o compartilhamento de equipamentos móveis para processamento e recuperação de resíduos;
- Instituição de contratos de prestação de serviços em âmbito metropolitano, permitindo a alocação compartilhada de equipamentos necessários para atender em rodízio as pequenas escalas de geração de resíduos;

- Através desses contratos, garantir que os municípios menores possam receber soluções adequadas, equiparando-se em qualidade aos maiores municípios.

• Tipos de Equipamentos

Basicamente, existem dois tipos de equipamentos para processamento de RCC: os Equipamentos Fixos e os Equipamentos Móveis para Uso Compartilhado em Rodízio.

As instalações e equipamentos fixos são grupados nos seguintes tipos:

- Usinas fixas para reciclagem de resíduos da construção civil (RCC);
- Picador florestal fixo para resíduos verdes e madeiras residuais; e
- Galpões de desmontagem de resíduos volumosos e inservíveis.

Já os equipamentos mais comuns para uso compartilhado são:

- Peneiras móveis para classificação de RCC;
- Britador móvel sobre carreta para trituração de RCC; e
- Picador florestal móvel.

Estes equipamentos desempenham um papel essencial na transformação e reaproveitamento de resíduos, abrangendo desde madeiras e resíduos verdes até o RCC e resíduos volumosos e inservíveis.

Dessa forma, contribuem para a promoção da economia circular e a redução do impacto ambiental.

3.2.3. Gestão e gerenciamento de resíduos

Na gestão e gerenciamento de resíduos de construção civil, também conhecidos por “Resíduos de Construção e Demolição (RCD)”, é fundamental estabelecer com clareza as responsabilidades públicas e privadas, evitando a transferência indevida de obrigações entre esses setores.

Isso requer a implementação de uma série de medidas estratégicas e regulamentações no âmbito metropolitano.

Primeiramente, é fundamental aprovar um instrumento normativo vinculante que seja aplicável a todos os municípios da região metropolitana.

Esse instrumento deve definir claramente as responsabilidades tanto do setor público, quanto do setor privado, abrangendo os geradores de resíduos, os transportadores e os destinatários dos materiais.

A regulamentação das atividades dos geradores, transportadores e receptores desses resíduos desempenha um papel fundamental dentro desse instrumento normativo.

Isso inclui tornar obrigatórios os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção para eventos construtivos, o cadastramento dos agentes transportadores e os processos de licenciamento ambiental para áreas destinadas ao processamento ou disposição dos resíduos de construção, contribuindo assim para a definição precisa das responsabilidades em cada setor.

Além disso, a regulamentação desempenha um papel importante na prevenção da existência e operação de agentes não cadastrados e áreas não licenciadas. É essencial estabelecer procedimentos rigorosos que sejam aplicados uniformemente em todos os municípios da região metropolitana para lidar com casos de não conformidade.

Outra medida relevante, dentro do escopo da regulamentação, é incentivar a reciclagem dos RCC. Isso pode ser alcançado tornando obrigatório

o uso de agregados reciclados em serviços de infraestrutura urbana, seguindo as normas estabelecidas pela ABNT.

Para isso, é necessário também estabelecer preços públicos unitários para os agregados reciclados gerados a partir dos RCC, dentro de sistemas de preços públicos que abranjam toda a região metropolitana.

Adicionalmente, é de extrema importância a implementação de um abrangente Plano de Comunicação Social e Informação Ambiental.

Esse plano orientaria os municípios e os agentes envolvidos nas operações que geram RCC sobre o correto armazenamento, locais adequados para destinação e outras informações relevantes.

A conscientização pública desempenha um papel crucial na promoção de práticas responsáveis em relação aos resíduos sólidos, e um plano de comunicação eficaz pode contribuir significativamente para essa conscientização e para a redução da disposição inadequada.

Por fim, para assegurar transparência e responsabilidade, é imprescindível estabelecer um sistema eletrônico de monitoramento do manejo de resíduos, conhecido como “caçambas online”.

Esse sistema deve ser obrigatório em toda a região metropolitana, garantindo que as ações dos geradores, transportadores, processadores e destinatários dos resíduos sejam transparentes e passíveis de rastreamento.

Essas medidas, quando implementadas em conjunto, têm como objetivo criar um ambiente regulatório amplo e eficaz que promova a gestão responsável e sustentável dos resíduos sólidos na região metropolitana. Ao mesmo tempo, envolvem ativamente a comunidade na adoção de práticas ambientalmente conscientes.

3.3. RESÍDUOS DE SERVIÇOS DA SAÚDE (RSS)

Os resíduos de serviço de saúde (RSS) são componentes que requerem atenção na gestão de RSU. São resíduos descartados por estabelecimentos de assistência à saúde, tais como clínicas, hospitais e drogarias, entre outros.

A dificuldade de manejo está no potencial risco à saúde pública e ao meio ambiente devido à possível presença de material biológico, químico e radioativos.

Dada a atividade geradora, os RSS possuem natureza variada, desde lâminas contaminadas até material tóxico.

Por esses fatores, é de suma importância que os RSS recebam a gestão adequada, de forma a prevenir a disseminação de doenças e proteger a população e o meio ambiente, garantindo o atendimento às regulamentações sanitárias e ambientais vigentes.

Conforme descrito no Diagnóstico Geral os RSS são divididos em cinco grupos (A, B, C, D, E), de acordo com a Resolução ANVISA nº 222/2018 e transcrição a seguir:

- **GRUPO A:** Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção. Divide-se em cinco subgrupos (A1, A2, A3, A4 e A5).
- **GRUPO B:** Resíduos contendo produtos químicos que apresentam periculosidade à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade, mutagenicidade e quantidade.
- **GRUPO C:** Qualquer material que contenha radionuclídeo em quantidade superior aos níveis de dispensa especificados em norma da CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista.

- **GRUPO D:** Resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.
- **GRUPO E:** Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares; ponteiras de micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares.

3.3.1. Segregação na fonte e acondicionamento

No âmbito da gestão de resíduos de serviços de saúde, surge como um princípio de extrema relevância a segregação desses resíduos na fonte de geração.

Isto implica na categorização dos materiais imediatamente após sua produção, o que resulta na redução do volume de materiais potencialmente danosos à saúde e na prevenção de incidentes ocupacionais.

O alvo primordial é que essa prática seja constante e gradualmente incorporada para todas as categorias de resíduos, com o propósito de garantir a segurança, promover a reutilização e otimizar os custos nos processos de tratamento e reciclagem. Para alcançar tal objetivo, é imperativo que as pessoas envolvidas no procedimento recebam formação adequada.

A conscientização sobre o gerenciamento responsável de resíduos de saúde desempenha um papel crucial nesse contexto. Isso envolve educar os profissionais de saúde e funcionários envolvidos na geração e manipulação de RSS sobre os riscos associados e as práticas adequadas de segregação, esterilização e descarte.

A cultura de responsabilidade social e ambiental, além da segurança ocupacional deve ser promovida em todos os níveis da instituição de saúde.

A Resolução ANVISA nº 222 de 2018 da Diretoria Colegiada (RDC) estabelece diretrizes específicas para o armazenamento dos RSS.

Ela indica os tipos e as formas de utilização de recipientes, oferece orientações quanto à disposição adequada, apresenta códigos de cores apropriados e define os volumes ideais e capacidades para cada recipiente. Essa resolução estabelece, também, as normas de armazenamento, estipula a duração recomendada para esse armazenamento e delineia protocolos seguros para a identificação e manipulação de cada categoria de RSS.

3.3.2. Tratamento

O tipo de tratamento e a forma de destinação final dos RSS dependem exclusivamente das características do grupo onde o resíduo se enquadra.

Assim, resíduos do Grupo A, devem ser submetidos a processos de desinfecção para a eliminação da contaminação existente e, após isso, podem ser destinados a aterros sanitários.

Os resíduos do Grupo B são destinados como resíduos perigosos, Classe I, de acordo com as suas características, em aterros industriais projetados e operados de acordo com a NBR 10.157/1987.

Os resíduos do Grupo C são tratados de acordo com a regulamentação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), em especial as Resoluções CNEN 014 – NE 6.06, de 24 de janeiro de 1990 e CNEN 168 – NN 8.02, de 14/05/2014.

Os resíduos do Grupo E, conhecidos como perfurocortantes, caso apresentem características dos Grupos A ou B ou C devem sofrer tratamento idêntico ao do Grupo a que se encontra enquadrado.

Os resíduos pertencentes ao Grupo D, que apresentam semelhanças com os resíduos domiciliares, podem ser submetidos a diversos processos

comuns aos resíduos sólidos urbanos, tais como reciclagem ou reutilização, antes de sua destinação final em um aterro sanitário.

Os processos habituais de desinfecção dos RSS do Grupo A e E são por tratamento térmico, por meio das tecnologias já descritas no item 3.1.6; por processos de micro-ondas; e por pressurização em vasos de pressão conhecidos como autoclaves. A descrição dos dois últimos processos está apresentada a seguir.

a) Micro-ondas

O processo se inicia com a trituração dos resíduos. Em seguida, faz-se a injeção de vapor d'água a 150°C antes de se submeter a massa de resíduos triturada à exposição dos raios de alta frequência, com o objetivo de se garantir que todos os pontos da massa de resíduos recebam de maneira uniforme os raios do micro-ondas.

A grande desvantagem do micro-ondas é apresentar problemas para cargas com muita quantidade de metal. Outra desvantagem do processo é que este equipamento ainda não é fabricado no Brasil.

A Figura 48, na página a seguir apresenta o esquema de funcionamento do micro-ondas fabricado pela ABB - Sanitec.

b) Autoclave

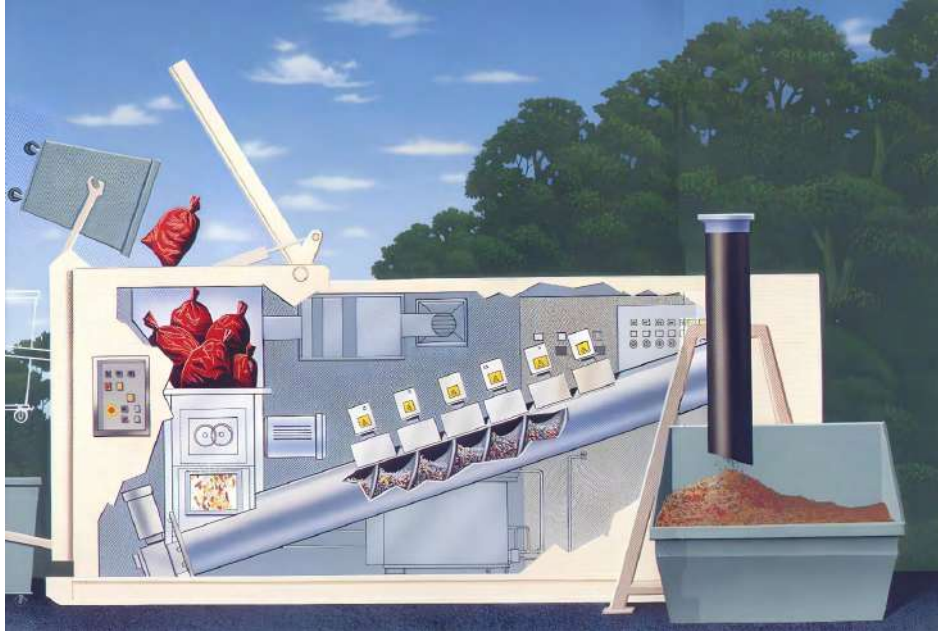
Originalmente utilizado na esterilização de material cirúrgico, este processo foi adaptado e desenvolvido para a esterilização de resíduos.

Em linhas gerais, consiste em um sistema de alimentação que conduz os resíduos até uma câmara estanque onde é feito vácuo e injetado vapor d'água (entre 120 e 150°C) sob determinadas condições de pressão (entre 1,5 e 3,0 bar).

Os resíduos permanecem nesta câmara durante um tempo pré-definido até se tornarem estéreis, havendo o descarte da água por um lado e dos resíduos pelo outro.

Como a autoclavagem não descaracteriza o resíduo, há a necessidade de se efetuar a trituração dos resíduos para que não sejam identificados como lixo hospitalar após o tratamento.

Figura 48: Desinfecção de RSS por Micro-ondas



Fonte: ABB Sanitec, 2012

A respeito da trituração dos resíduos há duas correntes técnicas: uma defendendo a trituração antes do tratamento para aumentar a área de contato dos resíduos com o vapor e melhorar as condições de desinfecção; e outra que defende a trituração dos resíduos já inertizados para evitar a contaminação do triturador, permitindo que o operador faça a manutenção deste equipamento sem riscos de se contaminar.

Este processo apresenta as seguintes vantagens:

- custo operacional relativamente baixo;
- não emite efluentes gasosos;

- o efluente líquido pode ser lançado na rede de águas pluviais;
- manutenção relativamente fácil e barata.

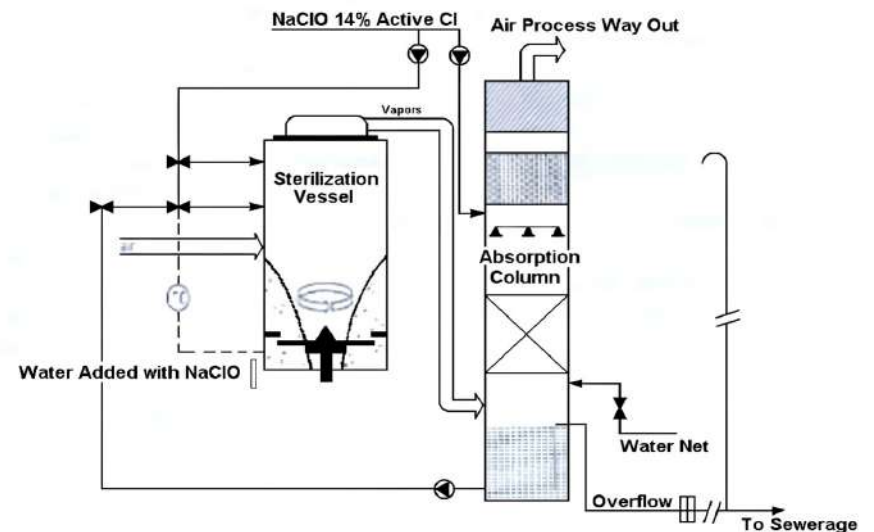
Em contrapartida, apresenta as seguintes desvantagens:

- não descaracteriza os resíduos, salvo se houver uma adequada trituração dos mesmos;
- não há redução de volume dos resíduos, a não ser que haja trituração dos resíduos;
- processo em batelada, não permitindo um serviço continuado de tratamento dos RSS.

Dos fabricantes nacionais de autoclave, a BAUMER é a empresa que aparece com um maior número de equipamentos implantados.

A Figura 49, a seguir apresenta o esquema de funcionamento da autoclave italiana fabricada pela Newster.

Figura 49: Desinfecção de RSS por Autoclave



Fonte: Newster, 2012

3.4. LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

Estes resíduos são gerados nos tratamentos de efluentes e podem apresentar características físicas, químicas e biológicas variadas. São passíveis de reaproveitamento e qualquer utilização deve seguir a regulamentação federal ou local.

No âmbito federal cabe destacar a Resolução nº 498 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 19 de agosto de 2020, a qual define os critérios para aplicação de biossólido em solos e a Instrução Normativa IN nº 25 do Ministério da Agricultura de 23.07.2009, a qual regulamenta a aplicação deste material para uso na agricultura.

Os principais processos de destinação e tratamento de lodo estão associados às características do resíduo. Usualmente, antes do reaproveitamento ou destinação, o lodo é submetido a processos de adensamento e desidratação (ou desaguamento), diminuindo assim o seu volume.

São utilizados adensadores gravimétricos, centrífugas, filtros-prensa e leitos de secagem. Estes processos estão normalmente associados aos processos de tratamento de efluentes e são feitos nas próprias estações de tratamento.

Lodos de característica predominantemente orgânica deverão passar por processos de digestão aeróbia ou anaeróbia, a fim de garantir uma característica mais mineralizada.

- Digestão Aeróbia

Este processo consiste na degradação biológica do lodo por microrganismos, em presença de oxigênio (ambiente aeróbio). A degradação ocorre em tanques a pressão atmosférica e gera como subprodutos gasosos principalmente o dióxido de carbono (CO₂).

- Digestão Anaeróbia

Conforme já mencionado, a digestão anaeróbia é feita em ambiente sem oxigênio e microrganismos afins com esta condição promovem a degradação biológica da matéria orgânica.

Os subprodutos gasosos não contêm dióxido de carbono, uma vez que o oxigênio não está presente. Pode ser gerado metano, gases de enxofre como o sulfeto de hidrogênio e outros em menores concentrações. Devido à geração de metano é possível o reaproveitamento como combustível, a depender da escala de tratamento.

Com exceção de uma tentativa infrutífera da COMLURB em processar o lodo da ETE Alegria, da CEDAE, nas instalações do Caju, não se tem conhecimento de nenhuma instalação de tratamento de ETE's na Região Metropolitana.

Entretanto, no Município de Araruama, próximo aos municípios de Maricá, Itaboraí, Tanguá e Rio Bonito, existe a ETE Ponte dos Leites que efetua o tratamento do lodo gerado na própria estação, além de receber o lodo da ETE do Município de Saquarema.

Nestas instalações, parte do lodo é encaminhada para a fábrica de tijolos ecológicos artesanais, com capacidade de produzir diariamente até mil tijolos, e outra parte sofre tratamento anaeróbio produzindo o biossólido-fertilizante, rico em matéria orgânica e nutrientes, que é aplicado em projetos de reflorestamento.

4. ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS

O processo de desmembramento de municípios, motivado particularmente por questões políticas e administrativas, normalmente sem considerar questões ambientais, econômicas, sociais e de gestão, contribuiu para a fragmentação e espraiamento da malha urbana.

À margem desse processo, alguns municípios metropolitanos estão defasados no que diz respeito à aplicação de leis para proteção de áreas de conservação e, sobretudo, na compreensão do significado de uma convivência equilibrada entre homem e natureza.

Como forma de reverter esse quadro, faz-se necessário um entendimento sobre a gestão do Patrimônio Natural, cuja estrutura se divide em definições e diretrizes no cenário internacional, instâncias de gestão no cenário nacional a nível federal, estadual e municipal, além das legislações de interesse e instrumentos de proteção em âmbitos federais, estaduais e municipais (Modelar a Metrópole – PEDUI, 2018).

Devido ao alto nível de degradação dos recursos naturais do planeta, às causas para tal degradação e à evolução do conhecimento sobre desenvolvimento sustentável, fez-se necessário a criação de compromissos globais para refrear essa degradação.

Diversos países ao redor do mundo, assumiram compromissos e desenvolveram documentos que buscam o equilíbrio ecológico, definem avaliações periódicas e promovem conferências internacionais, entre outras coisas. São exemplos desses trabalhos:

- Declaração de Estocolmo e Relatório de Brundtland – documentos que deram início ao conceito de Desenvolvimento Sustentável;

- Carta do Rio e Agenda 21 – documentos resultantes da Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD) promovida pela ONU em 1992 no Rio de Janeiro;
- Climate Leadership Group - C40 - Um grupo de 18 representantes das maiores cidades do mundo foi criado com o objetivo de combater o aquecimento global e as mudanças climáticas a nível mundial. Estava formado o C40. Através de sessões interativas, os representantes expuseram ideias de melhores práticas e identificaram projetos colaborativos. Essas equipes compartilham seus esforços para enfrentar o tema e criam a oportunidade para discutirem problemas essenciais, tais como transporte, energia, arrecadação de fundos, uso de terras e descarte de resíduos;
- Declaração Rio+20 e Agenda 2030 – trata-se de uma avaliação do progresso ambiental mundial em relação às recomendações propostas na Rio-92, dando origem aos objetivos da Agenda 2030;
- COP 21 e Acordo de Paris – A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima realizou sua vigésima primeira Conferência das Partes (COP 21) e, a partir dela, definiu o Acordo de Paris com foco no refreamento do aquecimento global;
- Relatório Mundial das Nações Unidas para o Desenvolvimento de Recursos Hídricos – analisa dados e tendências que afetam os recursos mundiais de água doce;
- Carta Mundial dos Solos – em sua revisão contemplou novos desafios da contemporaneidade como a poluição, mudanças climáticas e a expansão das áreas urbanas.

Atualmente, as grandes cidades apresentam uma geração de 70% das emissões globais de gases de efeito estufa e estão na linha de batalha contra as mudanças climáticas ao redor do mundo. O Brasil faz parte, hoje, de um grupo que testará 22 projetos - pilotos de um novo conceito de bairros urbanos, verdes, caminháveis e prósperos, idealizados pelo C40 e visto como a solução para reduzir significativamente as emissões.

A substituição da emissão do metano dos aterros sanitários pela emissão de gás carbônico através da queima, é uma iniciativa Waste to Energy (WtE) que, além de gerar energia, vai ao encontro dos objetivos globais de redução de GEE.

4.1. ÂMBITO FEDERAL

Complementando a preocupação da Constituição Federal (CF) em regular a relação entre a sociedade e o meio ambiente, tem-se no Art. 225 (capítulo VI da CF) a garantia para todos, do direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, o qual deve ser preservado para esta e as futuras gerações.

Cabe destacar aqui a previsão do inciso VI do § 1º do referido artigo, por meio do qual o poder público é incumbido da responsabilidade de promover a educação ambiental e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente.

A quantidade de itens da CF referente ao tema sobre a responsabilidade delegada aos Estados permite inferir que as decisões da Administração, a criação de políticas públicas e a forma de atuação dos órgãos públicos estão intimamente ligados ao mesmo objetivo: a proteção ao meio ambiente.

A documentação institucional aplicável na preservação e conservação referidas ao patrimônio ambiental envolve legislações, diretrizes, normas, resoluções e padrões de preservação referentes à conservação e à proteção dos recursos naturais, hídricos, flora e fauna, bens patrimoniais,

combate à poluição do ar, da água, do solo, ruídos, recursos hídricos, bem como as áreas de proteção ambiental de competências municipal, estadual e federal.

Em termos normativos, em 2022 o setor de saneamento básico e o setor de gestão de resíduos sólidos tiveram representatividade normativa e apresentaram-se destacados na edição do Decreto Federal nº 10.936/2022, que trouxe nova regulamentação à Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS (Lei Federal nº 12.305/2010) e à Lei Federal nº 14.026/2020, que atualizou o marco legal do saneamento básico.

O Decreto nº 11.043/2022 instituiu o Planares – Plano Nacional de Resíduos Sólidos, principal instrumento previsto na Lei, que estabelece as estratégias, diretrizes e metas para o setor num horizonte de 20 anos.

A importância dessas estratégias fica clara ao analisar as condições de geração de resíduos no Brasil.

De acordo com o relatório Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil da ABRELPE de 2022, cerca de 81,8 milhões de toneladas de RSU foram gerados, o que correspondeu a 224 mil toneladas diárias.

Com isso, cada brasileiro produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia. A região Sudeste continua sendo a maior geradora com cerca de 111 mil toneladas diárias (respondendo por quase 50% da geração do país) sendo a contribuição de cada habitante, em média de 450 kg/ano ou uma média diária de 1,234 kg/hab.

Apesar do aumento da coleta seletiva no país, representa 75,1% do total de municípios, sendo as regiões Sul e Sudeste as que apresentam os maiores percentuais, a maior parte dos RSU coletados (61%) continua sendo encaminhada para aterros sanitários.

Em resumo, apenas 46,4 milhões de toneladas foram enviadas para destinação ambientalmente adequada em 2022, tendo sido 29,7 milhões de toneladas (39%) com destinação inadequada em lixões e aterros controlados que ainda seguem em operação em todas as regiões do país.

Analisando essa realidade, é possível perceber como a regulação ambiental é fundamental para minimizar impactos negativos no meio ambiente.

Nesse sentido, também é válido elencar a contribuição das diversas resoluções emitidas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, a fim de regulamentar temas que possuem implicação direta no contexto da gestão de resíduos sólidos em todo o país.

Entre elas pode-se citar:

- Resolução CONAMA nº 006/1991 - Dispõe sobre a combustão de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos;
- Resolução CONAMA nº 005/1993 - Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários;
- Resolução CONAMA nº 307/2002 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil;
- Resolução CONAMA nº 316/2002 - Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;
- Resolução CONAMA nº 401/2008 - Determina que os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e o poder público de forma compartilhada implementem programas de coleta seletiva para as pilhas e baterias;
- Resolução CONAMA nº 404/2008 - Estabelece que os procedimentos de licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte sejam realizados de forma simplificada;
- Resolução CONAMA nº 481/2017 - Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos;

- Resolução CONAMA nº 499/2020 - Aplica-se ao licenciamento do coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.

A Política Nacional de Saneamento Básico – PNSB, regulamentada pelo Decreto nº 7.217/2010 e posteriormente atualizada pela Lei nº 14.026/2020, trouxe à luz da gestão as diretrizes para adoção de estratégias e de políticas públicas para o saneamento, obedecendo os princípios elencados no artigo 2º da referida Lei.

A PNSB nos mostra que cabe ao poder estatal a elaboração de políticas públicas com vistas a universalização do acesso aos serviços públicos de saneamento básico, adotando indicadores e parâmetros ambientais, sanitários, epidemiológicos e socioeconômicos para o planejamento, execução e avaliação dos serviços oferecidos à população, com vistas à sustentabilidade econômica.

Levando-se em conta que o termo “saneamento” abrange as vertentes de abastecimento de água; esgotamento sanitário; manejo de águas pluviais urbanas e manejo de resíduos sólidos, esta Política também elencou princípios de suma importância para garantir regulamentações necessárias para a área do saneamento no Brasil.

Dentre eles, destacam-se ainda:

- Integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;
- Abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;

- Disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- Adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- Articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- Utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
- Transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- Controle social;
- Segurança, qualidade e regularidade;
- Integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos;
- Adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água. (incluído pela Lei nº 12.862/2013).

Um aspecto importante trazido à luz da discussão ambiental foi a competência municipal para prestar o serviço público de saneamento, em caso de interesse local, nos termos do Art. 8º, da PNSB, e da formação de consórcios intermunicipais para a gestão regional, nos termos da Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, prevista no Art. 8º, da PNSB.

A obrigatoriedade dos Planos Municipais de Saneamento, com fulcro no Art. 9º, da PNSB, passou a demonstrar o comprometimento da sociedade

local na elaboração e fiscalização das políticas de saneamento, ganhando assim o reconhecimento e o incentivo do poder federativo como apoio às suas necessidades.

Outro aspecto da PNSB que foi preponderante em termos de política social foi a facilitação na realização de serviços de manejo de resíduos recicláveis (Art. 7º, inciso II, da PNSB).

Através da dispensa de licitação para contratação de cooperativas pelo poder federal, reconhecendo as organizações e associações, ela valorizou os catadores, garantindo-lhes o acesso ao mercado formal de trabalho.

Com um foco voltado para a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, tem-se na Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS um novo Marco Legal, por trazer uma ampla gama de conceitos e instrumentos, que visam a grandes mudanças e melhorias na gestão de resíduos do país (Programa Cidades Sustentáveis, 2013).

Esta Política estabelece como deve ser feita a gestão integrada dos resíduos sólidos, atribuindo, inclusive, responsabilidades para o Poder Público, o setor empresarial e a sociedade.

De acordo com a PNRS, a gestão integrada de resíduos sólidos é definida como o “conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (Art.; 3º, XI).

Seguindo esse conceito, dentro do gerenciamento, a “hierarquização” da gestão de resíduos deve ser considerada, ou seja, uma ordem de prioridade deve ser seguida para cada tipologia, nos termos do Art. 9º, da PNRS, a saber:

- Não geração: Tem início na atuação de forma a evitar a aquisição pelo consumidor, de produtos desnecessários e embalagens excessivas.

- **Redução:** Nesse sentido, uma ação positiva é a redução do uso de descartáveis, o reaproveitamento de cascas de frutas e legumes para produção de doces ou o uso da fração orgânica dos resíduos para adubar jardins.
- **Reutilização:** Ocorre quando um produto é utilizado para o mesmo ou para outros fins, sem alterar sua forma ou composição.
- **Reciclagem:** Neste caso, materiais sem utilização seguem para a coleta seletiva e são encaminhados para linhas de produção diversas, onde são incorporados a novas matérias-primas, fazendo parte de novos ciclos produtivos.
- **Tratamento dos resíduos sólidos:** Todos os resíduos que não puderam atender aos itens anteriores devem ser encaminhados para processos nos quais suas características de periculosidade ou toxicidade sejam minimizadas ou extintas.
- **Disposição final ambientalmente adequada:** É definida como a distribuição ordenada de rejeitos em aterros (resíduo que não tiver mais possibilidade de reutilização, reciclagem ou tratamento), de modo a minimizar os impactos ambientais adversos e a evitar danos e riscos à saúde pública e à segurança.

Os modelos tecnológicos adotados para o tratamento dos resíduos devem considerar ainda a viabilidade técnica, social, econômica e ambiental das soluções, bem como a não precarização das condições de trabalho, a integração de ações com a área de saúde, de educação, de meio ambiente, de desenvolvimento econômico entre outros aspectos (MMA, 2011).

Outro conceito trazido por esta Política também é o da responsabilidade compartilhada, previsto no Art. 30, para todos aqueles que participaram do “ciclo de vida do produto”.

Ela representa um enorme avanço legislativo e é vista como “conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores,

distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos”.

Dessa forma, além da responsabilização ser compartilhada e encadeada, a PNRS direcionou para cada setor (pilhas, baterias e eletroeletrônicos, dentre outros), a possibilidade de customizarem os seus sistemas de logística de acordo com as suas necessidades e realidades.

O fortalecimento do senso de responsabilidade sobre os resíduos gerados, trazidos por este princípio, é fundamental para que o sistema de gestão de resíduos funcione, uma vez que a geração de resíduos sólidos faz parte de qualquer processo produtivo.

Dessa forma, é essencial que a educação ambiental esteja presente e seja acessível para todas as partes envolvidas com a gestão de resíduos.

Nos termos do Art. 33, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes tem como responsabilidades:

- Investimento no desenvolvimento, na fabricação e na colocação no mercado de produtos: que sejam aptos à reutilização, à reciclagem ou a outra forma de destinação ambientalmente adequada; e cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível;
- Divulgação de informações relativas às formas de evitar, reciclar e eliminar os resíduos sólidos associados a seus respectivos produtos;
- Estruturação e implementação de sistemas de logística reversa “de forma independente do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos”, que proporcionem não apenas o recolhimento dos produtos e dos resíduos remanescentes após o uso, mas também sua subsequente destinação final ambientalmente adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa na forma do Art. 33 da PNRS;

- Compromisso de, quando firmados acordos ou termos de compromisso com o Município, participar das ações previstas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, no caso de produtos ainda não incluídos no sistema de logística reversa. Importante ressaltar que o parágrafo 7º do artigo 33 prevê a possibilidade de acordo setorial ou termo de compromisso a ser firmado entre o setor empresarial e o titular do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos para que este se encarregue de atividades e responsabilidades atribuídas aos “fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes nos sistemas de logística reversa”, mediante devida remuneração previamente acordada entre as partes.

Ainda no âmbito da responsabilidade compartilhada, o artigo 36 da PNRS é claro ao determinar a responsabilidade do titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, para estabelecer sistema de coleta seletiva a ser realizado prioritariamente através da contratação de organizações de catadores de materiais recicláveis.

O planejamento da gestão por fluxos de resíduos também é um ponto importante para a gestão integrada de resíduos sólidos uma vez que cada tipologia de resíduo deve receber um tratamento e destinação específicos. Os resíduos de construção civil - RCC (ou de demolição e construção - RDC) não podem fazer parte do mesmo sistema dos resíduos domiciliares, por possuírem diferentes características, assim como os resíduos dos serviços de saúde - RSS.

É importante ressaltar que a eficiência da PNRS está contemplada na garantia da aplicação dos instrumentos por ela criada previstos no Art. 8º, sejam eles a saber:

- Os Planos de Resíduos Sólidos, com elaboração obrigatória para acesso aos recursos da União, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos:

- A coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- O incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas e outras formas de associação de catadores de materiais recicláveis;
- O monitoramento e a fiscalização ambiental;
- A educação ambiental;
- Os incentivos fiscais, financeiros e creditícios.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, baseado na PNRS Art. 8º, para que se possa alcançar os objetivos propostos na mesma, os planos de gestão de resíduos sólidos devem ser considerados os instrumentos mais importantes. Estes podem ser elaborados a nível nacional, estadual, microrregional, de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas, intermunicipal, municipal, bem como a nível dos geradores.

Destacam-se aqui os planos de obrigatoriedade para Estados e Municípios. É certo dizer que em todas as esferas da administração, tais documentos devem trazer, entre outros elementos estruturais previstos nos Arts. 15, 17 e 19, o diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos; a proposição de cenários, considerando tendências; metas de redução, reutilização, reciclagem; metas para eliminação e recuperação de lixões; programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas.

As seguintes esferas de poder estão sujeitas à elaboração de planos de resíduos sólidos:

- O Plano Nacional de Resíduos Sólidos;
- Os Planos Estaduais de Resíduos Sólidos;
- Os Planos Microrregionais de Resíduos sólidos e os Planos de Resíduos Sólidos de Regiões Metropolitanas ou aglomerações urbanas;

- Os Planos Intermunicipais de Resíduos Sólidos;
- Os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;
- Os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

A nível federal, também se tem o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) criado pela Lei nº 6.938/1981 que integra órgãos e instituições públicas responsáveis pela proteção do meio ambiente.

Este sistema abarca diversos órgãos de controle ambiental, dentre eles o Conselho de Governo, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Órgãos Seccionais e Órgãos Locais, ou municipais.

Cabe mencionar que, em fevereiro de 2023, foi lançado o Programa Diogo de Sant'Ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular, baseado no Programa Pró Catador, extinto em 2020. O programa é uma iniciativa do governo federal para garantir os direitos dos profissionais que trabalham com reciclagem, promovendo a integração e articulação de ações e projetos das esferas públicas.

Segundo a Secretaria de Comunicação Social, a iniciativa reconhece a importância dos catadores e catadoras para a reciclagem, o meio ambiente e a inclusão social, e os coloca como agentes centrais da política de reciclagem nacional.

O reconhecimento dos catadores através do novo programa, tem como objetivo fomentar a capacitação e a formação técnica dos profissionais.

O programa também estimula a contratação remunerada das entidades do setor, apoia as linhas de créditos de inclusão de catadores e catadoras – para o fortalecimento de programas que garantam a plena inclusão socioeconômica destes atores no processo de reciclagem.

A adesão voluntária dos entes federativos ao Programa será feita na forma estabelecida pelo Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis e implicará a assunção da responsabilidade de atingir, na respectiva esfera de competência, os objetivos previstos no art. 3º do Decreto nº 11.414/2023.

O art. 4º do referido decreto define que “os entes federativos que aderirem ao Programa também deverão apresentar plano de ação que contemple ações a serem realizadas em âmbito local e regional, como fechamento de lixões, incentivo à criação de cooperativas, associações e outras formas de organização popular, além de ações de inclusão socioeconômica de catadoras e catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis”.

4.2. ÂMBITO ESTADUAL

Em um primeiro momento as questões socioambientais do Estado do Rio de Janeiro foram avaliadas considerando o aspecto de ordenação da sua região metropolitana, os setores como zoneamento e mobilidade foram estudados quanto à capacidade de trazer expansão para os municípios.

Com foco nessa ordenação, tão necessária à gestão da infraestrutura social do Estado, foram originados alguns documentos legais que viessem a apoiar uma dinâmica de crescimento econômico local.

Entre eles, o Zoneamento Ecológico Econômico – ZEE (aprovado com a Lei Estadual nº 5.067/2007, que dispõe sobre os critérios para a elaboração e implementação do ZEE de todo o estado), instrumento legal que orienta, por Regiões Hidrográficas (Resolução CERHI nº 107/2013), as áreas de maior fragilidade ambiental, identificadas na RMRJ.

O ZEE mapeia essas áreas com as mesmas restrições e potencialidades, identifica as que são prioritárias para preservação e conservação ecológica e para o desenvolvimento socioeconômico. Além disso, também

indica as que são – sempre do ponto de vista ambiental – mais propícias à expansão e novos usos.

Considerando que a ordenação da região metropolitana perpassa pela gestão dos resíduos sólidos urbanos, sendo o assunto um ponto chave no crescimento econômico local, faz-se necessário entender o panorama desses resíduos sólidos no Estado do Rio de Janeiro.

O estudo do tema no Estado iniciou-se com a Constituição Estadual, que dedica o seu capítulo VIII para definir regras relacionadas ao meio ambiente, definindo como direito de todos o meio ambiente saudável e equilibrado e atribuindo o dever de proteção a todos, em especial ao Poder Público. No Art. 261 é destacada a necessidade de implementação da coleta seletiva e reciclagem.

Tal importância é reafirmada no Art. 263 da Carta Estadual, que autorizou a criação do Fundo Estadual de Conservação Ambiental e Desenvolvimento Urbano, quando se definiu que os recursos do Fundo podem ser aplicados em programas de coleta seletiva e reciclagem.

A Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei Estadual nº 4.191, regulamentada em 20 de dezembro de 2007, por meio do Decreto Estadual nº 41.084) apresentava em seu texto diversos dos conceitos, princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos que seriam estabelecidos sete anos mais tarde pela PNRS.

Em seu artigo 12, que estabelece os princípios da lei estadual, os seus incisos I, VII e VIII tratam, respectivamente, sobre a redução na geração de resíduos sólidos; o incentivo à cooperação intermunicipal, estimulando a busca de soluções consorciadas, e a responsabilidade pós-consumo dos produtores no apoio a programas de coleta seletiva e educação ambiental.

Já em seu artigo 13, ao elencar seus objetivos, a Política Estadual de Resíduos Sólidos trata sobre a erradicação dos lixões, no inciso II; de

políticas de gestão integrada de resíduos sólidos, no inciso III; e do estímulo e valorização da separação na fonte de resíduos reutilizáveis e recicláveis para a coleta seletiva, no inciso VI.

O artigo 14 apresenta como algumas de suas diretrizes o incentivo à indústria da reciclagem; a promoção da redução ou não geração de resíduos na fonte geradora; o incentivo à criação e ao desenvolvimento de associações ou cooperativas de catadores; fomento ao consumo de produtos reciclados; “estímulo à implantação de consórcios intermunicipais com vistas à viabilização de soluções conjuntas na área de resíduos sólidos”; fomento à criação de fóruns e conselhos municipais com vistas à participação e controle social da população; incentivo à inserção social dos catadores e suas famílias e incentivo a programas municipais de coleta seletiva que priorizem a participação do catador, respectivamente nos incisos IV, V, VI, VII, VIII, XI, XIII e XIV.

A Política Estadual de Resíduos Sólidos ainda reforça a importância do “planejamento regional integrado do gerenciamento dos resíduos sólidos” e da educação ambiental para a reciclagem e reutilização de resíduos, como dois de seus instrumentos, listados no artigo 15, incisos I e VI, respectivamente.

Uma das ações decorrentes da Política Estadual de Resíduos Sólidos foi a criação do Decreto Estadual nº 40.645/2007, que “institui separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública estadual direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis”.

O Decreto Estadual nº 41.084/2007, regulamentador da Política Estadual de Resíduos Sólidos, com o objetivo de erradicar os lixões e vazadouros clandestinos no Estado do Rio de Janeiro, criou o “Programa Rio Sem Lixão”, que foi um embrião do subprograma Lixão Zero, instituído pelo Programa Pacto pelo Saneamento através do Decreto nº 42.930 de 2001,

e que determinou metas de erradicação do uso dos 60 lixões no território estadual até 2014 e a remediação destes até 2016.

O Programa Pacto pelo Saneamento tem ainda como objetivo a universalização do acesso a sistemas de saneamento básico no Estado do Rio de Janeiro, buscando minimizar, dentro de uma realidade onde inexistem sistemas sobre atividades econômicas, saúde da população e de meio ambiente, os impactos negativos decorrentes desse cenário. O Programa aborda ainda a coleta seletiva de materiais recicláveis e a integração dos catadores no processo da reciclagem.

Inserido no âmbito da agenda do Pacto pelo Saneamento do Estado do Rio de Janeiro, tem-se o Programa Estadual de Gestão de Resíduos Integrada e Desenvolvimento Sustentável - PROGRIDE que visa atender às legislações vigentes de forma a promover a eliminação do uso de lixões como forma de disposição final de resíduos e rejeitos, remediar ou recuperar os lixões já encerrados e apoiar os municípios para identificação e implementação de soluções adequadas de destinação final dos resíduos sólidos.

O Programa foi baseado no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS; no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; no ICMS Ecológico e na ABRELPE.

Os dados do ICMS Ecológico, divulgados pela Secretaria de Estado do Ambiente, do INEA e do CEPERJ, mostram que em 2021, nove municípios do estado destinaram, no todo ou em parte, os resíduos sólidos para lixões. Isso significa que 9,78% dos municípios do estado, em 2021, destinaram resíduos sólidos de forma inadequada.

Ainda de acordo com o ICMS Ecológico, 39 municípios (42,40%) realizaram a separação de recicláveis, sendo 36 municípios com coleta seletiva domiciliar (39,13%) e 3 municípios (3,26%) com Unidades de Triagem e Compostagem para recuperação de resíduos recicláveis.

Este cenário permite dizer que, mesmo existindo programas de coleta seletiva em operação de forma regular, o índice de materiais coletados seletivamente e encaminhados à cadeia produtiva da reciclagem é muito baixo, representando apenas 1,13% dos resíduos sólidos gerados. Observa-se, portanto, uma baixa efetividade dos serviços.

Em termos de saneamento, os dados do SNIS do Estado do Rio de Janeiro em 2020 apresentaram que, dos 17,3 milhões de habitantes, 90,5% da população era atendida com abastecimento de água, enquanto 66,8% possuíam coleta de esgoto e somente 47,1% do volume de esgoto coletado era tratado.

Esta realidade pode ser melhorada, se for considerada a abordagem de ganhos trazidos com a universalização dos serviços de saneamento até 2040 (prazo limite de acordo com a Lei Federal nº 14.026/2020 Marco do Saneamento), devido à redução dos custos com a saúde (melhoria de condições sanitárias), aumento da produtividade no trabalho, valorização imobiliária, ganhos com o turismo e aumento de renda nos investimentos e operações.

Essas melhorias tendem a deixar um legado crescente de geração de renda e emprego que alcançará a estabilização em um patamar de até 25 mil postos de trabalho em 2056, superando os 7 milhões de reais em renda gerada pelos investimentos no final dessa década (Portal Saneamento Básico, 2022).

O conceito integrado da gestão de resíduos sólidos no Rio de Janeiro foi o foco do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), documento importante dentro do conjunto de ações direcionadas ao planejamento de políticas públicas através de metas, orientações e instrumentos relacionados aos aspectos institucionais, ambientais, sanitários, econômicos, financeiros, sociais e normativos, capazes de potencializar a gestão dos resíduos sólidos, em sintonia com o cenário do saneamento no Brasil.

Com base nas indicações do PERS, o Estado conseguiu instrumentos para construir estratégias suficientes e políticas públicas buscando equacionar a questão dos resíduos sólidos.

Sob a liderança da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade – SEA ocorreu a implementação deste Plano, o apoio para a elaboração dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, a implantação das estruturas de regionalização e de gestão associada, e de fluxos de resíduos visando a maximização da reciclagem.

No Estado do Rio de Janeiro, a entidade responsável por exercer o papel de regular, controlar e fiscalizar concessões e permissões de serviço público nas áreas de energia, serviços de esgoto sanitário e industrial, abastecimento de água, coleta e de disposição de resíduos sólidos prestados pelas empresas outorgadas, concessionárias e permissionárias, nas quais o Estado figure como Poder Concedente ou Permitente, desde 2005 é a Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico – AGENERSA (Lei Estadual nº 4.556/2005).

Outros estudos de planejamento urbano foram observados no que tange aos impactos territoriais no Estado e formaram a base para a criação do Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado – PEDUI.

Este importante instrumento e foi originado no rol de diretrizes de planejamento e governança do Estatuto da Metrópole (Lei nº 13.089/2015).

4.3. GOVERNANÇA METROPOLITANA

A cidade do Rio de Janeiro já mostrava, desde a década de 70, uma forte influência sociopolítica-econômica sobre os municípios do entorno. Essa condição de centralidade refletiu na possibilidade legal dos Estados instituírem regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, constituídas por agrupamento de Municípios limítrofes, para integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum.

Dentro dessa realidade foi criado o Estatuto da Metrópole (Lei nº 13.089/2015), importante marco legislativo de governança para a cidade.

Tendo em vista a necessidade de gerência sobre a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, em 2018, foi editada a Lei Complementar nº 184/2018, para organizar, planejar e executar funções e serviços públicos de interesse comum aos 22 municípios que atualmente fazem parte da região metropolitana.

Na sequência, o Marco Legal do Instituto Rio Metrópole – IRM foi criado pela referida Lei Complementar, como pessoa jurídica de direito público interno, submetida a regime autárquico especial.

Ele integra a Administração Pública Estadual Indireta e tem por objeto tutelar as funções públicas e os serviços que atendam a mais de um município, como o ordenamento territorial metropolitano e o saneamento básico.

O IRM é o ente legalmente imbuído com competência para executar as decisões tomadas pelo Conselho Deliberativo da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

A governança da Região Metropolitana do Rio de Janeiro está assim dividida:

- (i) Conselho Consultivo;
- (ii) Órgão Executivo; e
- (iii) Conselho Deliberativo; cabendo ao IRM executar as decisões tomadas por este último.

O Conselho Deliberativo da Região Metropolitana do Rio de Janeiro é composto pelo Governador do Estado, pelos Prefeitos dos municípios que integram a Região Metropolitana e por três segmentos da sociedade civil, indicados pelo Conselho Consultivo, todos com direito a voto.

Duas atribuições do Conselho Deliberativo destacam-se para o objetivo do presente Plano, a saber:

1. Decidir sobre serviços, atividades, infraestruturas e instalações operacionais de transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada de resíduos, incluindo a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação, o aproveitamento energético e outras destinações admitidas, que recebam resíduos de mais de um município, observando Planos Diretores e legislação urbanística e ambiental e a situação operacional específica dos municípios envolvidos, assim como o Plano Estadual de Resíduos Sólidos e demais programas, planos e projetos estaduais; e
2. Elaborar, aprovar e fiscalizar a implantação do Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos - PMetGIRS.

Considerando que a referida Lei Complementar trata no seu art. 3º, II, alínea “a” sobre a integração do gerenciamento de resíduos sólidos à atividade de saneamento básico e, ainda se refere às atividades de manejo, de infraestrutura e de viabilização de instalações operacionais de transbordo, centro de triagem, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, respeitadas as previsões municipais sobre o assunto.

Segundo os termos do Decreto Federal nº 10.936/2022, em seu Art. 33, inciso I, compete aos Estados promover a integração da organização, do planejamento e da execução das funções públicas de interesse comum relacionadas à gestão dos resíduos sólidos nas regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões. Em complementação, tem-se ainda nos termos do art. 50 que aos Estados também é permitido elaborar planos metropolitanos de gestão integrada de resíduos sólidos.

É importante ressaltar o processo que envolve a questão de competência para saneamento básico da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e a Microrregião dos Lagos. O Supremo Tribunal Federal, na ADI nº 1842-RJ, reconheceu a Região Metropolitana como uma autarquia territorial, intergovernamental e plurifuncional, sem personalidade política.

Desse modo, conclui-se que a criação de um ente regional não significa a transferência de competências municipais, constitucionalmente estabelecidas, para o Estado. Desta forma, é certo afirmar que ao IRM compete a elaboração, aprovação e fiscalização do presente PMetGIRS.

Pode-se dizer que a governança metropolitana é a solução mais indicada para uma metrópole desestruturada e carente de ofertas de moradias, empregos, infraestrutura e serviços em um espaço com equidade social.

Para levá-la em direção à universalização do acesso à infraestrutura social e urbana é necessário que haja a implantação de um sistema de saneamento e resiliência ambiental sustentável, necessário para todos, sendo a interação entre sociedade civil, governo e iniciativa privada, o caminho essencial para o bom funcionamento dessa governança.

Como resultado, seria obtido um urbanismo de sucesso, considerando o impacto ecológico de nossas ações (“pegada ecológica”) mitigando um colapso real presente em nossa sociedade.

• ASPECTOS MUNICIPAIS

Ao se observar as questões demográficas e confrontar a mancha de ocupação territorial com as legislações de uso e ocupação do solo, percebem-se pontos de potenciais conflitos quando se tem um avanço sobre áreas categorizadas de Zoneamento Ecológico.

Esse cenário mostra o quanto é necessário a correta utilização das ferramentas de gestão municipal, como o Plano Diretor, instrumentos previstos no Estatuto da Cidade, Lei de Uso e Ocupação do Solo e de Parcelamento, etc.

Conforme prevê a PNRS, os municípios deverão elaborar os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, sendo uma condição para acessar aos recursos da União destinados à gestão de resíduos e à limpeza urbana.

O documento deverá considerar especificidades locais e basear-se em diagnóstico capaz de retratar a situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, com todas as informações úteis, como origem, volume e caracterização, bem como as formas de destinação e disposição final deles. Ainda deverá definir suas próprias metas e elaborar programas para fomentar a gestão de resíduos de forma mais sustentável.

Com efeito, a implantação dos Planos Municipais de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos deve obedecer a três princípios básicos.

Deve ser apresentada a realidade local e das potencialidades do município, por meio de um diagnóstico socioambiental; o plano deve ser construído de forma participativa, com metas para as seguintes prioridades: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; e os indicadores e metas precisam ser acompanhados e monitorados, de modo a permitir uma mudança na estratégia adotada sempre que os resultados assim o indicarem.

Assim sendo, a gestão dos resíduos sólidos compreende o planejamento de todo o processo. Partindo do diagnóstico da situação do município e o levantamento das potencialidades dele, envolvendo vários setores da sociedade, principalmente, dos catadores, cientes dos benefícios e dos desafios da implantação das operações de gerenciamento de resíduos, será concluído com as metas estabelecidas e seu constante acompanhamento.

O plano municipal deve prever metas de não geração, redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, visando reduzir a quantidade de rejeitos a serem encaminhados para disposição final.

Devem ser elaborados de forma participativa e transparente e seu conteúdo deve estar articulado com outras leis que se relacionam com os resíduos.

Outra exigência da PNRS é a instituição de indicadores de desempenho operacional e socioambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e

de manejo de resíduos sólidos, da implementação dos sistemas de logística reversa, da coleta seletiva, e dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos industriais, minerários, da construção civil e de saúde.

A PNRS prevê que os municípios devem elaborar os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, e esta é uma condição para se ter acesso aos recursos da União destinados à gestão de resíduos e à limpeza urbana.

De acordo com a PNRS, os planos de resíduos sólidos devem abranger o ciclo que se inicia desde a geração do resíduo, com a identificação do ente gerador, até a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, passando pela responsabilização do setor público, titular ou concessionário, do consumidor, do cidadão e do setor privado na adoção de soluções que minimizem ou ponham fim aos efeitos negativos para a saúde pública e para o meio ambiente em cada fase do “ciclo de vida” dos produtos.

O conteúdo mínimo dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos está previsto no Art. 19, incisos I a XIX, da PNRS.

Cabe salientar, ainda, que os Planos Municipais de Saneamento Básico, disciplinados pela Lei nº 11.445/2007, podem contemplar o conteúdo mínimo estabelecido pela PNRS para o eixo de resíduos sólidos, de modo a otimizar a integração entre a Lei de Saneamento Básico e a PNRS, bem como para aumentar a escala de municípios que tenham um planejamento mais abrangente e orientado pelas diretrizes da Lei nº 12.305/2010.

Além disso, a PNRS estabelece a possibilidade que o PMGIRS tenha conteúdo simplificado para municípios de pequeno porte, com menos de 20.000 habitantes (apurado com base no censo mais recente do IBGE).

Tal condição não se aplica aos municípios integrantes de áreas de especial interesse turístico; inseridos na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional; e cujo território abranja, total ou parcialmente, Unidades de Conservação.

De acordo com o art. 19 da PNRS, o conteúdo mínimo a ser contemplado nos Planos Municipais se compõe das seguintes atividades:

- diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;
- identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor e o zoneamento ambiental, se houver;
- identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;
- identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico ou a sistema de logística reversa, observadas as disposições legais;
- procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;
- regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos, observadas as normas pertinentes;
- definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a cargo do poder público;
- programas e ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização;

- programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;
- programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;
- mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;
- sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços;
- metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;
- descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos e dos sistemas de logística reversa;
- ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;
- identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras;
- periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal; e
- periodicidade de sua revisão, observado o período máximo de 10 anos.

Anteriormente à promulgação da PNRS, a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07) cumpria o papel de regular a coleta e a destinação de resíduos, mas não trazia instrumentos destinados à redução do impacto ambiental por esses causada.

Além da questão ambiental, a PNRS também inovou em relação ao social envolvendo a cadeia de resíduos e incluindo os trabalhadores que têm na coleta de resíduos sua fonte de renda, conforme será abordado mais adiante.

No âmbito Municipal são considerados diversos instrumentos de aplicação obrigatória aos municípios e que devem auxiliar a realização do planejamento e do gerenciamento ambiental.

Entre eles pode-se citar: Lei Orgânica, Lei Orçamentária, Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Lei de Uso e Ocupação do Solo, Lei de Parcelamento do Solo, Código Tributário, Código de Obras, Código de Posturas e Código de Saúde.

Somando-se a esses, tem-se as Leis Municipais que institucionalizam a criação de Unidades de Conservação e encontram-se discriminadas em campo específico no Inventário de Unidades de Conservação.

Visando um melhor entendimento sobre o eixo de Patrimônio Natural e Cultural, diversos documentos foram revisados, dentre eles estão o Plano Diretor de Turismo do Estado do Rio de Janeiro, Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável do Estado do Rio de Janeiro (PDITS/RJ) e o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica.

É importante ressaltar que além desses documentos citados, existe a Agenda 21 Local, que atua como instrumento para tratar dos problemas ambientais, sociais e econômicos locais e o Plano de Legado Urbano e Ambiental referente às Olimpíadas Rio 2016.

Outra vertente a ser considerada dentro do cenário ambiental e que contribuirá para a evolução da região metropolitana do Rio de Janeiro é a falta de resiliência do sistema hídrico.

Essa situação abrange não apenas a falta de confiabilidade no abastecimento hídrico (devido à forte dependência das águas do Paraíba do Sul), como também, a um sistema de esgotamento sacrificado por falhas do sistema separador, sobrecargas de vazões na rede e as contribuições de águas pluviais nas instalações do sistema de esgotamento sanitário, acarretando problemas operacionais no tratamento e distribuição da água.

O grande desafio é ajustar as condições atuais quanto à gestão das águas urbanas, com foco na drenagem pluvial sustentável, de modo a integrar as políticas urbanas, de habitação, de saneamento básico, do meio ambiente e dos recursos hídricos, como preconizam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 e 11 da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

O Programa de Saneamento Ambiental dos Municípios do Entorno da Baía de Guanabara - PSAM (2012) elaborou uma base com dados e informações (diagnóstico e proposições) obtidas no processo de elaboração dos Planos Municipais de Saneamento e do Estudo Regional de Saneamento da Baixada Fluminense, bem como validados por integrantes das prefeituras envolvidas e membros do grupo de acompanhamento da AGENERSA (Agência Reguladora), atualizados até meados de 2015 (SEAS, 2023).

Os principais documentos no manejo das águas pluviais pelos municípios, foram consultados e demonstram as preocupações diante do grande desafio do setor de saneamento básico em prol das melhorias na condição de saúde e bem estar da população.

- Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano, Rio de Janeiro; Consórcio Ecologus-Agrar; 2005), Projeto Iguaçu (Plano Diretor Recursos Hídricos,

Controle de Inundações e Recuperação Ambiental da Bacia do Rio Iguaçu/Sarapuá, 1996) e sua revisão SEA/SERLA/COPPETEC-2008), propuseram áreas de preservação ambiental para controle do uso do solo, a recuperação da drenagem com viés de recuperação também ambiental, o uso de parques urbanos inundáveis multifuncionais e relocação de habitações situadas em áreas de risco;

- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (2014), principal instrumento fundamentador e orientador da gestão das águas em âmbito estadual, foi elaborado pela Fundação COPPETEC/UFRJ juntamente com o INEA e apresenta o Relatório de Cenários, com projeções futuras no horizonte do Plano, ou seja, 2030 (INEA, 2023);
- Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Guandu, Guarda e Guandu Mirim (2006), foi elaborado priorizando ações, como o aumento da disponibilidade hídrica, a identificação de medidas mitigadoras para redução da carga de poluentes nos corpos d'água e a implementação e consolidação da gestão de recursos hídricos na bacia. Revisado em maio/2017 para o Diagnóstico Seropédica;
- Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro (2010), que se propôs a elaborar estudo de alternativas de drenagem para 24 bacias prioritárias, apresentando soluções conforme déficit de cada bacia. O Sistema de Controle de Inundação da Bacia do Canal do Manguê foi um dos resultados desse trabalho;
- Planos Municipais de Saneamento Básico dos municípios da RMRJ.

Considerando agora, a problemática do manejo dos resíduos sólidos urbanos, a presença do lixo urbano em bueiros e galerias pluviais entope as tubulações e galerias e obstrui as bocas de lobo, ocasionando enchentes e poluição dos corpos d'água.

Todo o impacto gerado por esses resíduos traz desdobramentos negativos para a qualidade ambiental e consequentemente para a saúde pública, e se originam da falta de controle da eficiência e da eficácia dos serviços de coleta de resíduos domiciliares, somando-se ainda à deficiência de sua destinação final.

Levando-se em conta a qualidade de vida dos cidadãos da metrópole, entende-se que a gestão municipal e metropolitana tem por prioridade, a execução do planejamento para o desenvolvimento urbano sustentável, dirimindo dentro do possível, as carências acumuladas no passivo socioeconômico e ambiental existente.

Nesse contexto, o Plano Diretor é um documento voltado para a orientação do planejamento com vistas ao desenvolvimento urbano local sustentável. Possui validade dentro de uma faixa temporal (aproximadamente 10 anos) por estar vinculado a uma taxa de crescimento da população e costuma incluir os instrumentos de planejamento inovadores em termos jurídico-urbanísticos, instituídos pelo Estatuto das Cidades.

Além desses, outros instrumentos complementares de cunho urbanístico-ambiental são utilizados para dar apoio à boa gestão territorial do município, a saber:

- a. Estudo de Impacto Ambiental;
- b. Zoneamento Ambiental e/ou Econômico-Ecológico;
- c. Tombamento;
- d. Unidades de Conservação.

Ao se observar as esferas municipais, fica claro que as ações de melhorias possuem baixa qualidade.

Os municípios ainda apresentam carências básicas, seja por falta de vontade política, seja por insuficiência de recursos próprios.

Essa situação leva a uma gestão municipal heterogênea, causando um atraso na evolução da sociedade civil da região metropolitana.

• Competências Municipais Específicas

A competência municipal administrativa para licenciamento ambiental está prevista no Art. 23, inciso VI c/c artigo 30 da Constituição Federal.

No Estado do Rio de Janeiro, desde 25 de agosto de 2021, as atividades licenciadas ambientalmente pelos municípios são definidas de acordo com a nova Resolução CONEMA nº 92/2021, que dispõe sobre as atividades que causam ou possam causar impacto ambiental local, conforme previsto no art. 9º, inciso XIV, alínea a, da Lei Complementar nº 140/2011, e sobre a competência supletiva do controle ambiental (regulamentada pelo Decreto Estadual nº 46.739/2019),

Por meio dessa nova Resolução, a competência do Conselho Estadual de Meio Ambiente - CONEMA ficou estabelecida, (conforme art. 56, parágrafo único, inciso VI, do Decreto Estadual nº 46.890/2019), regulamentando um modo de enquadramento do licenciamento ambiental para as tipologias de atividades - Anexo I, que causam ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade.

Na busca de se aprimorar a identificação do ente federativo competente, em 20 de junho de 2022, foi publicada a Resolução CONEMA nº 95, que alterou a Resolução nº 92, alterando e adotando a Norma Operacional INEA nº 046 (NOP-INEA-46), a qual trata do enquadramento de empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento ambiental, como norma de referência para estabelecer a classe de impacto ambiental, conforme seu novo Anexo I.

Pode-se destacar em seu Art. 1º, §1º, inciso IV, a determinação de que o ente municipal “não será considerado originariamente competente para promover o licenciamento quando:

- Localizados no mesmo complexo ou unidade e diretamente ligados ao essencial desenvolvimento de empreendimento ou atividade listados; ou
- Sujeitos à elaboração de EIA/RIMA; ou
- Relatório Ambiental Simplificado (RAS), cuja competência para licenciamento compete a outro ente federativo”.

Entretanto, há de se considerar que o INEA poderá delegar aos municípios (Art. 1º, §2º), excepcionalmente, o controle ambiental envolvendo as hipóteses previstas no § 1º deste artigo, bem como os empreendimentos e as atividades não listados no Anexo I, (seguindo termos do art. 5º da Lei Complementar nº 140/2011).

Além das licenças (Licença Prévia – LP, Licença Ambiental Integrada – LAI, Licença Ambiental Unificada - LAU ou Licença de Operação - LO), o Art. 2º dá ao ente licenciador municipal a competência para a promoção dos demais instrumentos de controle ambiental vinculados ao objeto da licença.

Contudo, ficam excluídos desse artigo as competências originárias dos demais entes federativos (definidas na Lei Complementar nº 140/2011) e também os instrumentos de controle ambiental definidos no Anexo II desta Resolução.

Os instrumentos de controle ambiental que podem ser concedidos pelo ente municipal foram listados no capítulo II, como seguem: Autorização Ambiental; Certidão Ambiental; Certificado Ambiental; Termo de Encerramento; e Documento de Averbação.

Esta resolução CONEMA atesta em seu capítulo III que, na promoção do controle ambiental, o Estado terá a sua competência supletiva instaurada quando ocorrer a inexistência de órgão ambiental capacitado (conforme as exigências do §1º) e de conselho municipal de meio ambiente ativo no município.

Também foi estabelecido nessa resolução que “o exercício da atribuição supletiva também poderá ocorrer nos casos de omissão do órgão ambiental originariamente competente, desde que devidamente cientificado, nos termos do art. 14, § 3º, da Lei Complementar nº 140/2011”.

Um aspecto a ser considerado nessa resolução são os casos em que haja divergência em relação à competência prevista.

Neste contexto, o Conselho Estadual de Meio Ambiente – CONEMA, mediante provocação de qualquer dos órgãos envolvidos ou do titular do empreendimento ou atividade, deliberará a respeito, editando uma resolução com enunciado normativo cuja orientação será observada inclusive em outros requerimentos de instrumentos de controle ambiental.

Em seu capítulo V, a referida Resolução estabelece que o Estado do Rio de Janeiro, por meio da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade – SEAS e do Instituto Estadual do Ambiente – INEA, disponibilizará e manterá o cadastro estadual de informações sobre meio ambiente, através do instrumento integrante do sistema, Portal do Licenciamento (página do INEA), com o intuito de direcionar as ações administrativas do licenciamento ambiental no âmbito do estado ao órgão ambiental originariamente competente.

Dessa forma, caberá aos municípios encaminharem ao INEA dados e informações sobre a composição de sua estrutura de governança ambiental e procedimentos de licenciamento, para fins de operacionalização e atualização do sistema estadual, em relação às informações de meio ambiente pertinentes.

Deverá ser apresentada pelo município e registrada no SELCA, a manifestação formal sobre as atividades e empreendimentos listados no Anexo I em que o mesmo não exercerá a competência do licenciamento ambiental.

Caso não ocorra essa manifestação expressa e formal, o mesmo exercerá o controle ambiental das atividades e empreendimentos listados no referido Anexo.

Deve ser observado que o licenciamento ambiental iniciado anteriormente a essa Resolução será mantido perante os órgãos de origem até o término da vigência da licença de operação (ou instrumento equivalente de controle ambiental). A renovação caberá, conforme Art. 10, § 2º da referida Resolução, ao ente federativo competente.

Por fim, esta Resolução estabelece a criação da Câmara Técnica no CONEMA cujo objetivo é o de avaliar o desempenho do controle ambiental exercido pelos municípios, com base nas informações do SELCA, bem como propor a revisão desta Resolução, especialmente do Anexo I.

Atualmente, o Anexo I apresenta 30 (trinta) Grupos de Atividades/ Empreendimentos que são subdivididos conforme porte, natureza da atividade, potencial poluidor e seu impacto local.

Levando-se em conta o cenário do Prognóstico para resíduos sólidos urbanos e resíduos de construção civil, foram segregadas abaixo algumas atividades do Anexo II (tipologias capazes de causar impacto ambiental de âmbito local) da Resolução CONEMA, que possuem relação direta com as tecnologias de tratamento e destinação dos RSU e RCC passíveis de licenciamento nos municípios.

Ainda no contexto do Prognóstico é possível observar no Anexo II da Resolução CONEMA, sobre os demais instrumentos de controle ambiental (definidos no Decreto Estadual nº 46.890, de 23 de dezembro de 2019) que são de competência do INEA, a orientação para liberação da:

I – Autorização Ambiental: para encaminhamento de resíduos industriais provenientes de outros Estados da Federação para locais de reprocessamento, armazenamento, tratamento ou disposição final licenciados, situados no Estado do Rio de Janeiro.

Considerando a orientação da Resolução sobre a necessidade do município se manifestar expressamente sobre a competência para o licenciamento de atividades ou empreendimentos específicos, é importante

menção que as informações ficam registradas no Sistema Estadual de Licenciamento Ambiental (SELCA).

Cada município tem denominada especificamente a sua Secretaria para tratar dos assuntos ambientais pertinentes a cada local. Tais secretarias podem fazer uso dos diplomas de licenciamento conforme segue:

- **Licença Municipal Prévia – LMP:** Aprova a concepção do empreendimento quanto à localização, instalação e operação. Apresenta planos, projetos e programas de acordo com zoneamento ecológico, econômico e dos planos de uso e ocupação do solo. Define medidas de controle ambiental e as condicionantes técnicas p/ emissão da LMI.
- **Licença Municipal de Instalação – LMI:** Autoriza a implantação do empreendimento após as medidas de controle ambiental cumpridas e das condicionantes técnicas definidas.
- **Licença Municipal de Operação – LMO:** Autoriza a operação do empreendimento e funcionamento de seus equipamentos de controle ambiental conforme LMP e LMI.
- **Autorização Municipal Ambiental – AMA:** Ato administrativo emitido em caráter precário e com limite temporal, estabelecendo condições de operação para atividade de transporte de resíduos perigosos.

Licenciamento por Consórcios Municipais

Como se sabe, o poder de polícia se divide em ciclos ou fases, quais sejam:

- as determinações ou ordens de polícia, onde a Administração emana atos gerais, impondo deveres e obrigações aos indivíduos, que deles não poderá se eximir;
- o consentimento de polícia, o qual representa a resposta positiva da Administração Pública aos pedidos formulados por indivíduos

interessados no exercício de determinada atividade, como as licenças e autorizações;

- a fiscalização, onde a administração perquire o cumprimento pelos administrados das determinações e consentimentos exarados; e, por fim,
- a sanção de polícia.

Dito isto, a definição de Poder de Polícia administrativa em muito se assemelha ao conceito normativo do Poder de Polícia ambiental que decorre da norma estabelecida no Art. 225 da Constituição da República.

Paulo Affonso Leme entende que o poder de polícia ambiental “[...] é a atividade da Administração Pública que limita ou disciplina direito, interesse ou liberdade, regula a prática de ato ou a abstenção de fato em razão de interesse público concernente à saúde da população, à conservação dos ecossistemas, à disciplina da produção e do mercado, ao exercício de atividades econômicas ou de outras atividades dependentes de concessão, autorização/permissão ou licença do Poder Público de cujas atividades possam decorrer poluição ou agressão à natureza”.

Com efeito, para Hely Lopes Meirelles, Poder de Polícia é a “faculdade de que dispõe a administração pública para condicionar e restringir o uso e gozo de bens, atividades, direitos individuais, em benefício da coletividade ou do próprio Estado”.

Nesta linha, Edimur Ferreira Faria acrescenta que “é oportuno registrar que só a administração direta, nas três esferas da Administração Pública, e as autarquias têm competência para exercer a polícia administrativa.

Hoje, as fundações de direito público, por serem verdadeiras autarquias, parecem ter legitimidade para desempenhar essa função. As demais entidades integrantes da administração indireta e as concessionárias de serviços públicos não têm legitimidade para exercer a polícia”.

Desta forma, para exercer o Poder de Polícia ambiental, aí incluída a execução do licenciamento ambiental, procedimento adequado para realização de atividade e empreendimento potencialmente poluidor, deverá o órgão que o realizar pertencer à administração direta ou indireta de qualquer das três esferas de governo.

Assim, desejando o município exercer as ações administrativas ambientais por entidade da administração indireta deverá delegar tais atividades a uma autarquia especialmente criada para desempenhar tais funções próprias e típicas do Estado (Art. 5º, I Decreto-Lei nº 200/1967).

Nesse toar, os consórcios intermunicipais instituídos para promover o licenciamento e fiscalização ambiental devem possuir personalidade jurídica de direito público e serem constituídos na forma de associação pública de natureza autárquica interfederativa, integrante da Administração Pública indireta de todos os municípios consorciados, que deverá observar todas as regras e princípios da administração pública (Art.6º, §1º, Lei nº 11.107/2005).

Sendo assim, em razão da sua natureza autárquica, o consórcio assumiria as prerrogativas das autarquias, como o exercício do Poder de Polícia acima mencionado em todas as suas fases. Tanto é que a Lei nº 11.107/2005 tratou de permitir a desapropriação ao consórcio público no art. 2º, §1º, II, o que é um ato eminentemente do exercício do Poder de Polícia:

“Art. 2º Os objetivos dos consórcios públicos serão determinados pelos entes da Federação que se consorciarem, observados os limites constitucionais.

§ 1º Para o cumprimento de seus objetivos, o consórcio público poderá:

II - nos termos do contrato de consórcio de direito público, promover desapropriações e instituir servidões nos termos de declaração de utilidade ou necessidade pública, ou interesse social, realizada pelo Poder Público;”

Desta forma, resta evidente que não há qualquer óbice para a execução de licenciamento e fiscalização ambiental por um consórcio público.

Inclusive, tal possibilidade é aventada na própria LC 140, cujo artigo 4º prevê a existência de diversos meios pelos quais os entes federativos podem cooperar, tais como a celebração de consórcios públicos, convênios e acordos de cooperação técnica, tudo quanto o Direito permitir em vistas à consecução do interesse comum e público.

“Art. 4º Os entes federativos podem valer-se, entre outros, dos seguintes instrumentos de cooperação institucional:

I - Consórcios públicos, nos termos da legislação em vigor;”

• **Papel dos Consórcios Públicos**

Em 2005, com a Lei nº 11.107/2005 sobre Consórcios Públicos, municípios vizinhos que possuíssem interesses cruzados em mananciais de água, estações de tratamento de esgoto, aterro sanitário, centros industriais e logísticos e outros poderiam atuar de forma conjunta e harmônica, visando a melhoria na relação custo-benefício e um aumento de eficiência na gestão local indistintamente.

Esta possibilidade surgiu em virtude das dificuldades dos municípios em gerirem adequadamente e de forma isolada os serviços de manejo de resíduos sólidos ao longo do tempo, evidenciando a necessidade de ganho de escala e de redução de custos para uma apropriada e eficiente gestão pública de interesse comum.

A opção de uma gestão associada também aprimora o compartilhamento de atividades e serviços de interesse comum, com a qualidade necessária, através da otimização no uso dos recursos financeiros, humanos e infraestrutura existentes em cada um dos associados ao consórcio.

Visando fortalecer a gestão de resíduos sólidos nos municípios, a PNRS define em seu Art. 45, como prioritários na obtenção dos incentivos instituídos pelo Governo Federal os consórcios públicos constituídos.

Sendo assim, é possível postular a mesma prioridade ao PMetGIRS, já que atende ao mesmo objetivo da previsão legal – o de viabilizar a descentralização e a prestação de serviços públicos que envolvam resíduos sólidos.

Desde então, milhares de consórcios públicos, tanto intermunicipais como interfederativos (i.e., com a participação de Estados e da União) foram desenvolvidos, fundindo autonomias e obrigações de forma horizontal, para atendimento a serviços públicos variados.

Tais consórcios e associações, evidenciam como a cooperação horizontal em áreas de interesse comum (por exemplo: transporte, saúde, educação, segurança, meio ambiente e outras) entre os municípios se apresentam como uma alternativa de política pública intergovernamental, quando estabelecem diretrizes e ações de planejamento e gestão regional, barateiam e reduzem custos operacionais, melhoram a qualidade e a agilidade dos projetos, integram sistemas e dão maior transparência à aplicação de recursos públicos.

Uma vez que as regiões metropolitanas são formadas por vínculos compulsórios entre os estados e os municípios limítrofes a fim de manter a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum, faz sentido admitir que a criação de um consórcio intermunicipal entre esses municípios mostra-se, a priori, desnecessária, porque estes já possuem o IRM como ente dotado de capacidade jurídica.

Some-se a isto o fato de a Política Nacional de Resíduos Sólidos permitir a criação de um Plano Metropolitano para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

Contudo, no caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, pode-se dizer que é legalmente possível a solução de questões interlocais em

paralelo com as estruturas de governança metropolitana, em relação a funções de interesse comum, pois, segundo o Estatuto da Metrópole, consórcios públicos podem integrar a governança interfederativa das regiões metropolitanas por se constituírem instrumentos de desenvolvimento urbano integrado dessas regiões.

Além disso, consórcios públicos intermunicipais podem participar nas instâncias de deliberação, planejamento e execução das regiões metropolitanas.

A esta altura, é possível afirmar que a associação intermunicipal é de grande necessidade visando a soma de capacidades e diminuição de custos com ganhos de escala na gestão e manejo de resíduos sólidos.

É importante ressaltar que, através da participação no Conselho Deliberativo, a fim de viabilizar a gestão integrada dos resíduos sólidos, os municípios exercerão sua competência constitucional para o tema.

Em complementação, esse exercício se dará também pela emissão de autorização para a realização de objetivos de interesses comuns, a priori (i) no plano da governança metropolitana no Conselho Deliberativo da RMRJ; ou (ii) por intermédio de consórcio público com outro(s) município(s) integrantes da área metropolitana, para tratar de especificidades interlocais.

A Lei Estadual nº 6.334/2012 autorizou o Poder Executivo do Estado do Rio de Janeiro a participar dos seguintes consórcios visando o manejo de resíduos sólidos:

- Lagos I;
- Centro sul I;
- Sul Fluminense 2;
- Vale do Café;
- Noroeste;

- Serrana 1;
- Serrana 2.

Dentre os municípios integrantes dos consórcios autorizados, pertencem à Região Metropolitana os municípios de Paracambi, Japeri e Queimados, os quais fazem parte do Consórcio Centro Sul I, e Petrópolis, que faz parte do consórcio Serrana 2.

Entretanto, estão operando apenas os consórcios Centro Sul I e Vale do Café.

Convém mencionar aqui que os municípios da região centro-sul do Rio de Janeiro, não integrantes da região metropolitana, que se consorciaram para a gestão integrada de resíduos sólidos são, além de Paracambi, Queimados, Japeri, os municípios de Mendes e Engenheiro Paulo de Frontin, constituindo em 2018 o “Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos do Centro Sul I”.

Com sede localizada no Município de Paracambi, esse consórcio tem por objetivo:

“[...] apoiar de forma colegiada, municípios interessados em uma gestão inteligente de manejo de resíduos sólidos urbanos. Trata-se de um novo arranjo institucional utilizado como instrumento de planejamento regional para soluções de problemas comuns tais como: destinação final de resíduos, implantação do Sistema Público de Coleta Seletiva, Educação Ambiental, dentre outros. Além de solucionar os problemas de forma coletiva, o Consórcio permite aos municípios que somem esforços na busca de capacitação técnica pertinente ao tema e também na obtenção de recursos financeiros necessários à gestão eficiente desses resíduos dispostos em aterros sanitários ou mesmo à gestão de Programas realizados pela administração pública”. (Lei nº 11.107/2005)

Em 2016, a concessionária que atua para o consórcio intermunicipal, Concessionária Centro Sul SPE I Ltda. firmou um Termo de Ajustamento

de Conduta – TAC, com o INEA, com a finalidade de estabelecer prazos e condições para adequações das atividades no Complexo de Tratamento e Destinação Final de Resíduos - CTDR Paracambi. O TAC tinha prazo de vigência de 13 meses e o INEA emitiu o Termo de Quitação em 04/04/2018, atestando o cumprimento integral das obrigações ajustadas.

De acordo com a documentação pública disponível, alguns dos municípios consorciados (Engº Paulo de Frontin, Japeri, Mendes e Paracambi) repactuaram em 2023 as metas e prazos para implementação dos programas municipais de coleta seletiva.

Em relação aos consórcios voltados para a gestão hídrica, o Consórcio Intermunicipal Lagos São João é um ótimo exemplo de resultados positivos.

Criado em 1999, com a missão de promover políticas públicas de forma compartilhada entre o Governo do Estado e os 13 municípios consorciados.

Sua área de atuação abrange inteiramente os municípios de Araruama, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Saquarema e Silva Jardim, e parcialmente os municípios de Cachoeiras de Macacu, Casimiro de Abreu, Maricá, Rio Bonito e Rio das Ostras.

Como uma de suas principais ações está a recuperação da Lagoa de Araruama e o monitoramento da Lagoa de Juturnaíba, além do apoio aos Planos Municipais de Saneamento Básico e aos Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica.

É importante que as possibilidades de soma de capacidades e de diminuição de custos com ganhos de escala na gestão e manejo de resíduos sólidos, instituídas pela Lei de Consórcios Públicos e incentivadas pela PNRS, sejam amplamente aproveitadas e utilizadas pelos municípios, para que, através da gestão associada, como na região metropolitana, possam elevar sua capacidade gerencial.

4.4. ÂMBITO MUNICIPAL

Em 2007, foi criado um marco regulatório para o setor de saneamento, no Brasil, a Lei nº 11.445/2007, que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico; criou o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; e alterou e revogou algumas Leis pertinentes ao assunto.

A atual redação do marco legal do saneamento básico é dada pela Lei Federal nº 14.026, de 2020, que além de atualizar o marco do saneamento, alterou a Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico e ainda autorizou a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados.

A importância da Lei nº 11.445/2007 se traduz também nos princípios que ela estabeleceu para a universalização do acesso ao saneamento.

A lei prega que todo município deve elaborar um Plano Municipal de Saneamento Básico, o qual atuará como ferramenta estratégica de gestão para as prefeituras e titulares dos serviços contemplando os quatro serviços básicos, a saber:

- Abastecimento de água potável;
- Esgotamento sanitário;
- Manejo de resíduos sólidos;
- Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Dessa maneira, este diploma pretende que se levante um diagnóstico do saneamento básico de cada município, verificando as deficiências e necessidades, a fim de planejar objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para o estabelecimento e propagação do acesso aos serviços pela população.

O plano é obrigatório a todos os municípios, para todas as suas áreas, incluindo localidades urbanas, rurais, adensadas e dispersas, havendo exceção para as regiões metropolitanas, que devem compartilhar a titularidade.

De acordo com o Decreto Federal nº 7.217/2010, atualizado pelo Decreto Federal nº 11.599/2023, a partir de 2026, os municípios só receberão os recursos da União, destinados ao investimento em saneamento básico, caso tenham elaborado o PMSB.

Assim, tem-se um referencial para a obtenção de financiamentos, além de valorizar o bom uso dos recursos públicos, através do planejamento e controle social.

Além disso, por meio de diretrizes, metas e cronogramas para os investimentos, a Lei objetiva reduzir as incertezas e os riscos na condução da Política Municipal.

Para um melhor planejamento das ações, o Plano deve interagir com outros instrumentos e planos setoriais existentes, como o Plano Diretor do Município.

Essa interação visa reduzir as desigualdades, promover a segurança dos recursos hídricos, agir na prevenção de doenças, minimizar os acidentes ambientais e por fim, buscar o desenvolvimento do município.

Quando bem executado, o planejamento é capaz de promover a segurança hídrica, prevenir doenças, reduzir as desigualdades sociais, preservar o meio ambiente, reduzir acidentes ambientais e desenvolver economicamente o município.

A lei prevê a mobilização social na elaboração, aprovação, execução, avaliação e revisão dos Planos Municipais, que deve ser realizada a cada quatro anos. Dessa forma, a participação da sociedade é fundamental no processo de elaboração do PMSB, seja na apresentação dos cenários ou na discussão sobre os prazos e tarifas dos serviços.

Faz-se necessário dividir a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico em etapas, para facilitar e abranger todos os requisitos previstos em lei. Ele deve conter, no mínimo:

- Diagnóstico da situação do saneamento e seus impactos nas condições de vida. Deve-se considerar indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos;
- Objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para a propagação do sistema. Deve ser compatível com outros planos do município e do estado;
- Ações emergenciais e de contingência;
- Mecanismos e procedimentos de avaliação da eficiência e eficácia das ações planejadas.

Na primeira etapa ocorre a mobilização social, contemplando diversas áreas do conhecimento e da sociedade, identificando questões relevantes e diversidade de soluções.

Em seguida, é feito um diagnóstico socioeconômico, da infraestrutura e dos serviços de saneamento. Obtêm-se resultados para um planejamento e programas específicos, contemplando as necessidades identificadas e que tragam soluções para a universalização dos serviços.

Por fim, o Plano de Execução é elaborado, considerando o crescimento do município e os custos de execução das ações. Adotando-se medidas de aplicação dos projetos e ações considerando metas e horizontes a curto (4 a 8 anos), médio (9 a 12 anos) e longos prazos (13 a 20 anos).

O Relatório Final e uma Minuta do Projeto de Lei do Plano Municipal de Saneamento Básico elaborados são submetidos à audiência pública (com a participação social) e à Câmara de Vereadores para a aprovação.

• Saneamento – Compromisso Municipal

Em outubro de 2015, dados da Secretaria Nacional de Saneamento Básico Ambiental do Ministério das Cidades, mostrou que apenas 31% dos municípios brasileiros possuíam o PMSB.

Além disso, outra preocupação é que apenas o planejamento para os setores de água e esgoto estavam sendo realizados, deixando de fora as vertentes de resíduos sólidos e manejo florestal.

Em outubro de 2016, de todos os municípios brasileiros, apenas 30% declararam possuir o Plano de Saneamento Básico e 38% declararam que estão em fase de elaboração.

O Ministério das Cidades, preocupado com a situação do saneamento nos grandes e pequenos municípios no Brasil, divulgou em 2017, um Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico, considerando todos os estudos governamentais e não-governamentais.

Considerando-se que a meta para o ano de 2018 foi de 32% para Planos elaborados, o panorama apresenta um resultado razoável, para os municípios que ainda precisam elaborar o PMSB. (Portal Ministério das Cidades/ Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico no Brasil)

A Tabela 21, a seguir, mostra a relação dos Municípios por Estado que declararam ter seu Plano Municipal de Saneamento Básico, segundo o documento “Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) no Brasil”, publicado em 19 de outubro de 2016. Atualmente, a discussão gira em torno da atualização dos Planos existentes, visto que aqueles que foram elaborados já se encontram na fase de atualização.

Tabela 21: Municípios que Declararam a Existência do PMSB

Ministério das cidades				
Secretaria nacional de saneamento ambiental / dplar				
Gerência de planejamento institucional				
Item	Estado	N.º de municípios do Estado (fonte: IBGE/2016)	Municípios que declararam ter o PMSB no Panorama	% de Municípios do Estado que declararam ter o PMSB
19	Rio de Janeiro	92	22	24%
TOTAL		5570	1693	30%

Fonte: Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico no Brasil

Obs.: As informações da tabela apresentada foram autodeclaradas pelos Municípios nas diversas fontes de pesquisas contidas no Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico do Brasil e o Ministério das Cidades não se responsabiliza por sua veracidade.

Já a Tabela 22 apresenta a realidade dos municípios em relação à existência dos instrumentos legais: Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – PMGIRS e Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB.

Tabela 22: Municípios com PMGIRS e PMSB

Município	Possui PMGIRS	PMSB aprovado	Legislação	Observação
Belford Roxo	N	S	-	PMSB-2014
Cachoeiras de Macacu	S	S	Lei 2515/21 PMGIRS	Limpeza urbana e manejo de RSU
Duque de Caxias	S	S	LEI 2881, 28/12/2017 PLAMSAB	Consórcio SERPEN/COBA
Guapimirim	N	S	Port. 1394, 24/09/21	Criação do GT PMSB

Município	Possui PMGIRS	PMSB aprovado	Legislação	Observação
Itaboraí	N	S	-	
Itaguaí	S	S	Lei Mun. 3842/2020 Lei Mun. 4170/202	Aprovação PMSB Revisão PMSB
Japeri	N	N	-	
Magé	S	S	Lei 2638/22	PMSB
Maricá	S	S	Lei 2946, 13/08/2020	PMSB
Mesquita	N	S	-	
Nilópolis	N	S	Port. 346 e Port. 347, 05/05/22	Comitê Executivo e Comitê Gestor
Niterói	S	S	2012	
Nova Iguaçu	S	S	Dec. 12702, 03/05/22	Dec. 12.131, 17/11/2020
Paracambi	S	S	Lei 1593, 10/03/22	
Petrópolis	S	S	-	
Queimados	N	S	-	
Rio Bonito	S	S	-	27/04/22 Discussão do Plano
Rio De Janeiro	S	S	PMSB-AE anterior: 16/08/2011	Revisado set/22
Seropédica	N	N	-	Em 2019 Solicitação PMGIRS
São Gonçalo	S	S	-	

Tabela 22: Municípios com PMGIRS e PMSB (continuação)

Município	Possui PMGIRS	PMSB aprovado	Legislação	Observação
São João de Meriti	N	S	-	Tem Relatório Síntese 2015
Tanguá	N	S	-	

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Os municípios que elaboraram seu Plano Municipal de Saneamento Básico, desenvolveram ações ao longo de 20 anos de prognóstico.

No intuito de auxiliar o exercício da Política Municipal de Saneamento da região, o PMSB é elaborado como um instrumento de gestão que deve ser construído com dados essenciais e ser dedicado à implantação e operacionalização dos instrumentos de gestão e programas voltados a esse tema.

No PMSB são considerados aspectos mais relevantes, principalmente legais, institucionais, características gerais do município como saúde, social, econômica, de infraestrutura do setor de saneamento, aspectos físicos etc., visando à melhoria da qualidade de vida da população, diminuindo e eliminando os problemas de saúde ambiental, de forma sistêmica e contínua.

Conforme realidade identificada nos diagnósticos setoriais, devem ser estabelecidos os Objetivos Setoriais como o Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário, Drenagem Pluvial, Manejo de Resíduos Sólidos, corroborando com a ideia de que a natureza das ações de saneamento básico pressupõe, para sua efetivação, ação participativa.

Neste caso, o Poder Público e a coletividade atuam conjuntamente para a construção do bem-estar social e da dignidade do povo, fundamentadas em política pública, dentro da sociedade.

Uma vez que a elaboração do PMSB requer um planejamento participativo e de caráter permanente, todas as fases da elaboração preveem

a inserção das perspectivas e aspirações da sociedade, seus interesses múltiplos e a apreciação da realidade local para o setor de saneamento.

Dessa forma, grupos de trabalho e atores sociais são mobilizados para a operacionalização do PMSB. Esses grupos são formados por duas instâncias: Comitê de Coordenação, instância consultiva e deliberativa, formalmente institucionalizada, responsável pela coordenação da elaboração do PMSB, e o Comitê Executivo, segunda instância formada.

O PMSB realiza ainda, o levantamento das estratégias para a definição do Modelo de Negócios da empresa/administração pública do município e o ambiente onde ele está inserido, buscando atender às expectativas dos atores, viabilizando o objetivo dos acionistas/municípios de obter uma taxa de retorno superior à média do mercado.

As fontes de financiamento, os modelos e as orientações técnicas, tem origem nos mesmos órgãos de governo apontados, a saber: FUNASA, Ministério das Cidades, BNDES, BID, BIRD, Governo do Estado de Rio de Janeiro.

O Plano também deve elencar os principais programas e metas a curto, médio e longo prazos, projetos e ações para os respectivos eixos de saneamento básico, esgotamento sanitário, drenagem e resíduos sólidos.

Por fim, o Plano também servirá de base para a elaboração da Lei Municipal do Saneamento Básico, que deverá contemplar todas as exigências dos marcos regulatórios das políticas sanitárias, cujas premissas estão previstas nas Leis Federais nº 11.445/2007 e nº 12.305/2010.

As etapas pós plano são de extrema importância, com a elaboração de estudos de concepção e viabilidade, em formato de relatório técnico preliminar, projeto básico e executivo para Sistemas de Abastecimento de Água/Esgoto/Drenagem/Resíduos, nos municípios/localidades, além de Estudos Ambientais, para o devido licenciamento ambiental.

De acordo com o Censo 2010, apenas 73% dos domicílios particulares permanentes detinham infraestrutura urbana completa em seu entorno (iluminação, pavimentação, calçada, meio-fio e bueiro). Destes mesmos domicílios, 6,7% estavam expostos a lixo acumulado nos logradouros, e 7,5%, expostos a esgoto a céu aberto.

Apesar dos seus índices elevados no contexto econômico, alguns de seus indicadores sociais, como a taxa de mortalidade de infantil e o IDEB, não coincidem com o cenário economicamente positivo.

Além disso, também se encontra abaixo da média estadual, com cerca de 120 mil moradores ainda sem acesso ao sistema público de abastecimento de água.

Um exemplo de planejamento está no município de Duque de Caxias que previu o atendimento gradual à população do município em 17 anos (2034).

De acordo com o que estabelecem as normas técnicas e a legislação vigentes, neste prazo a população do município de Duque de Caxias será provida com serviços de esgotamento sanitário que garantam a coleta, o transporte, o tratamento e a destinação final adequada dos esgotos.

A par disso, serviços de esgotamento sanitário deverão satisfazer aos padrões de qualidade ambiental dos recursos hídricos, como indicado abaixo, para os seguintes índices de atendimento à população (%):

- 2018 e 2021 (4 anos): 20%
- 2022 e 2027 (6 anos): 67 %
- 2028 e 2037 (10 anos): 100%

Outro exemplo de planejamento se deu na cidade de Niterói, que em 2011 esteve na terceira maior posição em volume de resíduos sólidos gerados no estado, apresentando como vilão dessa posição, os resíduos de construção civil.

Dados da concessionária de abastecimento de água, mostram que tal planejamento elevou o atendimento acima da média nacional, sendo mais de 80% do esgotamento sanitário em área urbana coletado e tratado.

Neste caso, também foram consolidados o Plano de Varrição (CLIN), Plano de Coleta de Resíduos Domiciliares, Plano de Saneamento, Plano de Gerenciamento de RCC, além dos Códigos Ambiental e de Posturas da Cidade. Assim, foi possível desenvolver e implantar o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos devido ao dimensionamento de estruturas operacionais.

No município do Rio de Janeiro, a exemplo do Programa Caçamba Legal que regulariza as caçambas de entulhos estacionárias, vale ressaltar a Portaria “N” COMLURB nº 010, de 01/12/2011 que estabeleceu as diretrizes para o credenciamento de pessoas físicas e jurídicas que desejam prestar serviços de coleta e remoção de resíduos sólidos especiais.

Através das Normas Técnicas da COMLURB 42-20-01; 42-30-01; 42-40-01; e 42-60-01, que definem, respectivamente, os procedimentos para “Manuseio do Lixo em Edificações”; “Coleta e Destinação Final de Lixo Extraordinário”; “Coleta e Destinação Final de Resíduos Sólidos Inertes”; e “Serviços de Remoção Gratuita”, as políticas, adotadas para redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem de resíduos sólidos, abrangem os Resíduos da Construção Civil – RCC depositados na Área de Transbordo e Triagem - ATT das Missões, no bairro de Cordovil.

O reaproveitamento desse RCC ocorre na pavimentação das pistas e praças de operação do aterro, no recobrimento dos resíduos dispostos, no nivelamento e na conservação de suas vias de acesso, resultando numa economia de recursos naturais e menor impacto ambiental.

Para volumes maior que 2 m³/semana, a COMLURB disponibiliza em seu site a “relação de empresas credenciadas para a coleta e o transporte” e a SMAC disponibiliza em seu site a “listagem de empresas licenciadas para o beneficiamento ou destinação final ambientalmente adequada de RCC”.

5. REMEDIAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS

A gestão e o gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) fazem parte do saneamento ambiental, conforme estabelecido pelo extenso arcabouço legal vigente em nosso País. Isso inclui atividades como varrição, coleta, transporte, armazenamento temporário, destinação final dos resíduos e disposição final dos rejeitos.

Naturalmente, quando estes serviços são realizados de maneira adequada, eles têm um impacto positivo significativo na saúde e na qualidade de vida da população, contribuindo, de forma substancial para o equilíbrio e para a salubridade do meio ambiente.

No âmbito da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, aprimorar a gestão dos RSU requer um ciclo virtuoso de atividades, priorizando, conforme definido pela PNRS, a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Entretanto, destaca-se que este é um enorme desafio a ser vencido pelo poder público, em ampla articulação com o setor privado, a sociedade e a academia.

Fato notório quanto a este desafio, reside na indiscutível necessidade de sustentabilidade técnica, ambiental, social e econômico-financeira do modelo de gestão proposto para os municípios, devendo seguir uma abordagem econômica circular. Isso envolve todo o ciclo de vida de um produto, desde a extração da matéria-prima até a geração, reutilização e reciclagem dos resíduos, perpassando à regeneração de áreas potencialmente degradadas, à reintegração de resíduos na cadeia produtiva e à disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

No Brasil, ainda restam diversas barreiras a serem superadas para alcançarmos uma gestão sustentável de RSU. A estrutura descentralizada, com

os municípios como principais responsáveis pelo manejo dos RSU, figura como um desafio adicional. Cerca de 70% dos municípios brasileiros possuem menos de 20 mil habitantes, o que dificulta de forma substancial a sustentabilidade de alguns serviços correlatos à gestão e ao gerenciamento dos RSU culminando, quase sempre na disposição final inadequada.

Por sua vez, a rotineira disposição final inadequada dos RSU em solo na forma de vazadouros possui diversos inconvenientes socioambientais a serem controlados, em especial, pelo próprio poder público. De acordo com o “Roteiro para encerramento de vazadouros”, produzido pela Cooperação para a Proteção do Clima na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (ProteGEER, 2021), os impactos ambientais causados pelos vazadouros dependem dos diversos tipos de resíduos dispostos ao longo do tempo, bem como das condições específicas do solo local e de seu entorno.

Para cada vazadouro, existem diversas soluções de remediação possíveis que demandam levantamentos e estudos específicos para orientar a definição das medidas adequadas e viáveis a serem adotadas para este fim.

Entretanto, vale destacar que, toda área que constitui um vazadouro ativo ou inativo, deve ser considerada como área contaminada em função, em especial, dos danos ambientais causados pela percolação de chorume pelo solo ao longo do período de disposição (e pós encerramento), contaminando solo, água subterrânea, água superficial e impactando a qualidade ambiental do entorno.

Desta forma, o gerenciamento do encerramento e da remediação dos vazadouros na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro se funde ao gerenciamento das áreas contaminadas do Estado. Destaca-se que o gerenciamento das áreas contaminadas é uma prática essencial

para lidar com locais onde a presença de substâncias químicas ou agentes poluentes representa riscos potenciais à saúde humana e ao ecossistema.

A Resolução CONAMA 420, promulgada em 2009, estabelece as diretrizes e os critérios técnicos para a gestão e o gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil. À luz da referida Resolução, podem ser definidas as áreas contaminadas como aquelas onde há presença ou suspeita de contaminação causada por substâncias químicas ou organismos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Essas substâncias podem ser provenientes de atividades industriais, agrícolas, mineradoras, disposição de resíduos, entre outras. O gerenciamento adequado dessas áreas visa minimizar os impactos negativos, recuperar o local e possibilitar sua reutilização segura.

A Resolução CONAMA 420/2009 estabelece um conjunto de etapas sequenciais para o gerenciamento de áreas contaminadas em nosso país. Essas etapas são fundamentais para o entendimento, a investigação e a remediação dessas áreas, dividindo-se em:

Avaliação Preliminar: A primeira etapa consiste na realização de uma caracterização preliminar da área contaminada. Nessa fase, são coletadas informações históricas, dados sobre as atividades passadas e atuais no local e evidências visuais e olfativas de contaminação. O objetivo é identificar a necessidade de uma investigação mais aprofundada.

Investigação Confirmatória: A investigação confirmatória tem como objetivo confirmar a presença e a extensão da contaminação. Nessa etapa, são realizadas coletas de amostras de solo, água e ar, para a realização de análises laboratoriais. Os resultados obtidos permitem identificar os tipos de contaminantes presentes, suas concentrações e sua distribuição no local.

Avaliação de Risco: Com base nos dados da investigação confirmatória, é realizada a avaliação de risco. Essa etapa busca analisar os efeitos potenciais da contaminação na saúde humana e no meio ambiente. São

considerados fatores como a exposição humana, a toxicidade dos contaminantes e a sensibilidade dos ecossistemas afetados.

Plano de Intervenção: Com base nos resultados da avaliação de risco, é elaborado o plano de intervenção. Esse plano define as estratégias e as medidas a serem adotadas para o controle, remediação e monitoramento da área contaminada. Nele são estabelecidas metas de remediação, tecnologias a serem utilizadas, prazos e recursos necessários. O plano de intervenção deve ser elaborado de forma participativa, envolvendo os diversos atores interessados, como proprietários, órgãos ambientais e especialistas.

Implementação das Medidas de Controle e Remediação: Na etapa de implementação, são colocadas em prática as medidas definidas no plano de intervenção. Isso envolve a seleção e a aplicação das tecnologias de remediação mais adequadas para tratar os contaminantes presentes na área. Também são adotadas medidas de controle para evitar a propagação da contaminação durante o processo de remediação.

Monitoramento: Após a implementação das medidas de controle e remediação, é necessário realizar o monitoramento contínuo da área contaminada. O objetivo é verificar a eficácia das ações adotadas e acompanhar a evolução dos indicadores de contaminação ao longo do tempo. O monitoramento envolve a coleta regular de amostras e a realização de análises laboratoriais para avaliar a qualidade do solo, da água e do ar.

Encerramento: Por fim, quando os critérios estabelecidos no plano de intervenção forem atendidos e a área estiver em conformidade com os padrões estabelecidos, é possível considerar o encerramento do processo de gerenciamento de áreas contaminadas. Nessa etapa, são elaborados relatórios finais e emitidas declarações de reabilitação ambiental, atestando a recuperação e a segurança da área para sua reutilização.

Desta forma, é possível compreender que o gerenciamento de áreas contaminadas é um processo sistemático e abrangente que busca proteger a saúde humana e o meio ambiente.

As etapas descritas permitem uma abordagem integrada para a identificação, investigação, remediação e monitoramento de áreas contaminadas, inclusive aquelas contaminadas por disposição final inadequada de RSU.

É fundamental que essas etapas sejam seguidas de forma rigorosa e que haja o envolvimento de diversos atores para garantir resultados efetivos na gestão desses locais.

Destaca-se que a aplicação adequada das diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA 420/2009 é essencial para promover a reabilitação ambiental e a sustentabilidade dessas áreas.

O gerenciamento de áreas contaminadas também requer considerações éticas e legais. É fundamental garantir a transparência e a participação pública ao longo do processo, assegurando que todos os atores tenham a oportunidade de contribuir e expressar suas preocupações. Além disso, é necessário cumprir as regulamentações ambientais vigentes e promover a responsabilidade social e ambiental das empresas envolvidas.

A Resolução CONAMA 420/2009 recomenda aos órgãos ambientais competentes que tornem públicas em seus portais as informações sobre as áreas contaminadas existentes em seus territórios, de acordo com as diferentes etapas de gerenciamento, sendo elas:

- Área com potencial de contaminação (AP);
- Área Suspeita de Contaminação (AS);
- Área Contaminada sob Investigação (AI);
- Área Contaminada (AC);
- Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR); e
- Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR).

De acordo com o Guia de Elaboração de Planos de Intervenção para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas, produzido no ano de 2014 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em conjunto com o Governo do Estado de São Paulo e com Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), na fase de identificação da contaminação são identificadas as áreas suspeitas de contaminação (AS) com base em estudo da avaliação preliminar.

A identificação deverá ser seguida da realização do estudo de investigação confirmatória, se observados indícios da presença de contaminação ou condições que possam representar perigo.

O desenvolvimento da Investigação Confirmatória possibilitará classificar a área de interesse como contaminada sob investigação (AI), quando comprovadamente constatada a presença de concentrações no solo e ou nas águas subterrâneas das substâncias químicas de interesse acima dos valores de referência.

Caso a contaminação não seja constatada, a área será classificada como Área com Potencial de Contaminação (AP).

Caso ao final da investigação confirmatória a área seja classificada como AI, a fase de reabilitação da área deve ser iniciada.

Esta etapa é iniciada pelo estudo de investigação detalhada, no qual dados detalhados sobre o uso da área e adjacências, processo produtivo, meio físico e contaminação, são obtidos com objetivo de estabelecer o entendimento da distribuição e mapeamento espacial da contaminação, bem como sua dinâmica no meio físico (IPT et al., 2014).

A investigação detalhada deverá subsidiar o estudo de avaliação de risco à saúde humana que tem como objetivo a identificação e quantificação dos riscos à saúde de potenciais receptores quando estes estão expostos à contaminação previamente investigada a partir de cenários de exposição padronizados.

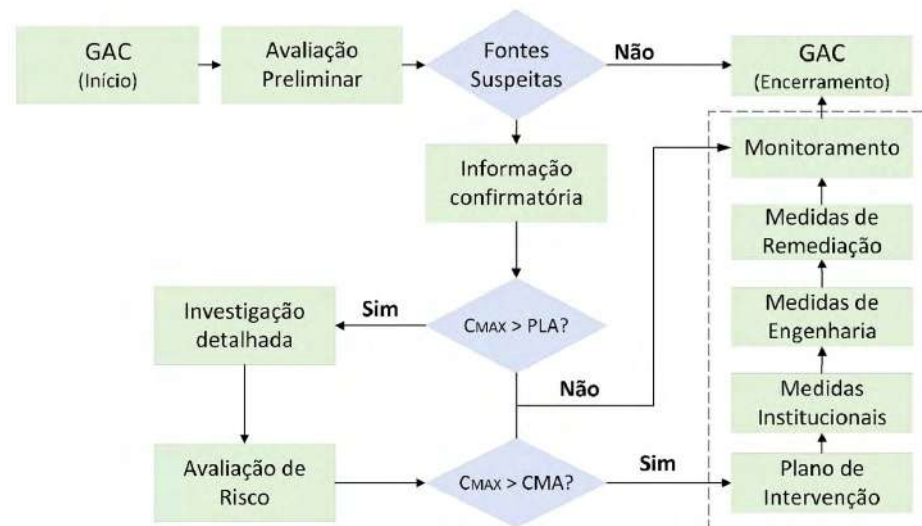
Ao fim dessa etapa, quando for constatada a existência de risco à saúde humana acima do risco aceitável imposto pela legislação vigente a área será classificada como Área Contaminada sob Intervenção (ACI), caso o risco não seja constatado a área será classificada como Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR) (IPT et al., 2014).

Ainda na fase de reabilitação da área, após a avaliação de risco, deve ser desenvolvido o plano de intervenção. Nele serão definidas as medidas de intervenções a serem aplicadas na área de interesse com objetivo de controlar a exposição de um receptor a uma contaminação e ou minimizar o risco a níveis aceitáveis.

Estas medidas podem ser de contenção e controle do tipo institucional (MI), de engenharia (ME) ou de redução de massa de contaminante do tipo remediação (MR). Também devem ser consideradas as medidas de monitoramento (MM) para que se avalie o desempenho das medidas de intervenção, considerando o uso atual e futuro da área.

Ao fim do processo, quando o risco for considerado tolerável, a área deverá ser classificada como Área Reabilitada para uso declarado (AR). De acordo com IPT et al. (2014), o fluxograma a seguir ilustra as etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), conforme anteriormente descrito:

Figura 50: Fluxograma de Gerenciamento de Áreas Contaminadas



Fonte: Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas. IPT, 2014

Detalhes da execução técnica de cada etapa do gerenciamento de áreas contaminadas podem ser obtidos na ABNT/NBR 15.515 – Passivo ambiental em solo e água subterrânea, Parte 1: “Avaliação Preliminar”, Parte 2: “Investigação Confirmatória” e Parte 3: “Investigação Detalhada”, e na ABNT/NBR 16209 – “Avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas” (IPT et al., 2014).

À luz dos conceitos apresentados, os vazadouros ativos ou inativos existentes na RMRJ que ainda não foram efetivamente investigados, deveriam ser classificados como Áreas Suspeitas de Contaminação (AS) e seguir os ritos estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 para a sua efetiva reabilitação. A prática da disposição final inadequada de RSU em solo não traz indícios, mas sim convicções quanto à contaminação, restando apenas apurar os efeitos socioambientais da contaminação e a extensão dos danos causados.

5.1. TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSPEITAS E CONTAMINADAS

A investigação para remediação tem como finalidade oferecer subsídios para a concepção e detalhamento de um projeto de remediação, que seja tecnicamente adequado, legalmente cabível e economicamente viável, para cada situação de contaminação. Esse processo visa prevenir danos presentes ou futuros ao meio ambiente, à saúde humana e segurança pública, utilizando um rol de técnicas e métodos destinados para este fim.

A escolha das técnicas apropriadas depende, basicamente, do tipo de resíduo que foi disposto irregularmente, das características fisiográficas do local da disposição irregular e dos objetivos do estudo a ser realizado. Abaixo, é possível listar as principais técnicas adotadas para o estudo e identificação de áreas suspeitas e contaminadas por disposição de resíduos:

Levantamento Histórico e Investigação Documental: Essa técnica envolve a coleta de informações históricas sobre o local, incluindo registros de atividades industriais, agrícolas ou outros tipos de atividades que possam ter gerado resíduos. A análise de documentos, como registros de licenciamento, relatórios de auditoria ambiental e mapas antigos, pode fornecer indícios sobre a presença de disposição inadequada de resíduos.

Investigação de Campo e Mapeamento Geológico: A investigação de campo consiste em visitas ao local para identificar possíveis sinais de contaminação, como mudanças nas características do solo, alterações na vegetação, odores ou manchas suspeitas. O mapeamento geológico pode auxiliar na identificação de camadas geológicas que possam facilitar a migração de contaminantes.

Amostragem de Solo, Água e Ar: A coleta de amostras de solo, água e ar é uma técnica fundamental para identificar e quantificar a presença de contaminantes. Essas amostras são analisadas em laboratório para determinar a presença e concentração de substâncias químicas nocivas.

Técnicas de amostragem incluem trincheiras, sondagens, poços de monitoramento e amostragem de vapores do solo.

Geofísica: A geofísica é uma técnica que utiliza métodos não invasivos para investigar a subsuperfície do solo. Alguns métodos geofísicos, como a resistividade elétrica, a magnetometria e a sísmica de reflexão, podem ajudar a identificar anomalias que indiquem a presença de resíduos enterrados.

Sensoriamento Remoto: O sensoriamento remoto utiliza imagens de satélite, fotografias aéreas e dados coletados por sensores para detectar alterações na superfície do solo, como mudanças na cobertura vegetal, manchas ou descoloração. Essa técnica pode fornecer informações preliminares sobre áreas suspeitas que merecem uma investigação mais detalhada.

Análise de Indicadores Biológicos: A análise de indicadores biológicos, assim como a presença de espécies de plantas e animais tolerantes a ambientes contaminados, pode indicar a presença de resíduos e contaminantes. Esses indicadores biológicos, conhecidos como bioindicadores, podem ajudar na identificação de áreas potencialmente contaminadas.

Modelagem Computacional: A modelagem computacional é uma ferramenta poderosa para simular a dispersão de contaminantes no solo e na água. Com base em parâmetros e dados coletados, modelos matemáticos podem prever a migração dos contaminantes e auxiliar na delimitação de áreas potencialmente afetadas.

Testes de Permeabilidade: Os testes de permeabilidade são realizados para avaliar a capacidade do solo de permitir a passagem de contaminantes. Essas informações são úteis para identificar a extensão da contaminação e a direção do fluxo de contaminantes.

Análise de Isótopos e Marcadores Químicos: A análise de isótopos estáveis e marcadores químicos pode ser usada para identificar a origem

dos contaminantes. Essas técnicas permitem rastrear a fonte de poluentes e determinar se a contaminação é causada por atividades humanas ou se é de origem natural.

Estudos de Hidrogeologia: A hidrogeologia estuda a distribuição e o movimento da água subterrânea. Por meio de técnicas como testes de bombeamento, medição de níveis de água e modelagem hidrogeológica, é possível compreender como os contaminantes se deslocam através do lençol freático e identificar áreas suscetíveis à contaminação.

Investigação de Gases do Solo: A análise dos gases presentes no solo, como metano, dióxido de carbono e compostos voláteis, pode fornecer indícios de atividade microbiana relacionada à degradação de resíduos e presença de contaminantes.

Análise de Microrganismos: A identificação de microrganismos específicos presentes no solo ou na água pode indicar a presença de contaminantes orgânicos e a capacidade natural de biodegradação desses compostos.

Análise de Produtos Químicos e Toxinas: A análise de produtos químicos específicos, como pesticidas, metais pesados e compostos orgânicos, permite identificar a presença e a concentração desses contaminantes em amostras coletadas do solo, água ou ar.

É importante ressaltar que essas técnicas são frequentemente utilizadas em combinação, permitindo a obtenção de uma compreensão mais abrangente e precisa das áreas suspeitas e contaminadas por disposição de resíduos. A integração de múltiplas técnicas ajuda a validar os resultados e a tomar decisões de forma mais consciente das necessidades de ações de remediação.

Destaca-se a que é fundamental que essas técnicas sejam conduzidas por profissionais especializados, seguindo os protocolos e diretrizes estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes. Além disso, a seleção

das técnicas deve levar em consideração as características específicas do local, como o tipo de resíduo, a geologia, a hidrologia, as atividades passadas e presentes no local, bem como os custos associados.

Especificamente para os RSU, entende-se que devam ser consideradas, minimamente as seguintes técnicas de investigação: Levantamento Histórico e Investigação Documental; Investigação de Campo e Mapeamento Geológico; Sensoriamento Remoto; Amostragem de Solo, Água e Ar; Estudos de Hidrogeologia e Testes de Permeabilidade.

Caso haja a suspeita de codisposição de RSU com RSI (Resíduos Sólidos Industriais) e RSS, o rol de técnicas de investigação deve ser ampliado a partir da análise de especialista, buscando considerar outros contaminantes e riscos em potencial.

5.2. TECNOLOGIAS PARA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

De acordo com o Guia de Elaboração de Planos de Intervenção para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (2014), as técnicas de remediação de áreas contaminadas subdividem-se em:

- técnicas de tratamento, destinadas à remoção ou à redução da massa de contaminantes; e
- técnicas de contenção e isolamento, destinadas a prevenir a migração dos contaminantes (IPT et al., 2014).

Entretanto, antes de explorar as técnicas de remediação de áreas contaminadas, é importante caracterizar alguns conceitos que nortearão as próximas etapas do presente estudo.

De acordo com o Guia mencionado, as tecnologias de remediação também podem ser classificadas segundo o local de sua aplicação de três maneiras distintas:

- Na área onde ocorre a contaminação (on site), sem a remoção física do meio contaminado (in situ);
- Na área onde ocorre a contaminação (on site), com a remoção física do meio contaminado (ex situ);
- Fora da área onde ocorre a contaminação (off site).

Conforme descrito, de acordo com a Resolução CONAMA 420/2009, o conceito de contaminação faz menção à presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido.

A concentração em cada ambiente é definida com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico.

Já o conceito de remediação é entendido como uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando a remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes.

Entretanto, diante do contexto do presente estudo, que visa apurar soluções para as áreas degradadas pela disposição inadequada de RSU, julga-se pertinente caracterizar o conceito de reabilitação. A reabilitação reúne ações de intervenção realizadas em uma área contaminada visando atingir um risco tolerável, para o uso declarado ou futuro de uma determinada área.

Dessa forma, a avaliação preliminar deve ser entendida como a avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área.

Já a investigação confirmatória é etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação.

A investigação detalhada é etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso.

a. Quanto às técnicas de remediação de áreas contaminadas por resíduos:

Na literatura, existem dezenas de técnicas potenciais para a remediação de áreas contaminadas por resíduos, a depender da tipologia dos resíduos dispostos, da forma de disposição e do orçamento disponibilizado para a remediação.

As tabelas nas folhas a seguir organizam, a partir das informações coletadas pelo DOD ETTC (1994), CLARINET (2002) apud IPT et al. (2014) as tecnologias de remediação de áreas contaminadas pela disposição final inadequada de resíduos, através da definição do tipo de tratamento (biológico, físico-químico, térmico e outros), da indicação da tecnologia, da descrição sucinta da tecnologia, da indicação do meio tratado (solo/sedimento/lama ou água subterrânea/água superficial/lixiviado) e a indicação da aplicação da tecnologia (in situ ou ex situ).

Conforme IPT et al. (2014), os principais fatores que irão influenciar na escolha do processo de remediação estão ligados aos parâmetros geotécnicos, às condições de equilíbrio físico-químico e biológico do compartimento do meio físico de interesse, às características físico-químicas das substâncias químicas de interesse para remediação e aos custos para

viabilizar a solução de remediação. Para a seleção e integração de tecnologias, devem ser utilizados mecanismos eficazes de transporte de contaminantes para chegar ao esquema de tratamento que possua o maior desempenho, no menor custo.

b. Quanto à adoção de hipóteses simplificadoras para a escolha da solução de remediação:

Para avançar no escopo do item em questão, será preciso considerar algumas hipóteses simplificadoras. A primeira é que todos os vazadouros ativos ou inativos existentes na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro que ainda não foram efetivamente investigados pelos órgãos ambientais competentes sejam considerados Áreas Suspeitas de Contaminação (AS).

A segunda hipótese é que, em função do volume de RSU disposto ao longo dos anos nos vazadouros ativos e inativos e dos elevados custos de escavação e transporte associados, sejam consideradas apenas técnicas

de contenção e isolamento na área onde ocorreu a contaminação (on site). Ou seja, sem a remoção física do meio contaminado (in situ) para a remediação das áreas contaminadas por disposição irregular de RSU na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.

Desta forma restam as seguintes técnicas de tratamento potenciais:

- Tratamento Biológico:
 - Biorremediação
 - Bioventing
 - Co-Metabólicos
 - Enriquecimento em nitrato
 - Enriquecimento em oxigênio por Air Sparring
 - Enriquecimento em oxigênio por peróxido de hidrogênio
 - Biorreatores

Tabela 23: Tecnologias Biológicas de Remediação de Áreas Contaminadas.

Tipo de tratamento: Biológico					
Tecnologia	Descrição	Meio Tratado		Aplicação	
		Solo / sedimento / lama	Água subterrânea / água superficial / lixiviado	In situ	Ex situ
Biorremediação	Estimulação da atividade dos microrganismos que ocorrem naturalmente na área contaminada para reforçar a degradação biológica dos contaminantes orgânicos	x		x	
Bioventing	Fornecimento de oxigênio para solos contaminados não saturados pelo movimento forçado de ar (extração ou injeção) para aumentar a concentração de oxigênio e estimular a biodegradação	x		x	

Tabela 23: Tecnologias Biológicas de Remediação de Áreas Contaminadas. (continuação)

Tipo de tratamento: Biológico					
Tecnologia	Descrição	Meio Tratado		Aplicação	
		Solo / sedimento / lama	Água subterrânea / água superficial / lixiviado	In situ	Ex situ
Compostagem (considerando a escavação)	O solo contaminado é escavado e misturado com materiais orgânicos, tais como lascas de madeira, resíduos animais e vegetais com o objetivo de aumentar a porosidade e o conteúdo orgânico da mistura a ser decomposta	x			x
Tratamento biológico controlado da fase sólida (considerando a escavação)	Constitui-se de pilhas de solo, que funcionam como células de tratamento. Nas células realiza-se controle mais rigoroso da volatilização, lixiviação e escoamento superficial do material contaminado	x			x
Landfarming (considerando a escavação)	Degradação biológica de resíduos em uma camada superior de solo, que é periodicamente revolvida para promover aeração	x			x
Processos co-metabólicos	Uma tecnologia emergente, envolve a injeção de água contendo metano e oxigênio dissolvidos em água subterrânea para aumentar a degradação biológica metanotrófica		x	x	
Enriquecimento em nitrato	O nitrato é circulado através da água subterrânea contaminada como um aceptor de elétrons alternativo para a oxidação biológica de contaminantes orgânicos através de microrganismos		x	x	
Enriquecimento em oxigênio por <i>Air Sparging</i>	Ar é injetado sob pressão, abaixo do nível d'água para aumentar a concentração de oxigênio na água subterrânea e para aumentar a taxa de degradação biológica de contaminantes orgânicos por microrganismos que ocorrem naturalmente		x	x	
Enriquecimento em oxigênio por <u>peróxido de hidrogênio</u>	Uma solução diluída de peróxido de hidrogênio é circulada através da água subterrânea contaminada para aumentar o teor de oxigênio e aumentar a taxa de biodegradação aeróbia de contaminantes orgânicos por microrganismos		x	x	

Tabela 23: Tecnologias Biológicas de Remediação de Áreas Contaminadas. (continuação)

Tipo de tratamento: Biológico					
Tecnologia	Descrição	Meio Tratado		Aplicação	
		Solo / sedimento / lama	Água subterrânea / água superficial / lixiviado	<i>In situ</i>	<i>Ex situ</i>
Fitorremediação	A fitorremediação utiliza vegetação, enzimas derivadas de vegetação e outros processos complexos para isolar, destruir, transportar e remover contaminantes orgânicos de solos contaminados	x		x	x
Biorreatores	A água subterrânea é bombeada para a superfície e, assim, os contaminantes são colocados em contato com microrganismos em reatores de crescimento biológico. Nos sistemas em suspensão, como lodos ativados, a água subterrânea contaminada é circulada em uma bacia de aeração. Em sistemas conectados, como reatores biológicos rotativos ou filtros de escoamento, os microrganismos passam a se desenvolver sobre uma matriz de suporte inerte		x	x	x

Fonte: DOD ETTC (1994), CLARINET (2002) apud IPT et al. (2014).

Tabela 24: Tecnologias Físico-Químicas de Remediação de Áreas Contaminadas.

Tipo de tratamento: Físico-Químico					
Tecnologia	Descrição	Meio Tratado		Aplicação	
		Solo / sedimento / lama	Água subterrânea / água superficial / lixiviado	In situ	Ex situ
Fraturamento pneumático	O ar pressurizado é injetado abaixo da superfície para desenvolver rachaduras em terrenos de baixa permeabilidade e excessivamente consolidados, abrindo novas passagens para aumentar a eficácia de muitos dos processos in situ e aumentar a eficiência da extração	x		x	
Lavagem do solo (<i>in situ</i>)	Injeção ou infiltração de uma solução contendo um aditivo em uma zona saturada contaminada, seguida da aplicação de um gradiente hidráulico para extração da água subterrânea e do efluente (solução com os contaminantes), para tratamento fora do terreno e/ou reinjeção. As soluções podem consistir em surfactantes, co-solventes, ácidos, bases, solventes ou água limpa. Pode ser considerada como uma versão in situ da lavagem do solo	x		x	
Lavagem do solo (<i>ex situ</i>)	Contaminantes adsorvidos nas partículas finas do solo são separadas do solo por um sistema de base aquosa a partir do tamanho das partículas. A ação da água de lavagem pode ser aumentada com o uso de um agente de lixiviação básico, surfactante, ajuste de pH, ou quelante para ajudar a remover os materiais orgânicos e metais pesados	x			x
Extração de vapores do solo	Atua promovendo a circulação do ar através do subsolo e a remoção dos compostos volatilizados por esse processo. O processo inclui um sistema de tratamento de efluentes gasosos. Esta tecnologia é também conhecida como extração de vapores do solo propriamente ditos ou SVE (Soil Vapor Extraction) e o Air Sparging. SVE e o Air Sparging atuam com a injeção de ar (ou oxigênio), sendo ambos os métodos considerados como técnicas inovadoras	x		x	x
Solidificação e estabilização	Os contaminantes são fisicamente ligados ou presos dentro de uma massa estabilizada (solidificação), ou são induzidas reações químicas entre o agente de estabilização e contaminantes para reduzir a sua mobilidade (estabilização)	x		x	x
Redução e oxidação química	Converte quimicamente perigosos em não perigosos ou compostos menos tóxicos que são mais estáveis, menos móveis, e/ou inertes. Os agentes oxidantes mais utilizados são o ozônio, peróxido de hidrogênio, hipocloritos, cloro e dióxido de cloro	x	x	x	x

Tabela 24: Tecnologias Físico-Químicas de Remediação de Áreas Contaminadas. (continuação)

Tipo de tratamento: Físico-Químico					
Tecnologia	Descrição	Meio Tratado		Aplicação	
		Solo / sedimento / lama	Água subterrânea / água superficial / lixiviado	In situ	Ex situ
Decomposição por desalogenação com catalisadores básicos	O solo contaminado é moído, peneirado e misturado com NaOH e catalisadores. A mistura é aquecida num reator rotativo para desalogenar e volatilizar parcialmente os contaminantes	x			x
Air Sparging	Compostos orgânicos voláteis são retirados da água subterrânea pelo aumento da área de superfície da água contaminada exposta ao ar. Métodos de aeração incluem torres, aeração difusa, aeração de bandeja e aeração pulverizada		x		x
Filtragem	A filtragem isola as partículas sólidas pela passagem de um fluxo de fluido através de um meio poroso. A força motriz é a gravidade ou uma diferença de pressão ao longo do meio de filtragem		x		x
Troca de íons	A troca de íons remove íons da fase aquosa pela troca de íons inóculos no meio da troca		x		x
Adsorção de carbono em fase líquida	A água subterrânea é bombeada através de uma série de colunas ou recipientes que contenham carvão ativado nos quais os contaminantes orgânicos dissolvidos são adsorvidos. É necessária a substituição ou regeneração periódica do carbono saturado		x		x
Precipitação	Este processo transforma contaminantes dissolvidos em um sólido insolúvel, facilitando a remoção subsequente do contaminante da fase líquida por sedimentação ou filtração. O processo geralmente utiliza ajuste do pH, adição de um precipitante químico e floculação		x		x
Oxidação UV	Radiação Ultravioleta (UV), ozônio e/ou peróxido de hidrogênio são utilizados para destruir contaminantes orgânicos em um tanque de tratamento. Uma unidade de destruição por ozônio é utilizada para tratar efluentes gasosos a partir do tanque de tratamento		x		x

Fonte: DOD Fonte: DOD ETTC (1994), CLARINET (2002) apud IPT et al. (2014).

Tabela 25: Tecnologias Térmicas de Remediação de Áreas Contaminadas

Tipo de tratamento: Térmico					
Tecnologia	Descrição	Meio Tratado		Aplicação	
		Solo / sedimento / lama	Água subterrânea / água superficial / lixiviado	<i>In sito</i>	<i>Ex situ</i>
Extração de vapor do solo forçada termicamente	Injeção de ar/vapor quente ou aquecimento por rádio frequência são usados para aumentar a mobilidade de compostos voláteis e facilitar sua extração. O processo inclui um sistema para manipulação dos gases extraídos	x		x	
Dessorção térmica a alta <u>temperatura</u>	Os resíduos são aquecidos a 315 – 540 °C para volatilizar a água e os contaminantes orgânicos. Um sistema de coleta de gases ou sistema de vácuo transporta água e os orgânicos volatilizados para um sistema de tratamento de gases	x			x
Combustão	São usadas altas temperaturas, entre 870 e 1.200 °C para promover a combustão (presença de oxigênio) de constituintes orgânicos em resíduos perigosos	x			x
Descontaminação com gás quente	O processo envolve o aumento da temperatura do material contaminado por um período pré-determinado de tempo. O gás efluente é tratado em um sistema de pós-combustão para destruir todos os contaminantes volatilizados	x			x
Pirólise	A decomposição química de materiais orgânicos é induzida por calor na ausência de oxigênio. Os materiais orgânicos são transformados em componentes gasosos e em um resíduo sólidos (coque), contendo carbono fixo e cinzas	x			x
Vitrificação	Solos e lamas contaminadas são derretidos a uma temperatura elevada para formar um vidro e estrutura cristalina, com baixas características de lixiviação	x		x	x

Fonte: DOD ETTC (1994), CLARINET (2002) apud IPT et al. (2014).

Tabela 26: Outras Tecnologias de Remediação de Áreas.

Tipo de tratamento: Outros					
Tecnologia	Descrição	Meio Tratado		Aplicação	
		Solo / sedimento / lama	Água subterrânea / água superficial / lixiviado	In situ	Ex situ
Escavação e disposição	O material contaminado é removido e transportado para fora da área contaminada até aterros apropriados para a disposição do material escavado. Ou são aplicadas técnicas de engenharia para reorganização segura dos resíduos, contenção e tratamento dos contaminantes. Pode haver necessidade de pré-tratamento do material	x		x	x
Atenuação natural	Processos naturais de subsuperfície, tais como diluição, volatilização, biodegradação, adsorção e reações químicas com materiais de subsuperfície, são capazes de reduzir as concentrações dos contaminantes para níveis aceitáveis	x	x	x	

Fonte: Adaptado de DOD ETTC (1994).

- Tratamento Físico-Químico:

- Fraturamento Pneumático
- Lavagem de Solo (In situ)
- Extração de vapores do solo
- Solidificação e Estabilização
- Redução e Oxidação Química

- Tratamentos Térmicos:

- Extração de vapor do solo forçada termicamente
- Vitrificação

- Outros Tratamentos:

- Escavação e disposição
- Atenuação natural monitorada

c. Quanto às particularidades das áreas contaminadas pela disposição de RSU:

As áreas degradadas e contaminadas por RSU possuem algumas particularidades a serem consideradas antes da definição das melhores tecnologias de remediação, sendo elas:

- O principal indutor da contaminação do solo e das águas (superficial e subterrânea) é o chorume, desta forma, as características químicas do chorume definirão os poluentes a serem analisados e controlados;

- Os aspectos quantitativos do chorume gerado são diretamente proporcionais à precipitação, à área de disposição final, ao nível de compactação dos RSU dispostos e inversamente proporcional ao tempo;
- Os aspectos qualitativos do chorume gerado estão diretamente vinculados ao clima da localidade (chuvas, escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração e temperatura), aos resíduos dispostos (tipologia, composição, densidade e teor de umidade inicial) e à forma de disposição (permeabilidade, idade do aterro e profundidade).
- Os riscos geotécnicos não são desprezíveis em função da gravimetria típica dos RSU e dos recalques diferenciais gerados pela degradação da fração biológica ao longo do tempo, com a consequente emissão de biogás e de chorume.

Face ao exposto, vale detalhar um pouco mais as características gerais do chorume. Segundo Vilhena (2010), o termo “chorume” refere-se a um líquido com uma composição amplamente variável, que adquire propriedades poluentes devido à sua interação com uma massa de resíduos sólidos em processo de decomposição.

A norma NBR 8.419/1992 esclarece que o termo “lixiviação” se refere ao deslocamento ou carreamento de certas substâncias presentes nos resíduos por meio de um líquido. É importante notar que o termo “chorume” também é conhecido por outros nomes, como “lixiviado” ou “percolado”.

Tecnicamente, a composição do chorume é considerada variável, pois depende da fase do processo de decomposição em que se encontram os resíduos no aterro. De acordo com a literatura técnica internacional, esse processo acontece em três fases distintas: aeróbia, acetogênica e metanogênica.

No decorrer dessas etapas, as substâncias químicas ali presentes estão propensas a serem carreadas ou arrastadas pelo líquido que escoa, ou seja, passam pelo processo de lixiviação. Reações bioquímicas acontecem dentro da massa de resíduos orgânicos em decomposição alterando as substâncias e tornando o líquido ainda mais complexo.

A primeira fase de decomposição, a aeróbia, pode ser considerada a mais curta, pois depende da quantidade de oxigênio e da profundidade do aterro. A decomposição é feita através de microrganismos aeróbios que são aqueles que necessitam de oxigênio para decompor a matéria orgânica.

Nessa fase, uma grande quantidade de calor é liberada, chegando a temperaturas superiores às do ambiente no qual o aterro está localizado. De acordo com diversos autores e pesquisadores do tema, o lixiviado produzido nessa fase tende a possuir elevadas concentrações de sais de alta solubilidade.

À medida que a concentração de oxigênio vai diminuindo, dá-se início à atividade e prevalectimento de microrganismos anaeróbios facultativos, também chamados de bactérias acetogênicas.

É iniciada então a segunda fase, acetogênica. Primeiro ocorre a liquefação ou hidrólise, onde o material orgânico complexo é transformado em compostos dissolvidos ou matéria orgânica volátil. Em seguida, acontece a fermentação. Nela, as bactérias adquirem energia através da transformação ocorrida na subfase anterior.

Esta fase pode se estender por alguns anos e é marcada pela diminuição do pH para valores entre 4 e 6. Isso se dá por consequência das significativas quantidades de compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, que associados ao líquido percolante tornam a mistura ácida, contribuindo também para a solubilização de materiais inorgânicos. Além disso, o baixo pH causa a liberação de gases responsáveis por maus odores como o gás sulfídrico e a amônia.

Outros índices relevantes a serem apontados são a Demanda Bioquímica de Oxigênio e a Demanda Química de Oxigênio, respectivamente, DBO e DQO. O primeiro trata-se de um indicador que determina a concentração de matéria orgânica biodegradável através da demanda de oxigênio em determinado volume líquido.

O segundo indica a quantidade de compostos orgânicos com base no quanto de oxigênio foi consumido para oxidar a matéria orgânica (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997). A relação DBO/DQO aponta valores que definem a biodegradabilidade do líquido, este tópico será melhor explorado oportunamente.

A fase metanogênica é a última etapa no processo de geração do chorume. É nela que as condições anaeróbias se consolidam. São produzidos metano e dióxido de carbono por meio dos compostos orgânicos simples formados anteriormente que passaram a ser consumidos por bactérias estritamente anaeróbias (metanogênicas).

As bactérias desta fase são altamente sensíveis às mudanças de ambiente. Essa sensibilidade pode prejudicar o crescimento de sua população, afetando também o processo de decomposição. O desenvolvimento ideal se dá quando o pH é neutro, com valores que vão de 6,6 a 7,3.

Na fase acetogênica, o pH é ácido, porém, com o consumo dos ácidos voláteis simples, ele sobe e se torna neutro. Por consequência, a capacidade do chorume de conduzir corrente elétrica diminui, assim como a DBO. Com isso, a razão DBO/DQO também reduz, o que denota baixa biodegradação do líquido.

Isso se deve à presença de substâncias como os ácidos fúlvicos e húmicos, também responsáveis pela cor escura do percolado. O quadro a seguir exhibe dados típicos das características de chorume para aterros novos e a variação de concentração desses constituintes para aterros consolidados. É possível observar o nível de variabilidade de concentrações a partir dos resultados apresentados.

Tabela 27: Características Químicas Típicas do Chorume ao Longo do Tempo.

Constituintes (mg/L)	Aterro novo (menos de 2 anos)		Aterro consolidado (mais de 10 anos)
	Variação		Típico
DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio - 5 dias)	2.000–30.000	10.000	100–200
COT (Carbono Orgânico Total)	1.500–20.000	6.000	80–160
DQO (Demanda Química de Oxigênio)	3.000–60.000	18.000	100–500
Sólidos Suspensos Totais	200–2.000	500	100–400
Nitrogênio Orgânico	10–800	200	80–120
Nitrogênio Amoniacal	10–800	200	20–40
Nitrato	5–40	25	5–10
Fósforo Total	5–100	30	5–10
Ortofosfato	4–80	20	4–8
Alcalinidade (CaCO ₃)	1.000–10.000	3.000	200–1.000
pH	4,5–7,5	6	6,6–7,5
Dureza (CaCO ₃)	300–10.000	3.500	200–500
Cálcio	200–3.000	1.000	100–400
Magnésio	50–1.500	250	50–200
Potássio	200–1.000	300	50–400
Sódio	200–2.500	500	100–200
Cloro	200–3.000	500	100–400
Sulfato	50–1.000	300	20–50
Ferro Total	50–1.200	60	20–200

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e outros. Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado. 3.ed. São Paulo. 2014. 374 p.

A biodegradabilidade do chorume varia de acordo com a idade do aterro e pode ser verificada pela relação DBO5/DQO. Inicialmente esta relação é igual ou maior a 0,5, e valores entre 0,4 e 0,6 dão um indicativo que a matéria orgânica presente é altamente biodegradável. Em aterros mais antigos, a razão se mostra na faixa de 0,05 a 0,2, caracterizando os mesmos como de baixa biodegradabilidade. Nos aterros mais antigos a queda desta relação é devida a presença de ácidos fúlvicos e húmicos que não se biodegradam facilmente.

O chorume apresenta na sua composição compostos tóxicos, como amônia e metais pesados. Com relação às concentrações de nitrogênio, seja em estado bruto ou filtrado, sempre apresenta nitrogênio amoniacal. Segundo Kjeldsen & Christensen (2001), os constituintes do chorume podem ser divididos em quatro grupos:

- Matéria Orgânica Dissolvida (MDO), expressa como DQO ou Carbono Orgânico Total (COT), incluindo CH_4 , ácidos graxos voláteis (em particular na fase ácida) e muitos compostos recalcitrantes (húmicos e fúlvicos)
- Macronutrientes inorgânicos: Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Amônia, Ferro, Manganês, Cloretos, Sulfatos, Bicarbonatos e Fósforo.
- Metais potencialmente tóxicos: Cádmio, Cromo, Cobre, Chumbo, Níquel e Zinco.
- Compostos orgânicos xenobióticos que incluem uma variedade de hidrocarbonetos halogenados, compostos fenólicos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, além de outras substâncias com características tóxicas.

Outros componentes podem ser encontrados em menores concentrações, como o Boro, Arsênio, Selênio, Bário, Lítio, Mercúrio e Cobalto. Aproximadamente 20% dos elementos da tabela periódica estão tipicamente presentes no chorume, obviamente, em diferentes concentrações.

d. Quanto à nocividade do chorume:

Em função de suas características químicas, o chorume potencializa o processo de eutrofização de corpos hídricos. A eutrofização é um processo causador de poluição nas águas através da adição de fósforo e nitratos na água.

Na ecologia, a eutrofização da água é causada pelo excesso de nutrientes no ambiente aquático. É uma sobrecarga de poluentes que leva à floração, um processo no qual as algas e cianobactérias se multiplicam rapidamente devido à quantidade excessiva de nutrientes para alimentá-las (fosfatos e nitratos na água).

As algas formam uma camada densa e esverdeada na superfície, e impedem a luz de atingir a profundidade do rio ou lago em questão. Sem luz, os organismos que vivem em camadas inferiores na água não fazem a fotossíntese, o que reduz a quantidade de oxigênio disponível para manter os peixes e mamíferos aquáticos.

A morte destes animais retroalimenta este ciclo em função da decomposição de seus corpos. Os agentes decompositores de matéria se multiplicam no corpo hídrico em estado eutrófico, liberando toxinas que vão agravando o cenário de crise ambiental, inviabilizando o contato tóxico e a ingestão das águas em função dos enormes riscos à saúde.

Os efeitos deletérios dos nutrientes presentes no chorume, em especial o nitrogênio e suas variações químicas, não se restringem à promoção da eutrofização. O nitrato é tóxico, causando uma doença denominada metaemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato é reduzido a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul).

Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mg N-NO₃/L o valor máximo permitido pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde. Vale frisar que se trata de

um contaminante que também pode ter origem natural em função do processo de decomposição biológica da matéria orgânica nitrogenada, entretanto em condições ambientais muito particulares, pouco comuns.

A amônia é uma substância bastante letal para os peixes, sendo que muitas espécies destes animais não suportam concentrações acima de 5 mg/L (a Resolução CONAMA 430/2011 exige, que o efluente tratado possua concentrações inferiores à 20 mg/L).

Além disso a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente (DBO de segundo estágio).

Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é importante parâmetro de classificação das águas naturais e normalmente é utilizada na composição de índices de qualidade das águas.

As concentrações de metais pesados dependem do tipo de resíduo recebido e são teoricamente baixas no caso dos aterros de resíduos urbanos que não recebam resíduos com características diferentes dos RSU (aterros de codisposição com resíduos industriais).

e. Quanto à seleção de potenciais métodos de remediação para áreas contaminadas pela disposição irregular de RSU.

A partir das hipóteses simplificadoras anteriormente adotadas e das particularidades apresentadas sobre as áreas contaminadas pela disposição final de RSU, será iniciado o processo de seleção das técnicas mais promissoras para a remediação das áreas contaminadas pela disposição irregular de RSU (vazadouros ativos e inativos) existentes na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.

Considera-se que os vazadouros em questão ocupam áreas significativas (todas acima de 20.000 m²), inviabilizando a aplicação de técnicas de inoculação/sucção pontuais.

Concluída a síntese da seleção das técnicas adequadas, será iniciada então a análise técnica, considerando que:

- os vazadouros possuem grandes volumes de RSU e solo a serem tratados, em diferentes profundidades e idades de disposição;
- as técnicas de tratamento biológica e físico-química in situ são direcionadas aos casos em que há contaminação por poluentes específicos;
- os RSU possuem gravimetria diversa, composta por diversos materiais e componentes químicos com potencial de solubilização e lixiviação;
- a degradação biológica (natural) da fração orgânica do RSU gera, espontaneamente chorume e biogás;
- os riscos ambientais e de segurança da falta de gerenciamento adequado do biogás gerado nos vazadouros;
- a degradação biológica (natural) da fração orgânica do RSU provoca recalques diferenciais em função da acomodação do maciço sanitário;
- os riscos geotécnicos e de segurança da falta de gerenciamento adequado das movimentações horizontais e verticais dos vazadouros;
- o chorume é o vetor de contaminação mais significativo nas áreas de disposição irregular de RSU;
- a variabilidade química do chorume;
- a nocividade do chorume;
- o aumento da mobilidade dos contaminantes do chorume a partir da incidência pluviométrica sobre as áreas dos vazadouros;
- os riscos ambientais da falta de gerenciamento adequado do chorume gerado nas áreas dos vazadouros;

- as áreas dos vazadouros possuem diferentes características fisiográficas, variando sensivelmente quanto à profundidade dos lençóis, geomorfologia do relevo, tipo de solo, cobertura vegetal, proximidade de vizinhança etc.;
- em geral, os vazadouros estão localizados em locais de difícil acesso, em regiões socialmente sensíveis;
- os impactos sociais e ambientais da não remediação das áreas dos vazadouros;
- os riscos de estabilidade dos maciços sanitários não remediados;
- os riscos sociais e ambientais associados à não remediação das áreas dos vazadouros;
- as eventuais restrições orçamentárias para o investimento em ações de remediação das áreas ocupadas pelos vazadouros.

Independentemente da solução adotada, em todos os casos será necessário realizar obras de engenharia, com a realização de intervenções nas áreas para a realização de recobrimento, reconformação e retaludamento de maciços, bem como de instalação de redes de drenagem e queima de biogás, acumulação/tratamento de chorume e drenagem de águas pluviais;

Face ao exposto, conclui-se que a aplicação de técnicas de tratamento biológico, físico-químico e térmico para a remediação das áreas contaminadas pela disposição irregular de RSU não serão suficientes, a custos reduzidos, para a reabilitação efetiva das áreas hoje ocupadas pelos vazadouros (ativos e inativos) localizados na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.

Desta forma, recomenda-se que as Prefeituras ou empresas responsáveis pela gestão e pelo gerenciamento das áreas degradadas/contaminadas pela disposição irregular de RSU, foquem no desenvolvimento de projetos de remediação a partir das técnicas de escavação e disposição.

Dentre as técnicas de escavação e disposição, é possível identificar a remoção integral do maciço, a recuperação simples e a recuperação parcial. Outra estratégia a ser considerada é a atenuação natural a partir de intervenções mínimas de engenharia, a depender, em especial, do tempo desde o encerramento do vazadouro analisado.

IMPORTANTE: Cabe ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA), no âmbito de suas competências de comando e controle ambiental no Estado do Rio de Janeiro, realizar o devido licenciamento ambiental da remediação das áreas em questão. Isso se dá através de orientações para elaboração de projetos, aprovação dos projetos e da indicação das melhores técnicas para garantir o reestabelecimento da qualidade ambiental nestas áreas impactadas.

Também vale ressaltar que a responsabilidade de remediação dessas áreas pode ser ou não dos municípios onde se encontram. Nos vazadouros administrados por empresas privadas, estas possuem a responsabilidade da remediação, enquanto naqueles administrados pelo poder público, a responsabilidade é deste.

f. Técnica de Escavação e Disposição: Remoção dos Resíduos:

De acordo com o Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos (2010), uma das técnicas utilizadas para o encerramento de uma área degradada pela disposição inadequada de resíduos envolve a remoção e o transporte desses resíduos para outro local, previamente preparado e regularizado no órgão ambiental competente.

Essa alternativa só é viável quando a quantidade de resíduos a ser removida e transportada não é muito grande, pois essas atividades apresentam elevados custos e dificuldades operacionais, que podem inviabilizar economicamente o processo.

Além disso, o novo local de disposição de resíduos deverá ter características operacionais (lançamento, compactação etc.) superiores às do depósito original, além de estar regularmente licenciado pelo órgão ambiental competente.

A quantidade de resíduos a ser removida é uma questão de ampla relatividade, pois as prefeituras com maiores recursos orçamentários e com equipamentos adequados poderão remover quantidades julgadas por elas pequenas e que seriam grandes pelas administrações de menor capacidade.

A avaliação da viabilidade da remoção dos resíduos deve considerar ainda que a substituição dos locais seja vantajosa sob o ponto de vista ambiental, como nas seguintes circunstâncias:

- Remoção de um local onde não foram utilizados critérios técnicos para outra área previamente preparada como um aterro sanitário;
- Remoção de um local em área urbana ou em vias de expansão para uma área sem conflitos de ocupação, de preferência já degradada;
- Remoção de uma área vulnerável à contaminação para outra com menor restrição ambiental, dos pontos de vista geológico e geotécnico;

Segundo a FEAM (2010), a remoção dos resíduos é uma alternativa altamente recomendável quando o vazadouro estiver localizado em área de risco geológico ou geotécnico que possa significar perigo para a população e o meio ambiente, tais como:

- Escorregamento do depósito sobre residências localizadas em encostas íngremes,
- Assoreamento de nascentes,
- Possibilidade de ruptura do maciço em razão do empilhamento concentrado dos resíduos em pequenas áreas, com grande altura e inclinação.

Para as áreas de risco geológico ou geotécnico podem também ser aplicadas técnicas de engenharia, como a reconformação da geometria do depósito, criando-se arranjos mais estáveis para as plataformas de disposição de resíduos.

A adoção desse tipo de projeto deve prever um uso futuro apropriado para a área, evitando-se a ocupação por habitações ou outras instalações que possam colocar em perigo a população.

No entanto, tais procedimentos poderão ter custos bem mais elevados que a remoção dos resíduos. Em adição, deve-se considerar que os custos resultam da soma dos valores de escavação, deslocamento, lançamento, espalhamento e conformação na nova área, somados aos gastos adicionais de conformação, drenagem e proteção vegetal na antiga área (FEAM, 2010).

Paralelamente à remoção dos resíduos, deverá ser realizada uma avaliação da contaminação do solo e água subterrânea na área degradada, de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo órgão ambiental competente.

Caso na avaliação não tenha sido constatada a ocorrência de contaminação na área, deve ser realizada a sua recuperação com solo natural e revegetação com espécies da região, de acordo com um Plano de Recuperação elaborado por profissional habilitado e avaliado pelo órgão ambiental competente.

Caso a avaliação ainda indique a presença de contaminantes na área, o órgão ambiental competente deverá ser informado de imediato para que sejam definidas as ações visando ao gerenciamento da contaminação, bem como à reabilitação da área.

IMPORTANTE: Critérios adicionais poderão ser solicitados pelo órgão ambiental competente durante o rito de licenciamento ambiental.

g. Técnica de Escavação e Disposição: Recuperação Simples

De acordo com o Caderno Técnico da FEAM (2010), há algumas situações em que um conjunto de circunstâncias indica como mais sensatas as medidas de recuperação simplificadas, por meio do encapsulamento dos resíduos dispostos no vazadouro.

A técnica de recuperação simples deve ser avaliada quando for inviável a remoção dos resíduos dispostos no local, em função da quantidade e das dificuldades operacionais, quando a extensão da área ocupada pelos resíduos não for muito grande e, sobretudo, quando o local não puder ser recuperado como aterro controlado ou aterro sanitário.

Recomenda-se a recuperação simples somente quando um grupo de condições específicas for atendido:

- O maciço do depósito deve ter pequena altura e ter taludes estáveis na condição em que se encontra, podendo ser capeado com solo, sem manejo de lixo, de modo seguro e economicamente viável;
- O depósito não deve estar localizado em:
 - Áreas de formação cárstica, ou sobre qualquer outra formação geológica propícia à formação de cavernas;
 - Áreas de valor histórico ou cultural, como, por exemplo, os sítios arqueológicos;
 - Áreas de preservação permanente, áreas de proteção ambiental e reservas biológicas;
 - Áreas com menos de 200 metros de distância de corpos hídricos utilizados para irrigação de hortaliças e consumo humano.
- Deve haver disponibilidade de solo apropriado para o encapsulamento dos resíduos a menos de 1,5 km do local;

- Não ter ocorrido comprometimento das águas subterrâneas, constatado em análises químicas e biológicas;
- A área de empréstimo, comprovando-se sua capacidade e qualidade, deverá ser cedida à prefeitura em condições financeiras notoriamente vantajosas, mediante documento de fé pública;
- Os catadores de lixo do município já se encontram ou estão em processo formal de organização.

De acordo com a FEAM (2010), obedecidas às condições citadas acima, recomenda-se a realização das seguintes atividades:

- Avaliação da extensão da área ocupada pelos resíduos;
- Delimitação da área com cerca de isolamento e portão;
- Identificação do local com placas de advertência;
- Arrumação dos resíduos em valas escavadas ou reconformação geométrica dos resíduos com a menor movimentação de lixo possível, ficando a critério dos técnicos responsáveis, a obtenção da configuração mais estável.
- Conformação do platô superior com declividade mínima de 2% na direção das bordas ou, no caso de valas, o nivelamento final deverá ser feito de forma abaulada para evitar o acúmulo de águas de chuva sobre a vala e ficar em cota superior à do terreno, prevenindo-se prováveis recalques;
- Recobrimento do maciço de resíduos com uma camada mínima de 50 cm de argila de boa qualidade, inclusive nos taludes laterais. Deve ser avaliada a necessidade da utilização de membrana sintética antes da camada de argila para se obter maior impermeabilidade.
- Execução de canaletas de drenagem pluvial a montante do maciço para desvio das águas de chuva;

- Execução de drenos verticais de gás;
- Lançamento de uma camada de terra vegetal ou composto orgânico para possibilitar o plantio de espécies nativas de raízes curtas,
- Registro no cadastro da Prefeitura da restrição de uso futuro da área;

Dentre as vantagens aventadas para esse tipo de intervenção, ressalta-se a simplicidade dos equipamentos exigidos (trator de esteiras de qualquer porte é desejável), dispensando a aquisição de novos equipamentos e das operações envolvidas para a selagem do vazadouro e para a execução de drenagem pluvial, por exemplo.

Como uma desvantagem importante da recuperação simples menciona-se a restrição de uso futuro da área, o não tratamento do chorume e os prejuízos socioambientais da contaminação do solo, água subterrânea e água superficial. Além destas questões, vale destacar a necessidade de escolha de um novo local para disposição de resíduos no município, em conformidade com a legislação ambiental e as normas técnicas pertinentes e que se garanta o cumprimento das restrições de uso futuro da área (FEAM, 2010).

IMPORTANTE: Critérios adicionais poderão ser solicitados pelo órgão ambiental competente durante o rito de licenciamento ambiental.

h. Técnica de Escavação e Disposição: Recuperação Parcial

A recuperação parcial poderá ser utilizada pelos municípios maiores e, nos casos excepcionais, pelos municípios menores quando a situação do vazadouro não se enquadrar na recuperação simples devido às restrições observadas durante os estudos prévios de avaliação da área. Estes estudos incluem, minimamente a avaliação prévia da contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Caso a avaliação tenha apresentado indícios de contaminação na área, o órgão ambiental competente deve ser informado para que sejam definidas as ações para o gerenciamento da contaminação, bem como as medidas de recuperação a serem adotadas.

Por outro lado, caso a avaliação não tenha constatado a ocorrência de contaminação da água subterrânea, deverá ser implantado um Programa de Monitoramento da água subterrânea, com frequência e extensão a serem definidas pelo órgão ambiental.

Tal ação é justificada uma vez que essa técnica não cessa todas as fontes de contaminação da área, como, por exemplo, a geração de chorume no maciço de resíduos (FEAM, 2010).

Os demais impactos ambientais poderão ser sensivelmente mitigados, imediatamente após a intervenção pela recuperação parcial, com diferentes graus de intensidades.

Cabe observar que a recuperação parcial de um vazadouro deve ser objeto de um projeto conceitual e de um projeto executivo, que contemple, no mínimo, as seguintes medidas:

- Reconformação geométrica baseada em avaliação geotécnica para garantir a estabilidade dos taludes e capeamento do vazadouro com selo impermeável de material argiloso ou material sintético como geomembrana de polietileno de alta densidade – PEAD, se não houver disponibilidade local de argila de boa qualidade;
- Conformação do platô superior com declividade mínima de 2%, na direção das bordas;
- Controle da emissão e tratamento de lixiviados, por meio de barreiras de contenção ou drenos direcionados para sistemas de tratamento, de recirculação ou de acumulação para posterior envio a uma estação de tratamento de esgotos ou para o sistema de tratamento de efluentes do novo aterro sanitário do município;

- Coleta e desvio das águas superficiais, de forma a minimizar o ingresso das águas de chuva no maciço;
- Controle da emissão e queima de gases;
- Isolamento da área;
- Controle de recalques;
- Controle da qualidade do ar;
- Controle da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da área, por meio de poços de monitoramento;
- Implantação de cobertura vegetal com gramíneas nos maciços de resíduos encerrados.

A alternativa geométrica para a recuperação parcial deve ser muito bem estudada e discutida, observando-se sempre a sua exequibilidade.

A alternativa geométrica mais simples é aquela em que o vazadouro se encontra em uma área bem protegida (do ponto de vista geológico e hidrogeológico) e dispõe de amplos espaços laterais para movimentação, desmonte e aplainamento dos depósitos.

A mais difícil é aquela em que o vazadouro já é de grande altura, tem um platô superior de área reduzida e não dispõe de muita área lateral para desmobilização e rearranjo das novas pilhas.

IMPORTANTE: Critérios adicionais poderão ser solicitados pelo órgão ambiental competente durante o rito de licenciamento ambiental.

i. Técnica de Atenuação Natural Monitorada (ANM)

De acordo com o Guia de Elaboração de Planos de Intervenção para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (2014), a atenuação natural inclui os processos que ocorrem naturalmente no solo e na água, ou seja, sem intervenção humana, que levam à redução de toxicidade,

mobilidade, volume, concentração e massa de um contaminante orgânico ou inorgânico.

Estes processos podem ser físicos, químicos e/ou biológicos e ocorrem, basicamente, através dos processos de diluição, dispersão, adsorção, volatilização e transformações bióticas e abióticas. Para o IPT et al. (2014), quando o processo de atenuação natural demonstra a capacidade de atingir os objetivos de remediação específicos da área contaminada, em um período razoável, comparado às demais alternativas de remediação, ela pode ser selecionada como uma técnica única de remediação ou combinada a outras técnicas de remediação.

IMPORTANTE: A atenuação natural não configura abandono da área, mas sim, o desenvolvimento de estratégias de monitoramento efetivo dos níveis de contaminação em solo e água (superficial e subterrânea) ao longo do tempo a fim de garantir a reabilitação segura da área.

Desta forma, para a recuperação de áreas degradadas pela disposição final irregular de RSU pode-se adotar o termo “Atenuação Natural Monitorada (ANM)”, que define o uso dos processos de atenuação natural como parte da remediação da área.

Esta técnica de remediação é baseada no controle e monitoramento dos processos naturais através de avaliações periódicas da concentração dos contaminantes, de seus produtos de degradação, e de parâmetros geoquímicos definidos pelo órgão ambiental competente (IPT et al., 2014).

Através de processos físicos, químicos e biológicos, o ambiente natural tem a capacidade de reduzir e restabelecer os níveis de toxicidade de forma segura para a saúde pública, o meio ambiente e outros recursos que precisam ser protegidos em uma área contaminada.

Para que esses processos se tornem a principal abordagem de remediação em uma área contaminada, é necessário monitorar seus resultados por um longo período e garantir que não haja riscos envolvidos até que o

processo de gerenciamento da área contaminada seja concluído e o plano de intervenção seja implementado.

De acordo com o IPT et al. (2014), os mecanismos naturais de atenuação podem ser divididos em mecanismos não destrutivos, que incluem os processos de dispersão, adsorção, volatilização e diluição, e mecanismos destrutivos, que incluem o decaimento abiótico e a biodegradação. Os mecanismos não destrutivos envolvem processos físicos e/ou químicos que retardam o transporte dos contaminantes. Estes processos podem ser de longa ou curta duração, dependendo das características e condições do meio.

O mecanismo de dispersão é a soma dos efeitos dos processos de difusão molecular e da dispersão mecânica. A dispersão mecânica é causada pela mistura dos solutos na fase líquida presente entre os poros do solo ao longo do caminho de fluxo (FETTER, 1999, apud IPT, 2014). Na difusão molecular o soluto se moverá de uma área de maior concentração para uma de menor concentração, simultaneamente à dispersão mecânica, resultando em variações nas concentrações dos solutos na fase líquida.

O mecanismo de adsorção é o processo de aderência das substâncias dissolvidas numa solução na superfície das partículas sólidas, causando uma redução na mobilidade dos solutos, pois quando este adere à superfície do sólido, é transportado mais lentamente que a água (FREEZE; CHERRY, 1979; TINDALL; KUNKEL; ANDERSON, 1999; FETTER, 1999; SPARKS, 2003, apud IPT, 2014). A quantidade de matéria orgânica e os tipos de argilominerais presentes no solo atuam como os principais adsorventes do solo.

O mecanismo de volatilização é responsável por transportar os contaminantes voláteis para os poros da zona não saturada e o mecanismo de diluição é causado por meio da recarga dos aquíferos, envolvendo o processo de advecção, processo de transporte dominante, onde o soluto é transportado junto com o fluxo de água. Estes eventos e as flutuações do nível d'água lixiviam os contaminantes do solo para a água subterrânea, diminuindo assim suas concentrações iniciais de descarga.

Os mecanismos destrutivos envolvem a transformação ou degradação dos contaminantes, sendo que a concentração no tempo é resultado da concentração inicial, da taxa de degradação e da meia vida do composto.

O decaimento pode ser abiótico, envolvendo reações químicas puras como hidrólise e reações com minerais do solo, e ocorre principalmente com compostos halogenados e inorgânicos. Este processo pode levar à degradação parcial ou total do contaminante e é tipicamente muito lento quando comparado à degradação biótica ou biodegradação.

Já os mecanismos de biodegradação envolvem reações de oxidação e redução, principalmente de compostos orgânicos, catalisados por microrganismos (bactéria e fungos), que também podem resultar em degradação parcial ou completa do contaminante.

São considerados os mais importantes processos de atenuação natural, pois reduzem consideravelmente a massa do contaminante e podem ser acelerados através da melhoria das condições do meio, como a adição de um nutriente ou substrato faltante (WIEDEMEIER et al., 1998 apud IPT, 2014).

Existem certos elementos fundamentais para a aplicação da ANM, levando em consideração que a viabilidade dessa técnica varia consideravelmente de acordo com as características da área em questão.

É crucial compreender os principais mecanismos de atenuação natural que estão em curso nessa região. Assim, a caracterização do ambiente deve abranger todos os parâmetros relevantes para avaliar a eficácia da atenuação natural, incluindo a compreensão dos processos de transporte e degradação.

O primeiro ponto essencial está relacionado à fonte de contaminação. Após uma avaliação minuciosa, podem ser adotadas medidas de remoção, tratamento ou contenção, ou até mesmo uma combinação de todas essas ações, durante a execução do plano de intervenção.

O segundo aspecto diz respeito à caracterização detalhada da área, que deve abranger um histórico de dados do meio físico, evidenciando a redução da massa e/ou concentração do contaminante ao longo do tempo.

Dados hidrogeológicos e geoquímicos podem fornecer indícios sobre os processos de atenuação natural em curso e a taxa na qual esses processos irão reduzir as concentrações dos contaminantes até os níveis exigidos. É necessário realizar e/ou utilizar dados provenientes de estudos de campo e/ou laboratório que demonstrem diretamente a ocorrência de um determinado processo de atenuação natural no local, bem como sua capacidade de degradar o contaminante.

Para verificar diretamente a ocorrência de um processo específico de atenuação natural no local e sua capacidade de degradar o contaminante, devem ser realizados e/ou utilizados dados provenientes de estudos de campo e/ou laboratório.

É necessário demonstrar por meio de monitoramento contínuo o desempenho dos processos de atenuação, e este monitoramento deve incluir:

- detecção de mudanças nas condições ambientais que podem afetar a eficiência dos processos;
- identificar quaisquer produtos de transformação potencialmente tóxicos e/ou móveis;
- confirmar que a pluma de contaminação não está expandindo;
- garantir que não haja impacto aos receptores, detectar novos lançamentos de contaminantes;
- demonstrar a eficácia das ações institucionais e de engenharia; e
- confirmar a realização dos objetivos de remediação (IPT et al., 2014)

A Atenuação Natural Monitorada (ANM) é uma técnica reconhecida e adotada por órgãos ambientais em boa parte do mundo. A implementação

desse método requer a consideração da dispersão das áreas contaminadas, uma avaliação de risco abrangente e o monitoramento contínuo até que os objetivos de remediação desejados sejam alcançados e mesmo após a conclusão das medidas de intervenção.

A ANM tem sido empregada como técnica de remediação autônoma ou em conjunto com outras abordagens, inclusive após a aplicação de métodos de remediação ativa, com o intuito de reduzir concentrações residuais.

Esse método oferece benefícios econômicos, uma vez que é não invasivo, utiliza processos naturais inerentes ao local, pode reduzir o consumo de energia e a produção de resíduos gerados por técnicas ativas, minimiza o potencial de transferência de contaminantes entre diferentes meios (solo/água/ar) e reduz o risco de exposição humana a contaminantes.

No entanto, é importante salientar que a ANM apresenta algumas limitações, como prazos mais longos para alcançar os objetivos de remediação, bem como a necessidade de uma caracterização mais complexa e custosa da área em questão.

Esses fatores culminam na exigência de monitoramento de longo prazo, que deve avaliar o potencial de migração dos contaminantes, bem como possíveis alterações nas condições hidrogeológicas e geoquímicas que possam remobilizar contaminantes previamente estabilizados.

A necessidade de controles para garantir a atenuação dos contaminantes em longo prazo é motivada pelo potencial de geração de produtos de transformação de maior toxicidade, que pode resultar em riscos secundários.

Para realizar a investigação de remediação da área contaminada, é importante apresentar características que descrevam os processos de transporte e transformações do contaminante no meio.

No entanto, não existe uma metodologia única para avaliar o comportamento ambiental dos contaminantes, uma vez que esse comportamento

é influenciado pelas características naturais da área. Diferentes fatores podem afetar a forma como os contaminantes se movem e se transformam no ambiente.

Alguns dos principais processos envolvidos estão relacionados à persistência do contaminante no ar, na água e no solo, à sua reatividade e degradação, à migração na água subterrânea e à bioacumulação em organismos aquáticos ou terrestres.

Esses processos são fundamentais para entender como o contaminante se dispersa, se degrada ou persiste ao longo do tempo e como pode afetar os diferentes componentes do ecossistema.

Portanto, a investigação para remediação da área deve considerar essas características e processos, a fim de desenvolver estratégias adequadas para mitigar os riscos ambientais associados aos contaminantes e garantir a proteção da saúde humana e do meio ambiente em longo prazo (IPT *et al.*, 2014).

Adicionalmente, as propriedades físico-químicas do contaminante, como solubilidade em água, densidade e pressão de vapor, assim como as propriedades de interação com o meio, coeficientes de partição, fator de bioconcentração, demanda bioquímica de oxigênio, meia-vida, constante da lei de Henry, devem ser entendidas de forma minuciosa.

Para isto, parâmetros como: indicadores geoquímicos das condições necessárias para redução dos contaminantes, como presença de minerais nutrientes e receptores de elétrons, condições redox, temperatura, pH, alcalinidade e potencial de oxirredução, produtos de degradação devem estar presentes e deverão ser analisados (IPT *et al.*, 2014).

As condições hidrogeológicas, geotécnicas, geoquímicas e bioquímicas deverão ser entendidas de forma detalhada. São estas condições que permitem a elaboração do modelo conceitual, onde são feitas as previsões dos processos que ocorrem e continuarão a ocorrer no meio. A escolha

da atenuação natural como técnica de remediação ou monitoramento de uma área contaminada durante e após as ações de intervenção envolve os seguintes passos:

Avaliação preliminar: Nesta etapa, é realizada uma análise inicial para determinar a viabilidade do uso da técnica de atenuação natural. São considerados diversos fatores para determinar se essa abordagem é adequada para a área contaminada em questão.

Evidências de atenuação natural: Uma vez que a viabilidade da atenuação natural é confirmada, são apresentadas evidências de que o processo de atenuação natural está ocorrendo na área contaminada. Isso é feito com base nos resultados de caracterização da área, que mostram a redução dos contaminantes ao longo do tempo.

Avaliação, previsão e modelagem: Nesta etapa, são realizadas avaliações mais detalhadas, previsões e modelagem para definir as metas a serem alcançadas com a atenuação natural. Isso envolve o estabelecimento de objetivos específicos e a determinação das estratégias e medidas necessárias para atingir essas metas.

Implementação da ANM: Uma vez definidas as metas, a atenuação natural pode ser implementada na área contaminada. Isso pode envolver a aplicação de medidas de monitoramento e controle adequadas para garantir a eficácia da técnica. É importante ressaltar que o monitoramento a longo prazo é fundamental para avaliar continuamente a eficácia da atenuação natural.

Durante todo o processo, dois pontos cruciais devem ser questionados:

1. **Receptores (risco potencial):** É importante considerar os potenciais riscos para os receptores, ou seja, para os seres vivos e o meio ambiente afetados pela contaminação. Isso envolve avaliar se a atenuação natural é capaz de reduzir os níveis de contaminantes a um nível seguro para os receptores presentes na área.

2. Tempo necessário para atenuação: O tempo necessário para que a atenuação natural ocorra completamente também é um fator importante a ser considerado. Isso pode variar dependendo das características da área contaminada, dos contaminantes envolvidos e das condições ambientais. É essencial entender o cronograma esperado para a atenuação natural e avaliar se é compatível com as necessidades e prazos do projeto de remediação ou monitoramento.

Segundo IPT *et al.* (2014), é crucial realizar monitoramentos de longo prazo para comprovar que a atenuação natural está ocorrendo conforme o esperado. Isso inclui a identificação de possíveis produtos de degradação tóxicos, detecção de lançamentos de contaminantes, verificação da proteção dos receptores, confirmação do cumprimento das metas de remediação e fornecimento de garantias para encerrar o processo de área contaminada.

O comportamento da pluma de contaminantes é uma das primeiras evidências da atenuação natural, podendo se manter estável, encolher ou expandir.

É essencial basear as principais evidências da ocorrência de atenuação natural nos dados históricos de qualidade do solo e da água subterrânea, demonstrando a ocorrência de processos de atenuação natural indiretos na área, bem como evidências diretas desses processos.

A elaboração de um programa de monitoramento requer especificidade em relação ao local, porém, os componentes essenciais devem abranger: o tipo, número e posicionamento dos poços de monitoramento; o design dos poços (incluindo construção, perfil da perfuração e intervalo de filtração); a quantidade, tipo, volume e frequência das amostras.

É necessário construir poços com múltiplos níveis, com seções de filtração curtas, localizados o mais próximo possível dos centros de concentração da pluma a fim de permitir uma avaliação adequada dos processos de atenuação em curso e para delimitar a extensão da pluma.

A quantidade e localização dos poços de monitoramento não são determinadas apenas pela geometria da pluma e pelo fluxo da água subterrânea, mas também pelo nível de confiança exigido para demonstrar estatisticamente que a atenuação natural está ocorrendo, para estimar a taxa de atenuação dos processos e para prever o tempo necessário para atingir as metas de remediação.

A frequência de amostragem deve ser maior no início (trimestral no primeiro ano) e ir diminuindo ao longo do tempo (no mínimo anual em anos subsequentes), porém a frequência de amostragem é função da heterogeneidade, variabilidade das concentrações e velocidade do fluxo, podendo, por exemplo, ser estimada com base na velocidade da água subterrânea (uma amostragem por troca de água) (ENVIRONMENT AGENCY, 2004; WIEDEMEIER *et al.*, 1999a e 1999b; DOE, 2001, IPT *et al.*, 2014).

IMPORTANTE: Critérios adicionais poderão ser solicitados pelo órgão ambiental competente durante o rito de licenciamento ambiental.

j. Critérios técnicos a serem considerados no processo de encerramento dos vazadouros:

De acordo com a FEAM (2010), em qualquer alternativa técnica adotada para encerramento de um vazadouro, o tempo e os recursos técnicos e econômicos necessários são proporcionais ao grau de comprometimento da área e à capacidade da Prefeitura Municipal em promover a correta destinação dos RSU.

Importante destacar, que em todos os casos, as medidas de engenharia e de controle ambiental devem, necessariamente, fazer parte de um documento elaborado por profissional habilitado, denominado de Plano de Reabilitação de Área Degradada por Vazadouro. Este plano deve contemplar, no mínimo, as seguintes informações:

- Caracterização e identificação do empreendimento e dos responsáveis pelo projeto;

- Levantamento topográfico/cadastral com indicação de cursos d'água, poços ou cisternas e edificações existentes no entorno de até 500m;
- Caracterização geológica/geotécnica da área;
- Diagnóstico ambiental simplificado, com a descrição dos aspectos físicos e socioeconômicos da área de entorno do depósito de lixo;
- Caracterização das águas subterrâneas em pelo menos 2 pontos, um a montante e um a jusante do depósito de lixo;
- Se couber, caracterização das águas superficiais do entorno em pelo menos 2 pontos, um a montante e um a jusante do vazadouro;
- Memorial descritivo das propostas para os processos de recuperação, contendo orientações para execução dos serviços de reconformação geométrica, selagem do vazadouro, drenagem das águas pluviais, drenagem dos gases, drenagem e tratamento dos lixiviados, cobertura vegetal e isolamento da área;
- Definição das alternativas de uso futuro da área;
- Definição de um programa de monitoramento da estabilidade do maciço; do estado de manutenção dos sistemas de drenagem (águas pluviais, gases e lixiviados), monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrânea, crescimento e controle da cobertura vegetal, sistemas de sinalização e isolamento da área;
- Custos estimados e cronograma de execução.

IMPORTANTE: Critérios adicionais poderão ser solicitados pelo órgão ambiental competente durante o rito de licenciamento ambiental.

k. Quanto ao uso futuro das áreas reabilitadas ou em reabilitação:

De acordo com a FEAM (2010), a proposta para o uso futuro das áreas reabilitadas deve considerar que nos locais onde os resíduos permaneçam aterrados, continuará ocorrendo processos de decomposição mesmo após o encerramento das atividades, por períodos relativamente longos, que podem ser superiores a 10 anos.

Assim, após a reabilitação das áreas, os sistemas de drenagem superficial de águas pluviais, de tratamento dos gases, de coleta e tratamento dos lixiviados e de monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea devem ser mantidos por um período que será definido pelo órgão ambiental em função das características locais.

A escolha do uso futuro da área deverá ser definida com base nos estudos realizados e na aptidão da área, levando-se em consideração a proteção à saúde humana e ao meio ambiente.

O uso futuro da área deverá ser aprovado pelo órgão ambiental competente.

Recomenda-se a implantação de áreas verdes, com equipamentos comunitários como praças esportivas, campos de futebol, nos casos de locais próximos a áreas urbanizadas.

A implantação de parques e espaços mais abertos poderá beneficiar a um maior número de pessoas, e uma área verde, com trabalho paisagístico de implantação de gramados, arbustos e árvores.

Em função dos possíveis problemas relacionados à baixa capacidade de suporte do terreno e à possibilidade de infiltração de gases com alto poder combustível e explosivo (biogás), a implantação de edificações sobre os depósitos de lixo desativados é desaconselhável, a menos que estudos geotécnicos e resultados de monitoramento de gases demonstrem que a ocupação é possível, devendo haver projetos especializados

para contemplar a necessidade de segurança, estrutural e ambiental, do novo empreendimento (FEAM, 2010).

Porém, pode ser viável a implantação de pequenas construções como prédios administrativos e sanitários públicos, que devem ser projetados com boa ventilação, de modo a evitar o acúmulo de biogás na base ou em seu interior, e devem possuir fundações adequadas para resistir a possíveis recalques.

Desta forma, investir em projetos de geração de energia fotovoltaica aponta como ação promissora, já que grandes áreas descampadas ficam imobilizadas por grandes períodos de tempo e as estruturas a serem instaladas não representam riscos significativos de sobrecarga sobre o terreno existente.

IMPORTANTE: Considerando o arcabouço legal vigente, não é recomendado planejar soluções de conversão de vazadouros em aterros controlados ou até mesmo a adequação de áreas como aterros sanitários, mesmo que de forma provisória.

5.3. PROPOSIÇÃO DE MODELOS DE REMEDIAÇÃO

De acordo com o diagnóstico do presente plano, é possível dividir a recuperação de áreas contaminadas pela disposição irregular de RSU em duas etapas.

A primeira, ou etapa inicial, corresponde à avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo).

Isso demanda vistoria, reconhecimento de terreno, realização de análises (minimamente de água superficial, água subsuperficial, solo) e requerimento de licenciamento ambiental junto ao órgão ambiental competente.

A segunda etapa consiste na seleção de atividades remediadoras e tem o objetivo de reduzir a mobilidade, toxicidade e volume dos contaminantes, sendo estas subdivididas em tratamento primário, secundário, terciário e monitoramento ambiental da área.

O tratamento primário é análogo ao conceito de recuperação simples (técnica de escavação e disposição), apresentado no item anterior. Os tratamentos secundário e terciário são análogos ao conceito de recuperação parcial, variando de acordo com o investimento realizado nas técnicas de tratamento de chorume ou biogás.

Para todos os casos, o monitoramento ambiental da área ao longo do tempo será a condição básica, cabendo ao órgão ambiental competente definir, juntamente com o requerente (em geral a Prefeitura), a quantidade de pontos de monitoramento a serem instalados, bem como os parâmetros a serem monitorados, a frequência e o período de análise. Neste contexto, é possível inferir que o método de Atenuação Natural Monitorada (ANM) também irá figurar como técnica de remediação de segunda etapa.

Foram adotados os seguintes critérios de análise para enquadramento das soluções de remediação:

- **Recuperação Simples:** Vazadouros de pequeno a médio porte, com taludes estáveis, fora de área sensível, com oferta de material de recobrimento em município pequeno.
- **Recuperação Parcial - Nível 1:** Vazadouros de médio a grande porte sem a previsão de realizar o tratamento in loco de biogás e chorume
- **Recuperação Parcial - Nível 2:** Vazadouros médio a grande porte com a previsão de realizar o tratamento in loco de biogás e chorume

- **Remoção de Resíduos:** Vazadouros de pequeno porte em local que, em primeira análise, apresente significativo risco geológico ou geotécnico.
- **Atenuação Natural Monitorada:** Vazadouros de qualquer porte que, em primeira análise, não apresente risco geológico ou geotécnico e que esteja distante de núcleos populacionais.

Conforme diagnóstico, dos 22 municípios da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, 19 possuem áreas de disposição final irregular de RSU. Todos os vazadouros fechados, com ou sem processo de remediação são considerados Áreas Suspeitas de Contaminação (AS).

Desta forma, os municípios metropolitanos com, no mínimo, suspeitas de passivo ambiental são, Belford Roxo, Petrópolis, Maricá (em duas áreas distintas), Queimados, Itaboraí (em duas áreas distintas), Itaguaí (em duas áreas distintas), Guapimirim, Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Tanguá, São Gonçalo, Seropédica, Duque de Caxias, Paracambi, Magé, Japeri, Niterói, Rio de Janeiro e Nova Iguaçu.

Destaca-se que a etapa de planejamento de qualquer ação, tarefa, processo ou projeto tem a função de antever ações e eventuais problemas, a fim de que se possa estruturar estratégias com o intuito de reduzir riscos e aumentar a assertividade das etapas de execução, monitoramento e controle.

Planos figuram como produtos das estratégias de planejamento e para que sejam assertivos, carecem de acompanhamento de ações, objetivos, indicadores e metas que traduzam a estratégia.

No caso do item em questão, que aborda a proposição de modelos para a remediação de áreas contaminadas e utilização dos espaços (abrangendo um horizonte de 30 anos), é necessário destacar que existem requisitos legais importantes que impetram a obrigatoriedade do licenciamento ambiental das atividades de remediação.

É importante destacar que o licenciamento ambiental figura como processo técnico, baseado em evidências científicas derivadas de análises diagnósticas detalhadas das complexas interações dos impactos causados pela disposição inadequada dos resíduos nos compartimentos água, solo e ar, bem como na fauna e na flora.

Em síntese, sem a formalização de processo de licenciamento e sem a análise das particularidades das áreas, a proposição de modelo de remediação e de utilização dos espaços ocupados por vazadouros fica fragilizada.

Considerando as particularidades dos municípios e as premissas do licenciamento ambiental deste tipo de atividade, as proposições a seguir possuem mero caráter orientativo e foram idealizadas à luz das melhores técnicas de engenharia disponíveis.

Logo, antes da efetivação dos modelos propostos, é necessário que os municípios ou as empresas responsáveis pelas áreas contaminadas em questão, nos casos aplicáveis, procedam à elaboração ou à contratação de estudo de diagnóstico ambiental, produzido e assinado por equipe técnica habilitada, considerando, minimamente as seguintes referências legais e normativas:

- Resolução CONAMA nº 420/2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas;
- ABNT NBR 16.210/2022 – Modelo Conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas;
- ABNT NBR 15.515-1/2007 – Passivo Ambiental em solo e água subterrânea – Parte I: Avaliação Preliminar;
- Decreto Estadual nº 48.508/2023 – Institui o Programa Estadual de Gestão de Resíduos Integrada e Desenvolvimento Sustentável (PROGRIDE) e dá outras providências;

- Decreto Estadual nº 46.890/2019 – Dispõe sobre o Sistema Estadual de Licenciamento e demais procedimentos de Controle Ambiental (SELCA) e dá outras providências;
- Lei Estadual nº 4.191/2003 - Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos;
- Decreto nº 41.084/2007 - Regulamenta a Lei nº 4.191, de 30 de setembro de 2003.

Destaca-se ainda que o estudo em questão deve ser fundamentado por visita de campo e pela coleta e análise de amostras significativas de solo, de água superficial e de água subterrânea, para que seja efetivamente possível subsidiar a elaboração de projeto básico a ser acostado em requerimento de licença ambiental.

No quadro abaixo são apresentados os vazadouros existentes na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, bem como os links com as suas localizações no Google Maps, seguidos da análise de suas condições e a indicação do ano de encerramento.

A localização foi obtida com base na análise das informações públicas oriundas da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS) e do Programa de Saneamento Ambiental (PSAM).

Tabela 28: Identificação, Localização e Análise dos Vazadouros Existentes na RMRJ

Vazadouro		Análise dos Vazadouros				
		Fechado	Remediado	Em Remediação	Remediado com Termo de Encerramento	Ano de Encerramento
1	Belford Roxo	I	0	0	0	2012
2	Cachoeiras de Macacu	I	0	0	0	2012
3	Duque de Caxias (Gramacho)	I	0	I	0	2012
5	Guapimirim	I	0	0	0	2012
5	Itaboraí - Sossego	I	0	0	0	2011
6	Itaboraí - Parque Aurora	I	0	0	0	2011
7	Itaguaí – Santana *	I	0	0	0	2011
8	Itaguaí - Cidade Industrial *	I	0	0	0	2011
9	Japeri	I	0	I	0	2013
10	Magé	0	0	I	0	-
11	Maricá - Itapeba	I	0	0	0	2013
12	Maricá - Caxito	I	0	0	0	2013
13	Nova Iguaçu (Marambaia)	I	I	0	0	2006
14	Niterói (Morro do Céu)	I	I	0	I	2011
15	Paracambi	I	I	0	0	2011
16	Petrópolis (Duarte da Silveira)	I	0	0	0	2011
17	Petrópolis (Pedro do Rio)	I	?	0	0	2015

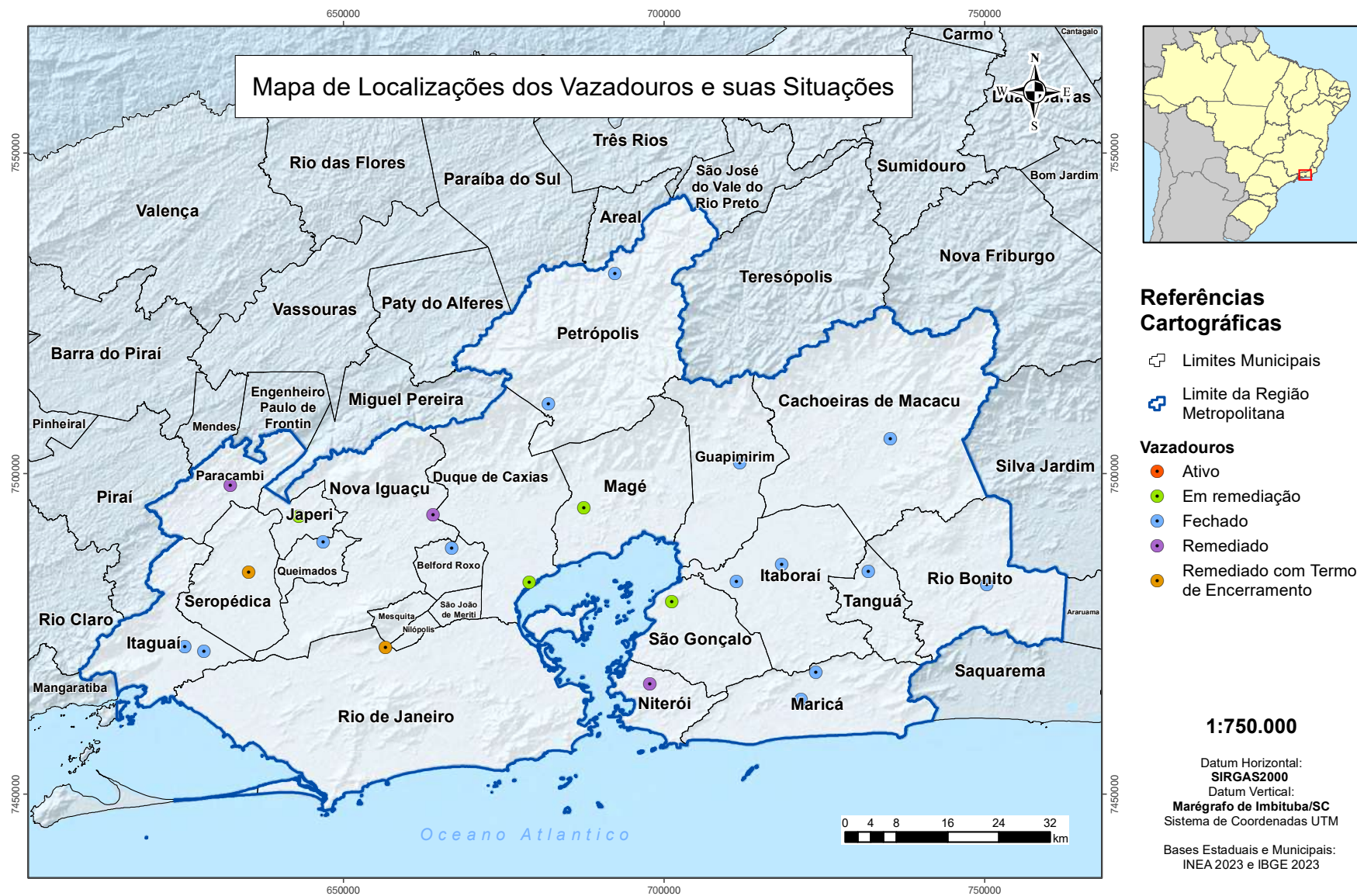
Tabela 28: Identificação, Localização e Análise dos Vazadouros Existentes na RMRJ
(continuação)

Vazadouro		Análise dos Vazadouros				
		Fechado	Remediado	Em Remediação	Remediado com Termo de Encerramento	Ano de Encerramento
18	Queimados	1	0	0	0	2012
19	Rio Bonito	1	0	0	0	2013
20	Rio de Janeiro (Gericinó)	1	1	0	1	2012
21	São Gonçalo (Itaoca)	1	0	1	0	2012
22	Seropédica	1	1	0	1	2011
23	Tanguá	1	0	0	0	2012
Total		22	5	4	3	

*Em parecer técnico enviado ao IRM, a prefeitura de Itaguaí questionou a existência de dois vazadouros no município e informou que está em contato com o INEA para atestar que apenas o vazadouro na localização definida como “Santana” é existente.

Fonte: Adaptado de INEA/SEAS, 2020

Figura 51: Espacialização dos Vazadouros na RMRJ



Fonte: Engeconsult, 2023.

A seguir, são apresentadas as propostas preliminares de modelo de remediação das áreas identificadas na etapa diagnóstica deste Plano:

- **Vazadouro de Belford Roxo – Babi (Status: Fechado – A Remediar)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2012. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIAÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIAÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIAÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

O vazadouro possui limites bem definidos. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- a atividade não possui licença ambiental;
- não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área;
- o afastamento inferior a 200 metros de corpo hídrico perene;
- não há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- a avaliação preliminar das dimensões da área

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente. Em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível 2**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando o horizonte de projeto; as limitações de informações sobre o nível; e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos: **recomenda-se** primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

IMPORTANTE: A partir do uso do Software Google Earth foi identificado que houve evolução da área de disposição final do vazadouro mesmo após o encerramento formal do mesmo.

Figura 52: Imagem Aérea do Vazadouro de Babi – Belford Roxo



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Cachoeiras de Macacu (Status: Fechado - A Remediar)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2012. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro possui limites bem definidos, no meio de um vale, sendo possível prever a extensão dos impactos ambientais causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando o tempo decorrido desde o encerramento da atividade; que a atividade não possui licença ambiental; que não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área; o afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene; que não há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão; e a avaliação preliminar das dimensões da área:

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente. Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Atenuação Natural Monitorada (ANM)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando o horizonte de projeto; as limitações de informações sobre o nível; e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos:

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 53: Imagem Aérea do Vazadouro de Cachoeiras de Macacu



Fonte: Software Google Earth 2023.

• Vazadouro de Duque de Caxias – Gramacho (Status: Fechado – Em remediação)

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2012. A primeira etapa de remediação foi executada no mesmo ano e, desde então, encontra-se em **Recuperação Parcial de Nível 2 (tratamento terciário)** regulado por processo de licenciamento ambiental conduzido e acompanhando pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

O vazadouro possui limites bem definidos, sendo possível constatar, a partir da análise de imagens aéreas, diversas intervenções de engenharia, em especial o retaludamento e a reconformação geotécnica, a instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e a instalação de sistema de drenagem e armazenamento de chorume., bem como a implantação de uma unidade de purificação e aproveitamento do biogás.

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando o avanço das intervenções de recuperação parcial (tratamento terciário), **recomenda-se a finalização das obras de engenharia previstas** e a manutenção do Plano de Monitoramento Geotécnico e Ambiental da atividade, conforme definido no licenciamento ambiental.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando o horizonte de projeto; que se trata de significativa área descampada com incidência solar direta; que não é possível realizar qualquer construção com mais de um pavimento sobre o maciço em função dos riscos geotécnicos; a necessidade de manutenção de rotinas de monitoramento geotécnico e ambiental; a necessidade de ocupação da área para restringir a potencial invasão e construção de moradias sobre o maciço; que o maciço ainda sofrerá recalques em função da degradação dos resíduos; as limitações de exploração econômica em função das fragilidades sociais da localidade; e que os projetos solares fotovoltaicos podem ser modulares e não envolvem obras complexas de engenharia.

Recomenda-se, para um horizonte de 30 anos, **analisar o potencial de geração e comercialização de energia elétrica derivada de fonte solar fotovoltaica a ser instalada na área**. Caso o estudo sinalize condição favorável, a área deve ser imobilizada para esta exploração comercial, devendo, parte da receita, ser aplicada na manutenção das práticas de recuperação ambiental do maciço e seu entorno.

Em caso negativo, recomenda-se a transformação da área em parque público, com trilhas sobre o manguezal e eventual trilha até um “Mirante” para a Baía de Guanabara.

IMPORTANTE: A partir do uso do Software Google Earth foram identificados, no entorno do vazadouro em questão, diversos focos de disposição final irregular de resíduos. Recomenda-se oficializar formalmente a Prefeitura para ciência e providências.

Figura 54: Imagem Aérea do Vazadouro de Duque de Caxias – Gramacho



Fonte: Software Google Earth 2023.

• Passivo Ambiental

O Aterro de Jardim Gramacho, localizado na Baía de Guanabara, foi por muitos anos o maior depósito de lixo a céu aberto da América Latina. Durante décadas, o aterro recebeu resíduos sólidos urbanos de toda a cidade do Rio de Janeiro, tornando-se um símbolo dos problemas ambientais e sociais associados à gestão de resíduos no Brasil.

Os passivos ambientais relacionados à Gramacho são multifacetados e de longo prazo. No entanto, os impactos sociais foram sentidos de forma imediata pelas comunidades que viviam nas proximidades do aterro com seu fechamento abrupto.

Mesmo neste cenário, o Aterro de Jardim Gramacho abrigava um grande número de catadores de materiais recicláveis que sobreviviam da coleta e venda de itens despejados no aterro.

Com o deslocamento das famílias que viviam nas proximidades do aterro quando o local foi finalmente fechado em 2012, o processo de remoção e realocação das comunidades foi complexo e, em muitos casos, traumático, uma vez que muitas famílias perderam suas casas e fontes de renda.

Após o fechamento, houve esforços para reabilitar a área, transformando-a em um parque e centro ambiental. No entanto, os passivos sociais persistem, já que a população local ainda enfrenta desafios em termos de acesso a serviços básicos, oportunidades de emprego e melhoria na qualidade de vida.

A abrupta perda de sua principal fonte de renda e as promessas não cumpridas para reabilitação da área destacam a complexidade dos passivos sociais associados ao fechamento repentino do aterro.

Para contextualizar ainda mais essa situação, com a promulgação da Lei Federal nº 12.305/2010, houve um impacto significativo na gestão de resíduos no país e uma busca para promover a redução, reutilização e

reciclagem de resíduos sólidos, bem como a disposição adequada de resíduos. No entanto, a implementação efetiva das políticas pode ser desafiadora.

No caso do Aterro de Jardim Gramacho, apesar de a legislação visar o incentivo à formalização e à melhoria das condições de trabalho dos catadores, muitos continuaram a enfrentar dificuldades após o fechamento do aterro e os lixões clandestinos ainda proliferam.

A legislação é um passo importante para a resolução de problemas relacionados aos resíduos sólidos e à inclusão social dos catadores, mas sua eficácia depende da implementação, da fiscalização e da garantia de recursos para programas de capacitação, infraestrutura adequada e apoio às comunidades afetadas.

Os desafios associados ao Aterro de Jardim Gramacho destacam a necessidade de um compromisso contínuo na abordagem de questões sociais e ambientais interligadas na gestão de resíduos sólidos.

Para os desafios associados aos passivos sociais e ambientais no Aterro de Jardim Gramacho, o Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado (PEDUI) oferece um planejamento para a revitalização da região.

Uma das iniciativas propostas é a implantação de um projeto de valorização da Orla de Gramacho e do Parque do Aterro de Gramacho.

O objetivo é melhorar significativamente a qualidade de vida dos habitantes de baixa renda na região, bem como dos residentes de Duque de Caxias e da Baixada Fluminense.

Esse projeto abrange a reconversão total do uso da área e se baseia em três vertentes essenciais: inclusão social; recuperação e preservação ambiental; e qualificação urbanística.

Além disso, visa valorizar a orla da Baía de Guanabara, integrando-se ao projeto de adensamento habitacional, e está alinhado com a iniciativa do Eixo Transversal da Baixada Fluminense, ao longo do Rio Sarapuí, conforme previsto na Ação EM 08 do PDUI.

- **Vazadouro de Guapimirim (Status: Fechado - A Remediar)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2012. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro possui limites bem definidos, no meio de um vale, sendo possível prever a extensão dos impactos ambientais causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação, considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- A atividade não possui licença ambiental;
- Não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área;

- O afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene;
- Não há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente.

Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Atenuação Natural Monitorada (ANM)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando o horizonte de projeto e as limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos:

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 55: Imagem Aérea do Vazadouro de Guapimirim



Fonte: Software Google Earth 2023.

• Vazadouro de Itaboraí - Sossego: (Status: Fechado - A Remediar)

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2011. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro não possui limites bem definidos, margeando corpo hídrico, sendo improvável a previsão da extensão dos impactos ambientais causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando o tempo decorrido desde o encerramento da atividade; que a atividade não possui licença ambiental; que não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área; o afastamento inferior a 200 metros de corpo hídrico perene; que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão; e a avaliação preliminar das dimensões da área:

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente.

Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

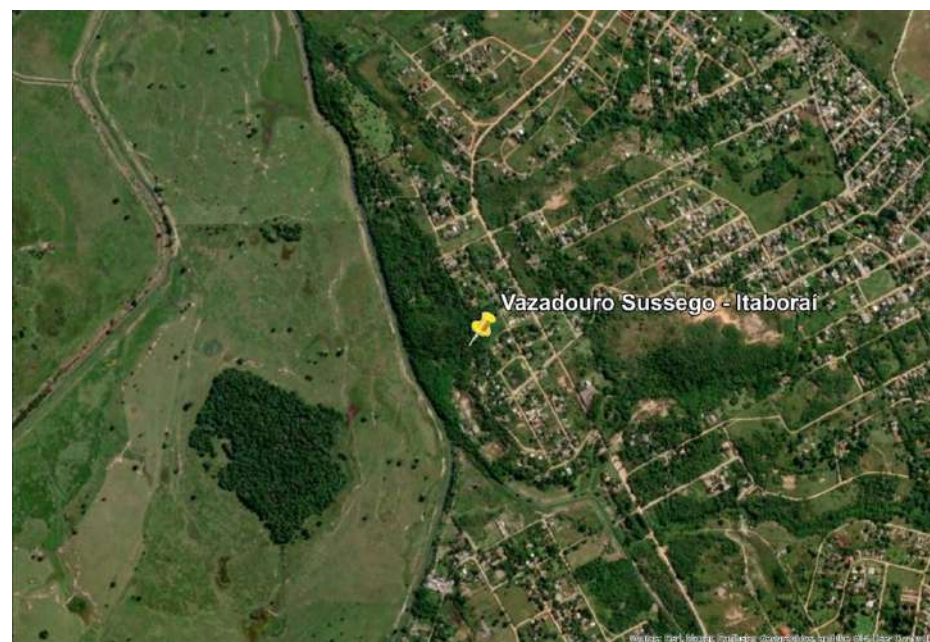
Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto; e
- As limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 56: Imagem Aérea do Vazadouro de Sossego – Itaboraí



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Itaboraí – Parque Aurora: (Status: Fechado – A Remediar)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2011. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro não possui limites bem definidos, margeando corpo hídrico, sendo improvável a previsão da extensão dos impactos ambientais causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação considerando:

Considerando o tempo decorrido desde o encerramento da atividade; que a atividade não possui licença ambiental; que não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área; o afastamento inferior a 200 metros de corpo hídrico perene; que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão; e a avaliação preliminar das dimensões da área:

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de

contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente.

Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto; e
- As limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 57: Imagem Aérea do Vazadouro de Parque Aurora – Itaboraí



Fonte: Software Google Earth 2023.

- **Vazadouro de Itaguaí – Santana: (Status: Fechado - Em Remediação)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2011. A primeira etapa de remediação foi iniciada e a atividade obteve, no dia 29 de outubro de 2012, a Licença Ambiental de Recuperação (LAR) nº IN021239, com vencimento previsto para 29 de outubro de 2013, a partir da análise do processo E-07/505.376/2012, aberto em 18 de maio de 2012. Conforme declarado pela Prefeitura de Itaguaí no Parecer Técnico nº 03/2023/Itaguaí, enviado ao IRM em 10 de outubro de 2023 em contribuição à audiência pública realizada em 05 de outubro de 2023, a atividade de remediação encontra-se, atualmente, em renovação de licença junto ao INEA.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer novo processo ou indicativo de pleito de renovação no processo original da atividade, entretanto, o município informou que existe um processo físico (E-07/505.376/2012) já em andamento.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro não possui limites bem definidos, que se encontra a, aproximadamente, 300 metros de corpo hídrico, sendo improvável a previsão da extensão dos impactos ambientais já causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- Que a atividade obteve LAR, entretanto, as obras não foram concluídas;
- Que a atividade está em processo de renovação de LAR (Conforme declarado pela Prefeitura);
- Que não foram constatadas intervenções de engenharia
- O afastamento de, aproximadamente, 300 metros de corpo hídrico perene;
- Que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se a finalização do processo de licenciamento ambiental da área e, de forma subsequente, a finalização das obras de remediação da mesma, conforme deliberações do órgão ambiental competente. Entende-se que, para tal, será necessário atualizar os estudos produzidos em função do tempo decorrido desde a primeira LAR da atividade. Face ao exposto entende-se ser necessária a contratação de estudo técnico para a reavaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior atualização de projeto técnico.

Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto; e
- As reduzidas ações de remediação constatadas através da análise da série histórica das imagens aéreas da área.

Recomenda-se, para um horizonte de 30 anos, analisar o potencial de geração e comercialização de energia elétrica derivada de fonte solar fotovoltaica a ser instalada na área. Caso o estudo sinalize condição favorável, a área deve ser imobilizada para esta exploração comercial, devendo, parte da receita, ser aplicada na manutenção das práticas de recuperação ambiental do maciço e seu entorno. Em caso negativo, recomenda-se a transformação da área em parque público.

Figura 58: Imagem Aérea do Vazadouro de Santana – Itaguaí



Fonte: Software Google Earth 2023.

• **Vazadouro de Itaguaí – Cidade Industrial: (Status: Fechado – A Remediar)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2011. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos. Em parecer técnico enviado pelo município, foi contestada a existência deste vazadouro perante as informações obtidas junto ao INEA, reconhecendo apenas o vazadouro identificado como Santana. Entretanto, até o momento da emissão deste relatório não foi feita a comprovação e atualização nos órgãos competentes, cabendo manter aqui a explanação de remediação caso seja aplicável.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIACÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIACÃO

DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIAÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro não possui limites bem definidos, margeando corpo hídrico, sendo improvável a previsão da extensão dos impactos ambientais causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- Que a atividade não possui licença ambiental;
- Que não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área;
- O afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene;
- Que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior

elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente.

Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

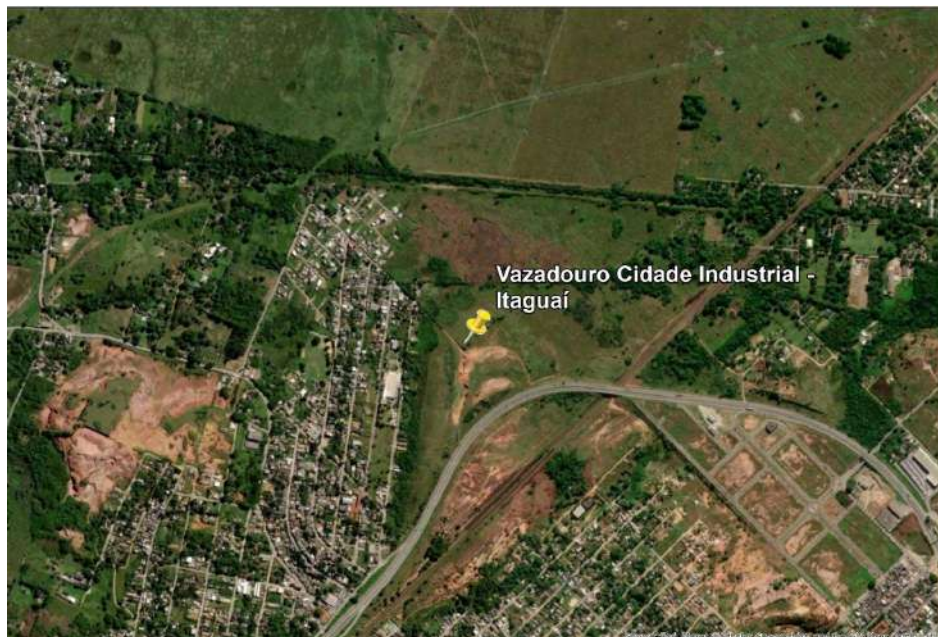
Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- o horizonte de projeto;
- as limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 59: Imagem Aérea do Vazadouro de Cidade Industrial – Itaguaí



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Japeri: (Status: Fechado - Em Remediação)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2013. A primeira etapa de remediação foi iniciada e a atividade obteve, no dia 27 de julho de 2017, a Licença Ambiental de Recuperação (LAR) nº IN040675, com vencimento previsto para 26 de julho de 2023, a partir da análise do processo E-07/002.655/2015, aberto em 22 de maio de 2015, logo a remediação está em curso.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro não possui limites bem definidos e, mesmo com o processo de licenciamento em curso, a partir das análises das imagens aéreas da área, de 2017 até 2023, não foram constatadas

significativas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- Que a atividade possui licença ambiental;
- Que foram adotadas reduzidas ações de remediação para a área;
- O afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene;
- Que não há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se verificar junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) o status do progresso das ações de remediação previstas na LAR nº IN040675.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto;
- As reduzidas ações de remediação constatadas através da análise da série histórica das imagens aéreas da área.

Recomenda-se, verificar junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) se há alguma indicação de uso futuro da área em questão na LAR nº IN040675.

Figura 60: Imagem Aérea do Vazadouro de Japeri



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Magé - Bongaba (Status: Operacional - Em Remediação)**

O vazadouro em questão ainda não foi formalmente encerrado. A primeira etapa de remediação foi iniciada e a atividade obteve, no dia 23 de fevereiro de 2011, a Licença Ambiental de Operação e Recuperação (LOR) nº IN015857, vencida em 23 de fevereiro de 2016, a partir da análise do processo E-07/202787/2001.

Posteriormente, em 10 de abril de 2019, foi dada a entrada na Licença Ambiental de Operação e Recuperação de nº IN003229, de recuperação do aterro de Bongaba, concomitantemente à operação temporária de triagem de RCC e trituração de material de poda; licença esta que venceu

em abril de 2021. Atenta-se ao fato de o aterro ter sido interditado pelo INEA em 23 de dezembro de 2020, devido às repetidas notificações ambientais não sanadas.

Como também vale ressaltar, deve-se deixar claro a existência da Lei Municipal nº 1623/2003 que estabelece a proibição de implantação de aterro sanitário no Município de Magé, que diz: “fica proibida a implantação de aterro sanitário e/ou lixão para qualquer tipo de lixo ou resíduos de qualquer natureza em um raio de 3 km (três quilômetros) de residências, hospitais, creches, centros médicos, asilos, clubes esportivos e mananciais hídricos de qualquer natureza no Município de Magé” (MAGÉ, 2003).

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIACÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIACÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIACÃO DE VAZADOURO COM OPERACÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de renovação de licença para a atividade em questão.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro possui limites bem definidos e, mesmo com o processo de licenciamento com vistas ao encerramento voltou a operar em setembro de 2017. Nota-se que, a partir de julho de 2019 começaram a ser executadas obras de retaludamento e reconformação geotécnica no flanco norte da área, entretanto, com operação concomitante no flanco oeste.

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- que a atividade se encontra em estado operacional com recuperação concomitante;
- que a atividade possui licença ambiental vencida (conforme termos descritos);

- que vem sendo adotadas ações de remediação para a área;
- o afastamento inferior à 200 metros de corpo hídrico perene;
- que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- a avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se verificar junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) o status do progresso das ações de remediação previstas na LOR nº IN003229 e se há alguma movimentação da Prefeitura Municipal de Magé ou da empresa responsável pela operação do vazadouro no sentido de renovar a respectiva LOR que se acha vencida.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- o horizonte de projeto; e
- as reduzidas ações de remediação constatadas através da análise da série histórica das imagens aéreas da área.

Recomenda-se, verificar junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) se há alguma indicação de uso futuro na área em questão na LOR nº IN003229.

Figura 61: Imagem Aérea do Vazadouro de Bongaba – Magé



Fonte: Software Google Earth 2023

• Vazadouro de Itapeba - Maricá: (Status: Fechado - A Remediar)

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2013. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi

localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro não possui limites bem definidos, margeando corpo hídrico, sendo improvável a previsão da extensão dos impactos ambientais causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- Que a atividade não possui licença ambiental;
- Que não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área;
- O afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene;
- Que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente.

Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

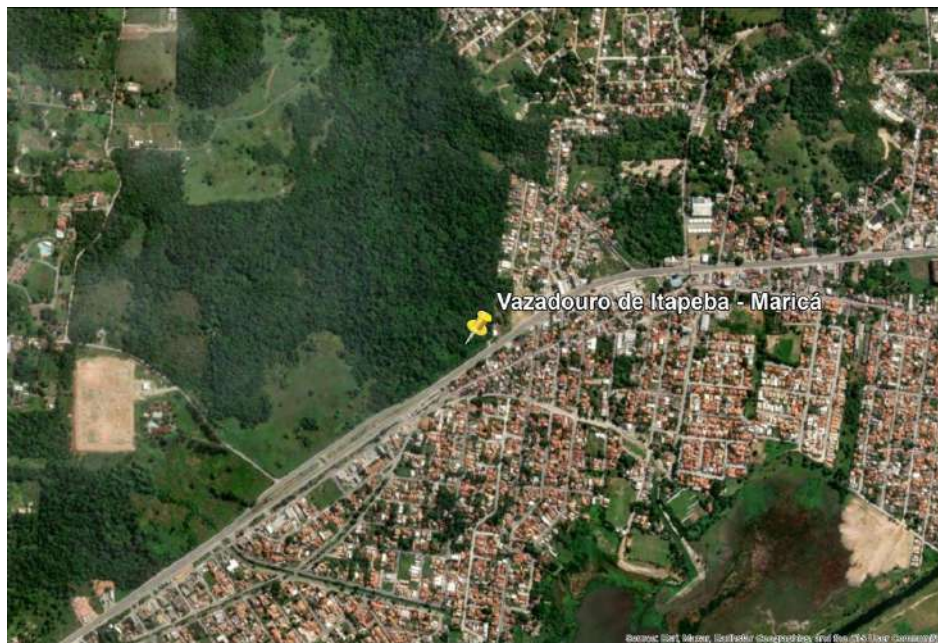
Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto; e
- As limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 62: Imagem Aérea do Vazadouro de Itapeba – Maricá



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Maricá - Caxito: (Status: Fechado - Em Remediação)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2013. Em teoria, a primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

Entretanto, a partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que a área se encontrava abandonada até agosto de 2022.

Em maio de 2023 a área apresenta significativa movimentação de máquinas pesadas atuando nas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- Que a atividade não possui licença ambiental conforme pesquisa realizada a partir dos critérios descritos acima;
- Que a partir de maio de 2023 foram constatadas ações de remediação na área;
- O afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene;
- Que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se verificar junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) a existência de processo de licenciamento para a remediação da atividade em questão, conforme exigido pelo Decreto Estadual nº 46.890/19 – Dispõe sobre o Sistema Estadual de Licenciamento e demais procedimentos de Controle Ambiental (SELCA).

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de

projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto; e
- Que foram constatadas ações de remediação em curso.

Recomenda-se verificar junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) a existência de processo de licenciamento para a remediação da atividade em questão, conforme exigido pelo Decreto Estadual nº 46.890/19 – Dispõe sobre o Sistema Estadual de Licenciamento e demais procedimentos de Controle Ambiental (SELCA) e se tal processo faz indicação de algum uso futuro da área do vazadouro em questão.

Figura 63: Imagem Aérea do Vazadouro de Caxito – Maricá



Fonte: Software Google Earth 2023

• Vazadouro de Nova Iguaçu – Marambaia (Status: Fechado -Remediado)

O vazadouro em questão foi encerrado no ano de 2006, tendo sido remediado conforme processo de licenciamento ambiental conduzido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA). **Logo, no âmbito deste prognóstico, não há recomendações técnicas de remediação a serem feitas para a área em questão.**

Figura 64: Imagem Aérea do Vazadouro de Marambaia – Nova Iguaçu



Fonte: Software Google Earth 2023

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto;
- Que se trata de significativa área descampada com incidência solar direta;
- Que não é possível realizar qualquer construção com mais de um pavimento sobre o maciço em função dos riscos geotécnicos;
- A necessidade de manutenção de rotinas de monitoramento geotécnico e ambiental;
- A necessidade ocupação da área para restringir a potencial invasão e construção de moradias sobre o maciço;
- Que o maciço ainda sofrerá recalques;
- As limitações econômicas em função das fragilidades sociais da localidade;
- Que os projetos solares fotovoltaicos podem ser modulares e não envolvem obras complexas de engenharia.

Recomenda-se, para um horizonte de 30 anos, analisar o potencial de geração e comercialização de energia elétrica derivada de fonte solar fotovoltaica a ser instalada na área. Caso o estudo sinalize condição favorável, a área deve ser imobilizada para esta exploração comercial, devendo, parte da receita, ser aplicada na manutenção das práticas de recuperação ambiental do maciço e seu entorno. Caso contrário, recomenda-se o cercamento o monitoramento da área a fim de se evitar a invasão e ocupação irregular da área.

• Vazadouro de Niterói – Morro do Céu (Status: Fechado - T. Encerramento):

O vazadouro em questão foi encerrado no ano de 2011, sendo sido remediado conforme processo de licenciamento ambiental conduzido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), com termo de encerramento expedido. **Logo, no âmbito deste prognóstico, não há recomendações técnicas de remediação a serem feitas para a área em questão.**

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando o horizonte de projeto; que se trata de significativa área descampada com incidência solar direta; que não é possível realizar qualquer construção com mais de um pavimento sobre o maciço em função dos riscos geotécnicos; a necessidade de manutenção de rotinas de monitoramento geotécnico e ambiental; a necessidade ocupação da área para restringir a potencial invasão e construção de moradias sobre o maciço; que o maciço ainda sofrerá recalques em função da degradação dos resíduos; as limitações de exploração econômica em função das fragilidades sociais da localidade; que os projetos solares fotovoltaicos podem ser modulares e não envolvem obras complexas de engenharia.

Recomenda-se, para um horizonte de 30 anos, analisar o potencial de geração e comercialização de energia elétrica derivada de fonte solar fotovoltaica a ser instalada na área. Caso o estudo sinalize condição favorável, a área deve ser imobilizada para esta exploração comercial, devendo, parte da receita, ser aplicada na manutenção das práticas de recuperação ambiental do maciço e seu entorno. Caso contrário, recomenda-se a transformação da área em parque público, quadras poliesportivas, pista de skate e outras atividades de recreação com eventual criação do “Mirante” do Caramujo.

IMPORTANTE: A partir do uso do Software Google Earth foi identificada a evolução e operação do Aterro Sanitário de Niterói, em área

contígua ao vazadouro de Morro do Céu, utilizado apenas para o descarte de podas e como pulmão para eventuais restrições do local de disposição final contratado pela Prefeitura.

Figura 65: Imagem Aérea do Vazadouro de Morro do Céu – Niterói



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Paracambi (Status: Fechado - Remediado)**

O vazadouro em questão foi encerrado no ano de 2011, sendo sido remediado conforme processo de licenciamento ambiental conduzido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Logo, no âmbito deste prognóstico, recomenda-se apenas a solicitação/obtenção de Termo de Encerramento junto ao INEA.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto;
- Que se trata de significativa área descampada com incidência solar direta;
- Que não é possível realizar qualquer construção com mais de um pavimento sobre o maciço em função dos riscos geotécnicos;
- A necessidade de manutenção de rotinas de monitoramento geotécnico e ambiental;
- A necessidade ocupação da área para restringir a potencial invasão e construção de moradias sobre o maciço;
- Que o maciço ainda sofrerá recalques em função da degradação dos resíduos;
- As limitações de exploração econômica em função das fragilidades sociais da localidade;
- Que os projetos solares fotovoltaicos podem ser modulares e não envolvem obras complexas de engenharia.

Recomenda-se, para um horizonte de 30 anos, analisar o potencial de geração e comercialização de energia elétrica derivada de fonte solar fotovoltaica a ser instalada na área. Caso o estudo sinalize condição favorável, a área deve ser imobilizada para esta exploração comercial, devendo, parte da receita, ser aplicada na manutenção das práticas de recuperação ambiental do maciço e seu entorno. Caso contrário, recomenda-se a transformação da área em parque público, quadras poliesportivas, pista de skate e outras atividades de recreação com eventual criação do “Mirante” de Paracambi.

Figura 66: Imagem Aérea do Vazadouro de Paracambi



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Petrópolis – Duarte da Silveira (Status: Fechado – A Remediar)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2011. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro possui limites bem definidos e encontra-se próximo à núcleo populacional, sendo possível a previsão da extensão dos impactos ambientais.

Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando o tempo decorrido desde o encerramento da atividade; que a atividade não possui licença ambiental; que não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área; o afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene; que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão; e a avaliação preliminar das dimensões da área:

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente.

Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

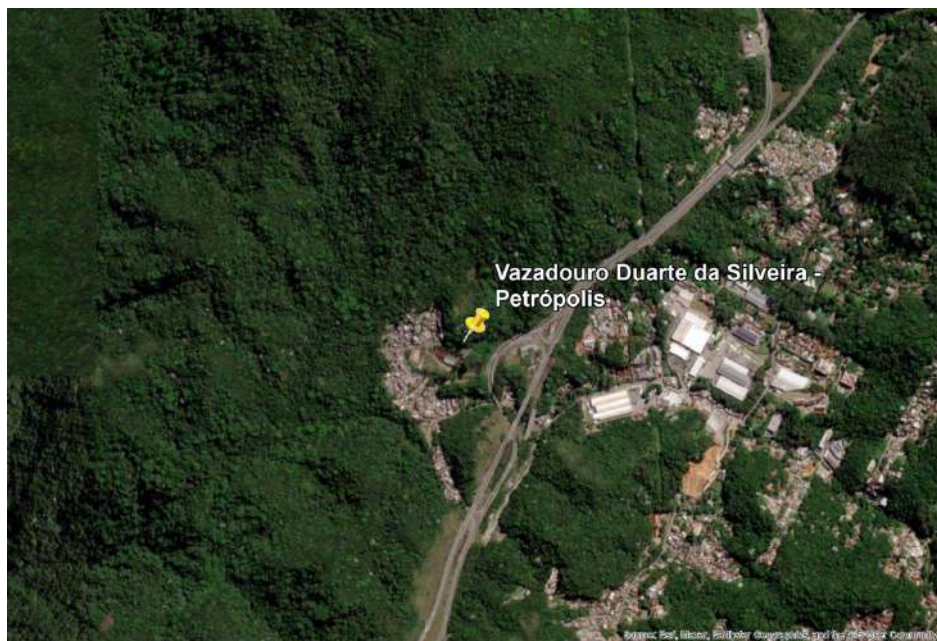
IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando o horizonte de projeto; e as limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 67: Imagem Aérea do Vazadouro de Duarte da Silveira – Petrópolis



Fonte: Software Google Earth 2023

• Vazadouro de Petrópolis – Pedro do Rio: (Status: Fechado – Remediado)

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2015. A primeira etapa de remediação foi iniciada e a atividade obteve, no dia 13 de junho de 2007, a Licença de Operação (LO) nº FE012865, vencida em 13 de junho de 2012, a partir da análise do processo E-07/200.954/2007. Destaca-se que na época ainda não existia o instrumento Licença Ambiental de Recuperação (LAR).

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de renovação de licença para a atividade em questão.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro possui limites bem definidos e, mesmo com o processo de licenciamento com vistas ao encerramento, voltou a operar em setembro de 2021 com a execução de obras de retaludamento e reconformação geotécnica na parte baixa e no flanco norte.

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- Que a atividade foi formalmente encerrada na área;
- Que a atividade possui licença ambiental vencida (conforme termos descritos);
- Que foram adotadas ações de remediação para a área;
- O afastamento inferior à 200 metros de corpo hídrico perene;
- Que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se verificar junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) o status do progresso das ações de remediação previstas na LO nº FE012865 e se há renovação do processo em questão.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto;
- As reduzidas ações de remediação constatadas através da análise da série histórica das imagens aéreas da área.

Recomenda-se, verificar junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) se há alguma previsão de uso futuro da área em questão na LO nº FE012865.

Figura 68: Imagem Aérea do Vazadouro de Pedro do Rio – Petrópolis



Fonte: Software Google Earth 2023

• Vazadouro de Queimados (Status: Fechado - A Remediar)

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2012.

A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro não possui limites bem definidos, não sendo possível precisar sem estudo detalhado, a extensão dos impactos ambientais causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- Que a atividade não possui licença ambiental;
- Que não foram adotadas quaisquer ações de remediação para a área;
- O afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene;

- Que há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

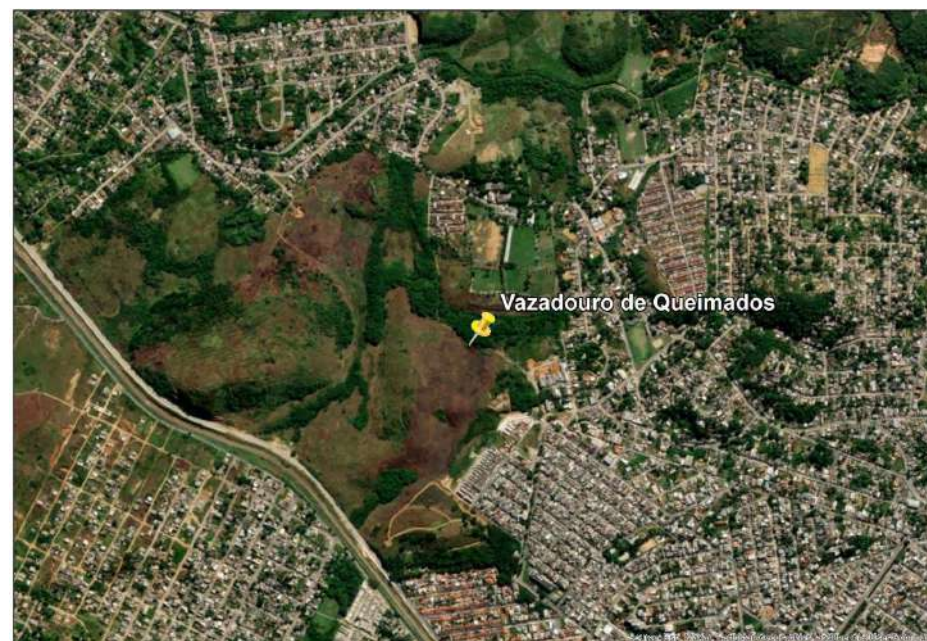
Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente. Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando o horizonte de projeto e as limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos: **recomenda-se**, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 69: Imagem Aérea do Vazadouro de Queimados



Fonte: Software Google Earth 2023

• Vazadouro de Rio Bonito (Status: **Fechado - A Remediar**)

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2013. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIÇÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIÇÃO DE VAZADOURO COM OPERAÇÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro possui limites bem definidos, sendo

possível estimar a extensão dos impactos ambientais causados. Foram constatadas ações de retaludamento e reconformação, entretanto, não foi constatada a instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume.

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- Que a atividade não possui licença ambiental;
- Que foram adotadas reduzidas ações de remediação para a área;
- O afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene;
- Que não há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente. Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de

projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

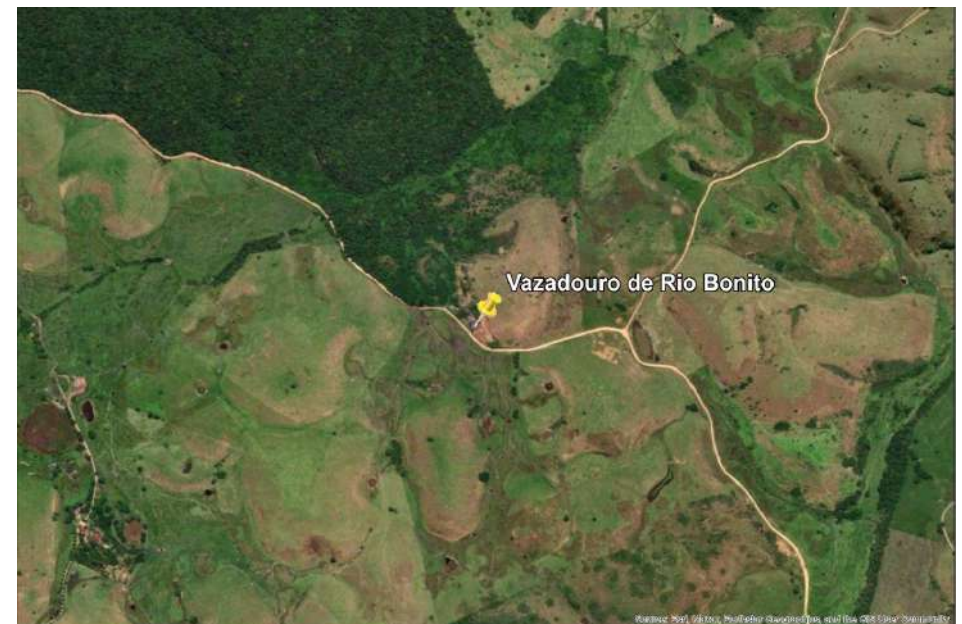
Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto;
- As limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 70: Imagem Aérea do Vazadouro de Rio Bonito



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro do Rio de Janeiro – Gericinó (Status: Fechado – T. Encerramento)**

O vazadouro em questão foi encerrado no ano de 2012, sendo sido remediado conforme processo de licenciamento ambiental conduzido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), com termo de encerramento expedido. **Logo, no âmbito deste prognóstico, não há recomendações de técnicas de remediação a serem feitas.**

Recomendação de Uso Futuro da Área

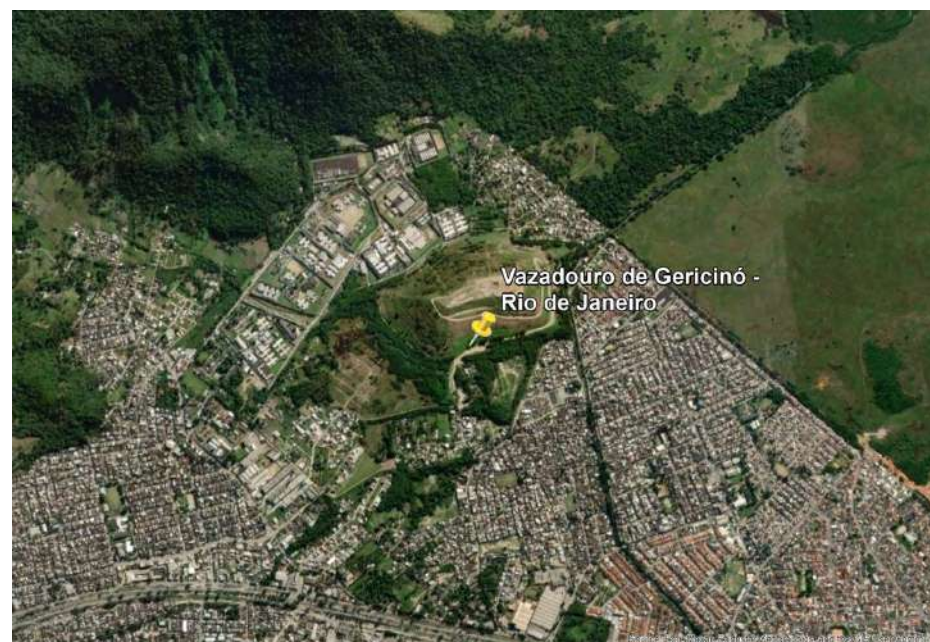
Considerando:

- O horizonte de projeto;
- Que se trata de significativa área descampada com incidência solar direta;
- Que não é possível realizar qualquer construção com mais de um pavimento sobre o maciço em função dos riscos geotécnicos;
- A necessidade de manutenção de rotinas de monitoramento geotécnico e ambiental;
- A necessidade ocupação da área para restringir a potencial invasão e construção de moradias sobre o maciço;
- Que o maciço ainda sofrerá recalques em função da degradação dos resíduos;
- As limitações de exploração econômica em função das fragilidades sociais da localidade;
- Que os projetos solares fotovoltaicos podem ser modulares e não envolvem obras complexas de engenharia.

Recomenda-se, para um horizonte de 30 anos, analisar o potencial de geração e comercialização de energia elétrica derivada de fonte solar

fotovoltaica a ser instalada na área. Caso o estudo sinalize condição favorável, a área deve ser imobilizada para esta exploração comercial, devendo, parte da receita, ser aplicada na manutenção das práticas de recuperação ambiental do maciço e seu entorno. Caso contrário, recomenda-se a transformação da área em parque público, quadras poliesportivas, pista de skate e outras atividades de recreação com eventual criação do “Mirante” de Gericinó.

Figura 71: Imagem Aérea do Vazadouro de Gericinó – Rio de Janeiro



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de São Gonçalo – Itaoca (Status: Fechado – Em Remediação)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2012. A primeira etapa de remediação foi executada no mesmo ano e, desde então, encontra-se em **recuperação parcial de nível I (tratamento**

secundário) regulado por processo de licenciamento ambiental conduzido e acompanhando pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

O vazadouro possui limites bem definidos, sendo possível constatar, a partir da análise de imagens aéreas, diversas intervenções de engenharia, em especial o retaludamento e a reconformação geotécnica, a instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e a instalação de sistema de drenagem e armazenamento de chorume.

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando o avançado das intervenções de **recuperação parcial (tratamento secundário)**, **recomenda-se** a finalização das obras de engenharia previstas e a manutenção do Plano de Monitoramento Geotécnico e Ambiental da atividade, conforme definido no rito de licenciamento ambiental.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto;
- Que se trata de significativa área descampada com incidência solar direta;
- Que não é possível realizar qualquer construção com mais de um pavimento sobre o maciço em função dos riscos geotécnicos;
- A necessidade de manutenção de rotinas de monitoramento geotécnico e ambiental;
- A necessidade ocupação da área para restringir a potencial invasão e construção de moradias sobre o maciço;
- Que o maciço ainda sofrerá recalques em função da degradação dos resíduos;

- As limitações de exploração econômica em função das fragilidades sociais da localidade;
- Que os projetos solares fotovoltaicos podem ser modulares e não envolvem obras complexas de engenharia.

Recomenda-se, para um horizonte de 30 anos, analisar o potencial de geração e comercialização de energia elétrica derivada de fonte solar fotovoltaica a ser instalada na área. Caso o estudo sinalize condição favorável, a área deve ser imobilizada para esta exploração comercial, devendo, parte da receita, ser aplicada na manutenção das práticas de recuperação ambiental do maciço e seu entorno. Caso contrário, em função de se tratar de área sensível, sujeita ao controle do poder paralelo, recomenda-se apenas realizar isolara a área e realizar o recobrimento com gramíneas.

IMPORTANTE: A partir do uso do Software Google Earth foram identificados, no entrono do vazadouro em questão, diversos focos de disposição final irregular de resíduos. Recomenda-se oficial formalmente a Prefeitura para ciência e providências.

Figura 72: Imagem Aérea do Vazadouro de Itaoca – São Gonçalo



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Seropédica (Status: Fechado - T. Encerramento)**

O vazadouro em questão foi encerrado no ano de 2011, tendo sido remediado conforme processo de licenciamento ambiental conduzido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), com termo de encerramento expedido. Logo, no âmbito deste prognóstico, **não há recomendações de técnicas de remediação a serem feitas.**

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto;
- Que se trata de significativa área descampada com incidência solar direta;

- Que não é possível realizar qualquer construção com mais de um pavimento sobre o maciço em função dos riscos geotécnicos;
- A necessidade de manutenção de rotinas de monitoramento geotécnico e ambiental;
- A necessidade ocupação da área para restringir a potencial invasão e construção de moradias sobre o maciço;
- Que o maciço ainda sofrerá recalques em função da degradação dos resíduos;
- As limitações de exploração econômica em função das fragilidades sociais da localidade;
- Que os projetos solares fotovoltaicos podem ser modulares e não envolvem obras complexas de engenharia.

Recomenda-se, para um horizonte de 30 anos, analisar o potencial de geração e comercialização de energia elétrica derivada de fonte solar fotovoltaica a ser instalada na área.

Caso o estudo sinalize condição favorável, a área deve ser imobilizada para esta exploração comercial, devendo, parte da receita, ser aplicada na manutenção das práticas de recuperação ambiental do maciço e seu entorno.

Caso contrário, recomenda-se a transformação da área em parque público, quadras poliesportivas, pista de skate e outras atividades de recreação.

Figura 73: Imagem Aérea do Vazadouro de Seropédica



Fonte: Software Google Earth 2023

- **Vazadouro de Tanguá: (Status: *Fechado – A Remediar*)**

O vazadouro em questão foi formalmente encerrado no ano de 2012. A primeira etapa de remediação ainda não foi iniciada, logo, não há estudo público sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Em consulta aos dados públicos do INEA, com o uso do distrator “REMEDIACÃO” e posterior aplicação dos filtros “REMEDIACÃO DE VAZADOURO PARA ENCERRAMENTO” e “REMEDIACÃO DE VAZADOURO COM OPERACÃO CONCOMITANTE” não foi localizado qualquer processo de licenciamento ambiental correlato ao município.

A partir de análise de imagem aérea extraída do software Google Earth, é possível constatar que o vazadouro não possui limites bem definidos, não sendo possível precisar, sem estudo detalhado, a extensão dos impactos ambientais causados. Não foram constatadas intervenções de engenharia (retaludamento, reconformação geotécnica, instalação de sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e sistema de drenagem e armazenamento de chorume).

Recomendação Técnica de Remediação

Considerando:

- O tempo decorrido desde o encerramento da atividade;
- Que a atividade não possui licença ambiental;
- Que foram adotadas reduzidas ações de remediação para a área;
- O afastamento superior a 200 metros de corpo hídrico perene;
- Que não há núcleo populacional em um raio de 500 metros da área em questão;
- A avaliação preliminar das dimensões da área.

Recomenda-se a realização de etapa inicial de remediação através da contratação de estudo técnico para avaliação das condições de comprometimento ambiental do local (área e volume ocupados, níveis de contaminação, nível de decomposição dos resíduos e permeabilidade do solo), que demandará inspeção local para reconhecimento de terreno e realização de análises (água superficial, subsuperficial e solo) para posterior elaboração de projeto técnico e requerimento de licenciamento junto ao órgão ambiental competente. Desta forma, em primeira análise, trata-se de área **promissora** para a técnica de **Recuperação Parcial de Nível I (Tratamento Secundário)**.

IMPORTANTE: Destaca-se que a definição da técnica de remediação a ser adotada na área em questão depende dos resultados dos estudos indicados acima, da avaliação de profissional habilitado, da elaboração de projeto técnico e da chancela pelo órgão ambiental competente em rito de licenciamento específico.

Recomendação de Uso Futuro da Área

Considerando:

- O horizonte de projeto;
- As limitações de informações sobre o nível e a extensão da contaminação causada pelo depósito irregular ao longo dos anos.

Recomenda-se, primeiramente, requerer a devida licença ambiental de recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente, para posterior definição das alternativas de uso futuro da área em questão.

Figura 74: Imagem Aérea do Vazadouro de Tanguá



Fonte: Software Google Earth 2023

Síntese e Recomendações

No quadro abaixo é apresentada a síntese e o status das ações de remediação dos vazadouros existentes na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 29: Status da Remediação dos Vazadouros Existentes na Região Metropolitana

Vazadouro		Status da Remediação					
		Primeira Etapa	Segunda Etapa				
			Tratamento Primário (Recuperação Simples)	Tratamento Secundário (Recuperação Parcial - Nível 1)	Tratamento Terciário (Recuperação Parcial - Nível 2)	Remoção dos Resíduos	Atenuação Natural Monitorada (ANM)
1	Belford Roxo	A fazer	-	-	-	-	-
2	Cachoeiras de Macacu	A fazer	-	-	-	-	-
3	Duque de Caxias (Gramacho)	Feito	-	-	Fazendo	-	-
4	Guapimirim	A fazer	-	-	-	-	-
5	Itaboraí - Sossego	A fazer	-	-	-	-	-
6	Itaboraí - Parque Aurora	A fazer	-	-	-	-	-
7	Itaguaí - Santana	Feito	Fazendo	-	-	-	-
8	Itaguaí - Cidade Industrial ^I	A fazer	-	-	-	-	-
9	Japeri	Feito	Fazendo	-	-	-	-
10	Magé	Feito	-	Fazendo	-	-	-
11	Maricá - Itapeba	A fazer	-	-	-	-	-
12	Maricá - Caxito	A fazer	-	Fazendo	-	-	-
13	Nova Iguaçu (Marambaia)	Feito	-	Feito	-	-	-
14	Niterói (Morro do Céu)	Feito	-	Feito	-	-	-
15	Paracambi	Feito	-	Feito	-	-	-
16	Petrópolis (Duarte da Silveira)	A fazer	-	-	-	-	-
17	Petrópolis (Pedro do Rio)	A fazer	-	-	-	-	-

^I Há divergências nas informações entre a Prefeitura de Itaguaí e INEA. A prefeitura contesta a informação da existência do vazadouro Cidade Industrial junto ao INEA, reconhecendo apenas o vazadouro de Itaguaí – Santana.

Tabela 29: Status da Remediação dos Vazadouros Existentes na Região Metropolitana (continuação)

Vazadouro		Status da Remediação					
		Primeira Etapa	Segunda Etapa				
			Tratamento Primário (Recuperação Simples)	Tratamento Secundário (Recuperação Parcial - Nível 1)	Tratamento Terciário (Recuperação Parcial - Nível 2)	Remoção dos Resíduos	Atenuação Natural Monitorada (ANM)
18	Queimados	A fazer	-	-	-	-	-
19	Rio Bonito	A fazer	-	-	-	-	-
20	Rio de Janeiro (Gericinó)	Feito	-	Feito	-	-	-
21	São Gonçalo (Itaoca)	Feito	-	Fazendo	-	-	-
22	Seropédica	Feito	-	Feito	-	-	-
23	Tanguá	A fazer	-	-	-	-	-

Fonte: Engeconsult, 2023.

Desta forma, é possível constatar que, das 23 áreas identificadas, apenas 10 áreas (Duque de Caxias – Gramacho, Itaguaí – Santana, Japeri, Magé, Nova Iguaçu – Marambaia, Niterói – Morro do Céu, Paracambi, Rio de Janeiro – Gericinó, São Gonçalo – Itaoca e Seropédica) já produziram para fins de licenciamento ambiental a Primeira Etapa de Remediação, conforme termos e conceitos já definidos.

Destas, 1 área (Japeri) está realizando o Tratamento Primário (Recuperação Simples), 5 áreas (Nova Iguaçu – Marambaia, Niterói – Morro do Céu, Paracambi, Rio de Janeiro – Gericinó e Seropédica) já realizaram o Tratamento Secundário (Recuperação Parcial de Nível 1), 2 áreas (Magé e São Gonçalo – Itaoca) estão realizando o Tratamento Secundário (Recuperação Parcial de Nível 1) e apenas 1 área (Duque de Caxias – Gramacho) está realizando Tratamento Terciário (Recuperação Parcial de Nível 2). Tal análise indica fato preocupante, que agrava de forma significativa a qualidade do ambiente do Estado do Rio de Janeiro.

Conforme constatado, 13 (Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Itaboraí – Sossego, Itaboraí - Parque Aurora, Itaguaí - Cidade Industrial², Maricá – Itapeba, Maricá – Caxito, Petrópolis - Duarte da Silveira, Petrópolis - Pedro do Rio, Queimados, Rio Bonito, Tanguá) das 23 áreas identificadas neste estudo, ainda não realizaram nenhuma ação de remediação, mesmo após cerca de 10 anos (em média) do fechamento das áreas consideradas.

A tabela a seguir consolida as proposições sugeridas para os vazadouros que ainda não iniciaram o processo de gerenciamento das áreas contaminadas pela disposição final de RSU na RMRJ. Destaca-se que as proposições possuem caráter orientativo e foram idealizadas à luz das melhores técnicas de engenharia disponíveis, sendo necessário que os municípios

2 Há divergências nas informações entre a Prefeitura de Itaguaí e o INEA. A prefeitura contesta a informação da existência do vazadouro Cidade Industrial junto ao INEA, reconhecendo apenas o vazadouro de Itaguaí – Santana.

ou as empresas responsáveis pelas áreas contaminadas procedam à elaboração ou à contratação de estudo de diagnóstico ambiental, produzido e assinado por equipe técnica habilitada, considerando o rol de referências normativas e legais já descritas.

Tabela 30: Consolidação das Recomendações de Remediação.

Vazadouro		Análise dos Vazadouros			Recomendação Preliminar de Ação de Remediação				
		Fechado	Ano de Encerramento	Primeira Etapa	Segunda Etapa				
					Tratamento Primário (Recuperação Simples)	Tratamento Secundário (Recuperação Parcial - Nível 1)	Tratamento Terciário (Recuperação Parcial - Nível 2)	Remoção dos Resíduos	Atenuação Natural Monitorada (ANM)
1	Belford Roxo	Sim	2012	A fazer			x		
2	Cachoeiras de Macacu	Sim	2012	A fazer					x
3	Guapimirim	Sim	2012	A fazer					x
4	Itaboraí - Sossego	Sim	2011	A fazer		x			
5	Itaboraí - Parque Aurora	Sim	2011	A fazer		x			
6	Itaguaí - Cidade Industrial ³	Sim	2011	A fazer		x			
7	Maricá - Itapeba	Sim	2013	A fazer		x			
8	Maricá - Caxito	Sim	2013	A fazer			x		
9	Petrópolis (D. da Silveira)	Sim	2011	A fazer		x			
10	Petrópolis (Pedro do Rio)	Sim	2015	A fazer			x		
11	Queimados	Sim	2012	A fazer		x			
12	Rio Bonito	Sim	2013	A fazer		x			
13	Tanguá	Sim	2012	A fazer		x			

³ Há divergências nas informações entre a Prefeitura de Itaguaí e o INEA. A prefeitura contesta a informação da existência do vazadouro Cidade Industrial junto ao INEA, reconhecendo apenas o vazadouro de Itaguaí – Santana.

Tabela 30: Consolidação das Recomendações de Remediação. (continuação)

Vazadouro		Análise dos Vazadouros		Recomendação Preliminar de Ação de Remediação					
		Fechado	Ano de Encerramento	Primeira Etapa	Segunda Etapa				
					Tratamento Primário (Recuperação Simples)	Tratamento Secundário (Recuperação Parcial - Nível 1)	Tratamento Terciário (Recuperação Parcial - Nível 2)	Remoção dos Resíduos	Atenuação Natural Monitorada (ANM)
Critérios Preliminares de Elegibilidade de Técnicas de Remediação (Segunda Etapa):									
1	Recuperação Simples:		Vazadouros com pequena altura e taludes estáveis, fora de área sensível, com oferta de material de recobrimento em município pequeno.						
2	Recuperação Parcial - Nível 1:		Vazadouros de médio à grande porte sem a previsão de realizar o tratamento in loco de biogás e chorume						
3	Recuperação Parcial - Nível 2:		Vazadouros médio à grande porte com a previsão de realizar o tratamento in loco de biogás e chorume						
4	Remoção de Resíduos:		Vazadouros de pequeno porte em local que, em primeira análise, apresente significativo risco geológico ou geotécnico.						
5	Atenuação Natural Monitorada:		Vazadouros de qualquer porte que não apresente risco geológico e que esteja distante de núcleos populacionais.						

Fonte: Engeconsult, 2023.

Face ao exposto, vale destacar que, a partir da análise de diversas experiências internacionais e nacionais, a rentabilização monetária do processo de remediação de áreas contaminadas pela disposição final de RSU tende a zero, até mesmo a partir de Parcerias Públicas Privadas (PPP) idealizadas para este fim.

É necessário compreender que, a remediação de vazadouros não fornece subproduto comercializável que desperte real interesse de investimento pela iniciativa privada.

Vazadouros não operam com controle tecnológico, não seguem boas práticas técnicas, não seguem diretrizes normativas e não seguem programas de gestão ambiental. Vazadouros não são fruto de projetos técnicos e nem passíveis de licenciamento ambiental, somente a recuperação/remediação dos mesmos.

Vale destacar que a operação de vazadouros no Estado do Rio de Janeiro é proibida e criminosa desde o ano de 2003 por força da Lei Estadual nº 4.191/2003, que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos.

Outro ponto a se destacar é que o único subproduto com potencial de gerar receita no processo de disposição final de RSU em solos é o Biogás gerado durante a decomposição da matéria orgânica presente no RSU. O Biogás pode ser purificado e comercializado para a geração de energia (térmica ou elétrica) e/ou, pode gerar créditos de carbono a partir da sua adequada gestão e queima.

Entretanto, como vazadouros não realizam controle tecnológico, como não há rotina de recobrimento e compactação e não há sistema de drenagem adequado (da base ao topo), as emissões de biogás tendem a ser difusas, inconstantes e de baixa qualidade para um eventual aproveitamento nestas áreas. Esta condição é dispar em um aterro sanitário licenciado.

Os aterros sanitários são projetados para drenar adequadamente o biogás, em horizonte operacional planejado, a partir de tecnologia específica, com incremento de produção previsto ao longo do tempo, de forma perene, com maior segurança e qualidade, possibilitando modelagem de negócios consistente a partir da exploração desta fonte de energia renovável.

O diagnóstico das áreas contaminadas pela disposição irregular de resíduos na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro aponta para um encerramento médio de 10 anos nas 23 áreas existentes.

Logo, acredita-se que, a remota janela de oportunidade correlata ao aproveitamento de biogás nestes vazadouros já tenha sido perdida em função da emissão difusa e da falta de intervenções de remediação e selamento ao longo da última década.

Outro ponto a ser considerado é correlato à participação das cooperativas de catadores de materiais recicláveis no escopo das ações de encerramento e remediação.

Passados mais de 10 anos desde o fechamento da maioria dos vazadouros existentes na Região Metropolitana, acredita-se que aqueles que tiravam seu sustento da atividade de catação nestes locais já foram forçados pelas circunstâncias, a buscarem alternativas de geração de renda e de sobrevivência. Logo, entende-se que, na maioria dos municípios, outra janela de oportunidade pode ter sido perdida em função da ausência de políticas públicas de reintegração social destes profissionais.

Desta forma, julga-se pertinente proceder com a análise de aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e políticos do cenário identificado e a produção de rol de recomendações estratégicas para a consolidação dos modelos de remediação de áreas contaminadas e utilização dos espaços (em um horizonte de 30 anos) nos municípios da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro:

Recomenda-se que as ações de **curto prazo** ocorram no período de **0 a 2 anos** a partir da publicação deste plano. Assim, sugere-se ao poder público, em articulação com a iniciativa privada, com a academia e com a sociedade, o desenvolvimento das seguintes ações neste período:

- Revisar e fortalecer o marco legal e regulatório relacionado à remediação ambiental de áreas contaminadas pela disposição final de RSU, considerando leis de proteção ambiental, licenciamento ambiental e responsabilidade civil e penal por danos ambientais.
- Destacar ou criar órgão governamental específico para supervisionar, coordenar e fiscalizar as estratégias de remediação propostas neste prognóstico, bem como estabelecer diretrizes, normas, padrões técnicos e estratégias de financiamento para a efetivação das ações de remediação.
- Realizar a primeira etapa do processo de remediação descrita neste prognóstico das áreas contaminadas pela disposição final inadequada de RSU (Apenas para os casos aplicáveis);

- Realizar o requerimento de Licença Ambiental de Recuperação (LAR) junto ao órgão ambiental competente (Apenas para os casos aplicáveis);
- Promover e estruturar a criação de um fundo de financiamento dedicado à remediação de áreas contaminadas pela disposição final inadequada de RSU, buscando recursos provenientes de fontes públicas e privadas para garantir recursos materiais e financeiros adequados e sustentáveis;
- Mapear e identificar a existência de cooperativas de catadores de materiais recicláveis órfãs dos vazadouros encerrados;
- Criar, manter e atualizar de forma recorrente portal na internet, totalmente acessível ao grande público, demonstrando o mapeamento das áreas contaminadas pela disposição final irregular de RSU na Região Metropolitana e o status da remediação de cada uma delas;
- Regulamentar o Decreto nº 11.414/2023, que institui o Programa Diogo de Sant'Ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores.
- Propor a redefinição de critérios de concessão de recursos públicos via ICMS Ecológico, na busca por privilegiar municípios que, efetivamente tenham realizado a remediação de seus vazadouros e não apenas o fechamento dos mesmos.

Recomenda-se que as ações de **médio prazo** ocorram no período de **2 a 5 anos** a partir da publicação deste plano. Desta forma, sugere-se ao poder público, em articulação com a iniciativa privada, com a academia e com a sociedade, o desenvolvimento das seguintes ações neste período:

- Realizar a segunda etapa do processo de remediação descrita neste prognóstico de todas as áreas contaminadas pela disposição final inadequada de RSU (Apenas para os casos aplicáveis);

- Realizar o requerimento de Termo de Encerramento (TE) junto ao órgão ambiental competente (Apenas para os casos aplicáveis);
- Estabelecer um sistema abrangente de monitoramento e avaliação, integrando órgão ambiental, agência reguladora, academia, sociedade e o próprio IRM, para acompanhar o progresso e a eficácia das ações de remediação ao longo do tempo, permitindo a orientação de ajustes e melhoria contínua dos processos;
- Propor a implementação de incentivos e estímulos para atrair a participação do setor privado e a adoção de tecnologias inovadoras na remediação, como benefícios fiscais, subsídios e certificações ambientais;
- Operacionalizar fundo de financiamento dedicado à remediação de áreas contaminadas pela disposição final inadequada de RSU;
- Desenvolver plano de ação socioambiental para a reintegração dos catadores órfãos dos materiais recicláveis oriundos dos vazadouros encerrados na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro;

Recomenda-se que as ações de **longo prazo** ocorram no período de **5 a 30 anos** a partir da publicação deste plano. Desta forma, sugere-se ao poder público, em articulação com a iniciativa privada, com a academia e com a sociedade, o desenvolvimento das seguintes ações neste período:

- Elaborar Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para a instalação de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia limpa e sustentável nas áreas em que já houver Termo de Encerramento (TE) expedido pelo órgão ambiental competente;
- Estruturar Parcerias Público Privadas para viabilizar o aproveitamento energético a partir de sistemas fotovoltaicos nas áreas em que já houver Termo de Encerramento (TE) expedido pelo órgão ambiental competente;

- Realizar o requerimento de Licença Prévia (LP) junto ao órgão ambiental competente, para a instalação de sistemas fotovoltaicos nas áreas em que já houver Termo de Encerramento (TE) expedido;
- Incentivar a participação ativa da comunidade local e dos potenciais usuários das áreas remediadas por meio de programas de educação ambiental, consultas públicas, envolvimento de organizações da sociedade civil e criação de comitês locais para promover a transparência e o monitoramento social;
- Para os casos em que não houver sinalização de viabilidade para a instalação de sistemas fotovoltaicos sobre os maciços encerrados, promover o cercamento integral da área, construir e gerenciar infraestrutura de parque público (quadras poliesportivas, pistas de skate, mountain bike e/ou motocross, espaços de convivência, gazebos, trilhas, mirantes etc.). Apesar desta ação configurar investimento de fundo perdido, julga-se extremamente importante para coibir a invasão das áreas e a construção de moradias sobre os maciços sanitários.

5.4. RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA

5.4.1 Viabilidade para plantas de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos

Conforme estabelecido pela NBR 17100, o gerenciamento adequado de resíduos deve ser compreendido em múltiplas etapas, iniciando-se na prevenção e não geração, englobando ainda ações pós-geração, operações intermediárias e, por fim, operações de destinação (ABNT, 2023).

O tratamento de resíduos através da combustão, a gaseificação e o arco de plasma surgem como alternativas promissoras para a valorização energética de RSU, possibilitando não apenas a minimização de impactos

ambientais, mas também a otimização de recursos e a inserção de um novo vetor econômico no ciclo de vida dos resíduos.

Geralmente após a coleta municipal, o RSU é encaminhado diretamente aos aterros sanitários sem passar por etapas cruciais de triagem ou segregação. Uma exceção relevante é o município do Rio de Janeiro, que já adota Estações de Transbordo de Resíduos (ETR) em locais estratégicos como Bangu, Caju, Jacarepaguá, Marechal Hermes e Santa Cruz. Estas estações simbolizam um avanço no processo de concentração e tratamento preliminar dos RSU, atuando como pontos de intermediação entre a geração e a destinação final dos resíduos.

A valorização monetária dos RSU exige um olhar atento às etapas de triagem e segregação, permitindo a separação de subprodutos, como materiais recicláveis e Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR). Esses CDRs, quando encaminhados a uma Unidade de Recuperação de Energia (URE), proporcionam a geração de energia elétrica por meio de processos de queima de resíduos através da combustão, termodegradação ou arco de plasma.

Ao final desse processo, as cinzas resultantes podem ser utilizadas em usinas de asfalto, imobilizando-as na massa asfáltica de pavimentação. Esse ciclo integrado sinaliza a possibilidade de um futuro onde resíduos são em grande parte reaproveitados, gerando valor econômico e reduzindo impactos ambientais.

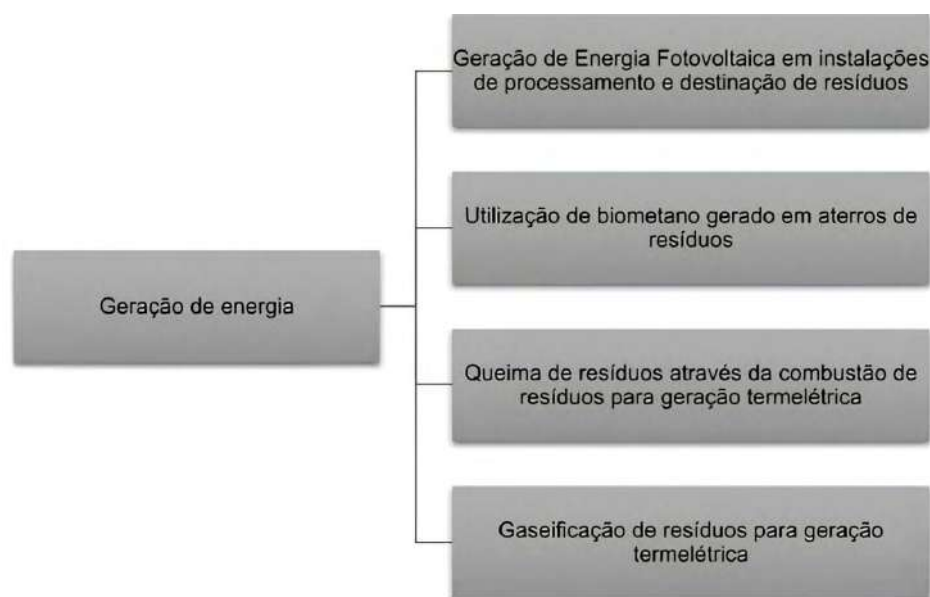
O planejamento e integração destes sistemas - desde os pontos de concentração até a geração de energia e produção de asfalto - devem ser concebidos considerando a proximidade entre as unidades, visando maximizar a eficiência operacional e minimizar custos logísticos.

A busca por soluções integradas, como serão feitas algumas proposições neste Prognóstico, não apenas atende às diretrizes da NBR 17100, mas também se alinha às melhores práticas internacionais em gestão de resíduos, conferindo à Região Metropolitana do Rio de Janeiro um

protagonismo, dentro do estado, na transformação sustentável do cenário de RSU.

Serão considerados quatro eixos energéticos principais a partir da gestão dos resíduos sólidos, sendo três diretamente ligados ao processamento dos RSU e um quarto eixo relativo à área ocupada pela disposição final. Como se mostra a seguir.

Figura 75: Principais Eixos Energéticos sobre Resíduos Sólidos da RMRJ



Fonte: ENGECONSULT (2023)

A geração de energia fotovoltaica associada às instalações de tratamento de resíduos sólidos urbanos será abordada no próximo item.

O gás recolhido em aterros sanitários, após processamento, pode ser usado como biogás em algumas aplicações:

- Substituição de combustíveis fósseis para o uso em frotas de veículos leves

- Uso direto como combustível em fornos, caldeiras, estufas e outros equipamentos industriais
- Cogeração de eletricidade e calor

O Biometano, segundo a ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, é “um biocombustível gasoso obtido a partir do processamento do biogás. Por sua vez, o biogás é originário da digestão anaeróbica de material orgânico (decomposição por ação das bactérias), composto principalmente de metano e dióxido de carbono (CO_2)”.

Ainda segundo a ANP, uma vez purificado, o biogás se transforma no “biometano com elevado teor de metano em sua composição, que reúne características que o torna intercambiável com o gás natural em todas as suas aplicações ou passível de ser transportado na forma de gás comprimido por meio de caminhão-feixe (gasoduto virtual) ou na forma de gás liquefeito, denominado biometano liquefeito - Bio-GNL”.

AANP regulamenta as características do biometano produzido a partir de resíduos de fontes agrossilvopastoris através da Resolução ANP 906 de 2022 e o biometano produzido através de gases de aterro pela Resolução ANP 886 de 2022, que estabelece a especificação e as regras para aprovação do controle da qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado no território nacional.

Note-se que esta Resolução não se aplica ao produtor de biometano oriundo de aterro sanitário ou de estação de tratamento de esgoto que comercializar o produto para fins de geração de energia elétrica.

A utilização de biometano gerado em aterros de resíduos já é uma realidade no estado do Rio de Janeiro que produziu 151.243.140 m³ de biometano em 2022 segundo os dados disponíveis no Painel Dinâmico de Produtores de Biometano da ANP.

No Brasil, a primeira iniciativa de aproveitamento de biogás para produzir biometano ocorreu na década de 1970, na cidade do Rio de Janeiro, no antigo lixão do Caju (NASCIMENTO,2019).

Foi recuperada ao longo dos anos uma quantidade significativa de gás, da ordem de 2 dezenas de milhões de metros cúbicos chegando a ser misturados na rede de distribuição de gás da concessionária CEG e também em alguns veículos da empresa de coleta de lixo do município (MUYLAERT, 2000).

O sistema foi implantado pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Estado do Rio de Janeiro (COMLURB), que recuperou cerca de 20 milhões de metros cúbicos de biogás, injetando-o na rede de gás natural da Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG). Em 1980, passou a abastecer parte da frota da COMLURB (MUYLAERT, 2000).

Há atualmente duas instalações de produção de biometano autorizadas pela ANP no estado, sendo uma em São Pedro da Aldeia e a outra em Seropédica, na RMRJ, com um volume médio de processamento de 140.645 m³ por mês, desde julho de 2020.

Essa estratégia é importante para a descarbonização da economia do RJ, uma vez que o potencial de geração de gases do efeito estufa do Metano é cerca de 21 vezes maior que o do CO₂.

Para o caso específico de geração de energia elétrica a partir do Biometano há atualmente 3 alternativas tecnológicas já disponíveis comercialmente:

- Motores de combustão interna
- Turbinas a gás
- Microturbinas a gás.

Tabela 31: Geração de Energia Elétrica por Biometano.

Tecnologia	Capacidades	Custo por KW	Vantagens	Desvantagens
Motores de combustão interna	De 5 kW a 5 MW	\$	Confiabilidade e flexibilidade na composição do combustível	Sujeitos à corrosão interna por impurezas do Biogás
Turbinas a gás	500 kW a 250 MW	\$\$\$	Menor suscetibilidade à corrosão	Necessidade de compressores para o gás, que consomem energia Necessitam gás com maior pureza
Microturbinas a gás	30 kW a 1 MW	\$\$\$\$\$	Flexibilidade para uso em pequenas instalações locais	Baixa emissão de NO _x Preço elevado

Fonte: Engeconsult, 2023.

Desta forma a geração de energia elétrica a partir de Biogás será discutida a partir Motores e Microturbinas a gás. As turbinas a gás foram descartadas da análise por demandarem pressões muito grandes na entrada, o que geraria a necessidade de grande quantidade de gás e equipamentos de compressão para o atingimento desta condição.

O valor para a implantação de motogeradores para processar biogás varia conforme a capacidade do projeto e condições como localização do projeto, tecnologia empregada e rendimento esperado. No estudo “Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil”, Nascimento *et al.*

elencaram o custo de implantação de diversos projetos no Brasil para geração termelétrica a partir de biogás usando a tecnologia de motores. O exame destes dados permitiu construir a tabela abaixo, contendo os valores reportados para usinas na região Sudeste.

Tabela 32: Investimento para Implantação de Motogeradores a Gás

Usina	Potência (MW)	Tipo	Ano	Investimento	R\$/MW
Usina termelétrica do Aterro Sanitário de Uberlândia, Uberlândia (MG)	2,8	Motogerador	2012	R\$ 58.212.000,00	20.790.000,00
Usina termelétrica de biogás da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040, em Belo Horizonte (MG)	5,7	Motogerador	2011	R\$ 24.255.000,00	4.255.263,16
Usina termelétrica Bandeirantes, São Paulo (SP)	22,2	Motogerador	2004	R\$ 48.000.000,00	2.162.162,16
Usina termelétrica a biogás do Aterro Sítio São João, São Paulo (SP)	22,4	Motogerador	2008	R\$ 64.000.000,00	2.857.142,86

Usina	Potência (MW)	Tipo	Ano	Investimento	R\$/MW
Usina termelétrica de Guataparã, Guataparã (SP)	4,2	Motogerador	2014	R\$ 15.000.000,00	3.571.428,57
				Média	6.727.199,35

Fonte: Nascimento et al., 2019.

Como visto, o custo médio de implantação foi de aproximadamente 7 milhões de reais por MW implantado, valor que será usado como referência nesse trabalho.

• Combustão de Resíduos para Geração Termelétrica

Pelos exemplos estudados, o custo de implantação de sistemas de combustão de RSU ainda permanece bastante elevado diante da situação econômica do Brasil, num montante da ordem de R\$ 500.000.000,00 para a implantação de uma unidade de com capacidade de processamento de 825 t/dia e potência de geração de 30 MW, ou seja, um custo unitário de aproximadamente R\$ 17.000.000,00/MW.

Uma avaliação econômica foi conduzida por Leme et al. (2014), comparando duas alternativas para a recuperação de energia nas condições brasileiras. A primeira usando uma planta de biogás e a segunda usando queima de resíduos através da combustão direta do tipo mass burning, ambas em cenários de cidades com 100.000, 500.000 e 1.000.000 de habitantes.

A conclusão dos autores foi que o fator escala é importante, sendo que, no caso de queima do biogás os casos de 500.000 e 1.000.000 de habitantes tem melhores retornos. Já para os processos mass burning nenhum

cenário se mostrou economicamente viável devido aos altos custos de COI (Cost of Investment) e O&M (Operation & Maintenance) e ao baixo WTB (Want to Buy) que se dispõe a pagar pelo serviço.

Ainda há que se considerar a desvantagem ambiental da combustão direta de resíduos sólidos já que a geração de energia que está diretamente associada à geração de NO_x em seu processo de queima.

A implantação de uma unidade desta natureza implica necessariamente na verificação da situação presente e futura das bacias aéreas da região em relação a esse poluente em referência aos padrões de qualidade do ar.

• **Gaseificação de Resíduos para Geração Termelétrica**

No Brasil temos a usina de termodegradação de RSU, localizada em Unaí, Minas Gerais, representa um avanço significativo na gestão e tratamento de resíduos sólidos urbanos. Com uma capacidade de processamento de 280 toneladas de RSU por dia, o empreendimento demandou um investimento de R\$ 28.000.000,00.

Apesar da robustez de sua infraestrutura e da magnitude de sua operação, a usina ocupa uma área compacta de 5.000 m², otimizando o espaço e demonstrando eficiência em seu design e planejamento.

Dentre as vantagens da gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), destaca-se a capacidade de processar uma vasta gama de resíduos, inclusive aqueles considerados não recicláveis. Esta técnica permite ainda a geração de um gás rico, que pode ser convertido em eletricidade ou combustíveis líquidos. Quando se trata do perfil ambiental, a gaseificação se sobressai por apresentar menor emissão de poluentes quando comparada à combustão direta, contribuindo para uma abordagem mais sustentável no tratamento de resíduos (PAIVA, 2022).

Por outro lado, a gaseificação de RSU também apresenta desafios. A complexidade técnica é um aspecto a ser considerado, visto que o processo requer equipamentos sofisticados e uma operação cuidadosa. Além disso,

o investimento inicial pode ser significativo, tornando-se um entrave para algumas municipalidades. Outra preocupação refere-se às impurezas no gás gerado, as quais podem necessitar de tratamentos adicionais para sua remoção ou neutralização (MENDONÇA, 2019).

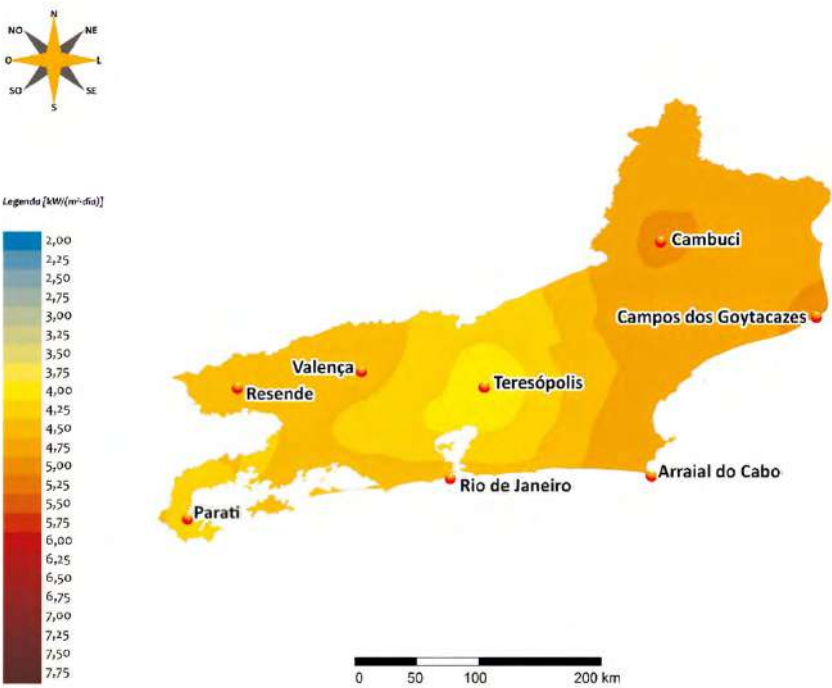
5.4.2. Geração de energia limpa nas áreas de tratamento e disposição final de RSU

Associar a energia elétrica gerada por fonte sustentável ao tratamento do RSU, processo onde há um grande consumo energético para transformar a matéria em energia, é uma estratégia para mudança de paradigma entre enterrar os resíduos nos aterros sanitários para recuperar a energia ainda contida dentro desses resíduos.

A Geração Distribuída (GD) se caracteriza pela obtenção da energia onde ela é consumida e, eventuais sobras, são injetadas no Sistema Integrado Nacional (SIN). O Sistema Interligado Nacional - SIN é um sistema hidrotérmico de grande porte para produção e transmissão de energia elétrica, cuja operação envolve modelos complexos de simulações que estão sob coordenação e controle do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, que, por sua vez, é fiscalizado e regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

No Brasil, a geração distribuída tem sido realizada principalmente com a utilização das fontes renováveis: hídrica, eólica, biomassa e solar, com destaque para esta última. A geração fotovoltaica se destaca dentre as tecnologias utilizadas na geração distribuída no Brasil, participando com 97,0% do total (posição: 16/12/2020). A principal razão para a expressiva liderança refere-se à disponibilidade de radiação solar em todo o território nacional. No caso do estado do Rio de Janeiro a irradiação solar média global anual pode ser vista no mapa a seguir:

Figura 76: Irradiação Solar Média Anual no Estado do Rio de Janeiro



Fonte: Atlas Rio Solar: Atlas Solarimétrico do Estado do Rio de Janeiro/organização: IEPUC - Instituto de Energia da PUC-Rio, 2016

O mapa de irradiação solar global diária, média anual, mostra que a irradiação solar sobre o Estado do Rio de Janeiro varia de 4 a 5,5 kWh/m². Os valores máximos ocorrem na região nordeste do estado e os mínimos na região central, onde se encontram as áreas de maior altitude (Serra do Mar, especificamente regiões de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo) e onde o regime pluviométrico é mais intenso, com totais anuais de precipitação superiores a 1.600 mm, alcançando em algumas regiões 2.500 mm.

O Rio de Janeiro possui ainda uma irradiação solar global anual de 1.460 a 2.010 kWh/m², abaixo das melhores localizações do país, no

semiárido do Nordeste brasileiro, que alcançam cerca de 2.300 kWh/m², mas ainda assim maiores que a Alemanha, que possui um nível médio de 1.700 kWh/m², país líder na instalação de sistemas fotovoltaicos, mesmo com esse nível de irradiação solar. Para os municípios do RMRJ foi elaborada a seguinte tabela:

Tabela 33: Radiação Solar na RMRJ

Município	Radiação Média	Município	Radiação Média
Rio de Janeiro	5.168	Belford Roxo	4.907
Maricá	5.066	Tanguá	4.891
São Gonçalo	5.059	Queimados	4.888
Seropédica	5.019	Paracambi	4.850
Itaboraí	5.013	Nova Iguaçu	4.844
Mesquita	5.010	Cachoeiras de Macacu	4.832
São João de Meriti	5.004	Petrópolis	4.771
Niterói	4.993	Japeri	4.753
Nilópolis	4.946	Guapimirim	4.747
Itaguaí	4.928	Magé	4.668
Rio Bonito	4.917	Duque de Caxias	4.627
Média Metropolitana	4.904		

Fonte: ENGECONSULT, 2023

No caso da GD no processo de tratamento do RSU, os painéis fotovoltaicos deverão estar presentes em todos os locais onde o resíduo estiver: centros de triagem e valorização de RSU, usinas de conversão em energia por termodegradação e usinas de conversão em energia por queima de resíduos através da combustão.

A instalação poderá ser nos telhados das unidades ou em espaços de terreno ou espelhos d'água. Considerou-se nesse trabalho o uso dos locais anteriormente usados como aterros.

A geração de energia elétrica a partir da fonte solar fotovoltaica requer a instalação de painéis solares em áreas que atendam algumas características:

- Incidência adequada de radiação solar;
- Relevo e topografia favoráveis à implantação de painéis, no caso de usinas instaladas em solo;
- Áreas de telhado com facilidade de acesso e resistência estrutural ao peso dos painéis;
- Fácil conexão com a rede de distribuição;
- Ausência de sombreamento.

Um dos possíveis usos para as áreas atualmente destinadas à disposição final de RSU em aterros sanitários ou vazadouros encerrados é a sua conversão, após encerramento, em usinas fotovoltaicas.

Este uso é adequado pois as estruturas a serem instaladas são de baixo peso próprio, sendo, a princípio, compatíveis com a estabilidade dos terrenos preenchidos com lixo. Mesmo assim, é necessário estudar a capacidade de suporte do aterro em cada caso. A implantação de Usinas Fotovoltaicas (UFVs) não inviabiliza a coleta dos gases de aterro, seja para uso energético, seja para a queima simples do Metano com vistas à diminuição da geração de gases de efeito estufa.

No atual prognóstico (item 5.3) é recomendada a avaliação para uso futuro de geração de EFV nos seguintes vazadouros, que se encontram em fase mais avançada no processo de encerramento na RMRJ:

- Vazadouro de Duque de Caxias – Gramacho
- Vazadouro de Nova Iguaçu – Marambaia

- Vazadouro de Niterói – Morro do Céu
- Vazadouro de Paracambi
- Vazadouro do Rio de Janeiro – Gericinó
- Vazadouro de São Gonçalo – Itaoca
- Vazadouro de Seropédica

A partir de informações advindas do geoprocessamento pode-se estimar a área atualmente ocupada por vazadouros e pelas células dos aterros na RMRJ. Por outro lado, conhecendo-se os índices de incidência de radiação solar é possível calcular o potencial de geração de usinas fotovoltaicas e serem instaladas nessas áreas. O mesmo pode ser pensado para aterros atualmente em operação que tenham previsão de encerramento nos próximos anos.

Foram concebidos para estas áreas projetos conceituais de usinas fotovoltaicas instaladas em solo para estimar a geração potencial de energia elétrica a partir da área disponível em cada vazadouro. A potência total que pode ser atribuída a essas usinas é de 21,32 MWp⁴. As figuras a seguir ilustram esse conceito.

Tabela 34: Potências das Usinas Fotovoltaicas

Usinas Fotovoltaicas (UFV)	Potência (MWp)
Vazadouro de Duque de Caxias – Gramacho	11,00
Vazadouro de Nova Iguaçu – Marambaia	3,48
Vazadouro de Niterói – Morro do Céu	0,97
Vazadouro de Paracambi	2,31
Vazadouro do Rio de Janeiro – Gericinó	1,60

4 Para as estimativas e dimensionamentos preliminares foi usado o software Helioscope, da empresa Folsom Labs., disponível em <https://app.helioscope.com/> e consultado em 07/07/2023

Tabela 34: Potências das Usinas Fotovoltaicas(continuação)

Usinas Fotovoltaicas (UFV)	Potência (MWp)
Vazadouro de São Gonçalo – Itaoca	1,46
Vazadouro de Seropédica	0,50
Total Projetado	21,32

Fonte: ENGECONSULT (2023)

Figura 77: Usina Fotovoltaica Gramacho – Duque de Caxias – 11 MW



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Figura 78: Usina Fotovoltaica Marambaia - 3,48 MW



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Figura 79: Usina Fotovoltaica Morro do Céu - 0,97 MW



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Figura 80: Usina Fotovoltaica Paracambi – 2,31 MW



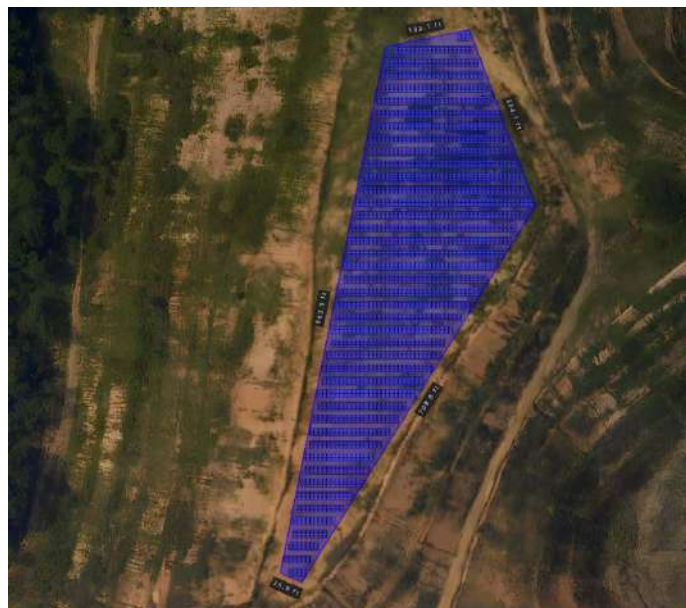
Fonte: ENGECONSULT (2023)

Figura 81: Usina Fotovoltaica Gericinó - 1,60 MW



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Figura 82: Usina Fotovoltaica Itaoca - 1,46 MW



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Figura 83: Usina Fotovoltaica Seropédica - 0,50 MW



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Considerando-se as áreas atualmente disponíveis nos vazadouros encerrados anteriormente citados pode-se estimar um potencial para implantação de usinas fotovoltaicas nesses sites, variando entre 0,59 MWp e 11 MWp de potência em cada um deles.

A tabela a seguir mostra esse potencial de geração e a energia gerada em cada usina fotovoltaica concebida para esse projeto ao longo dos meses do ano.

Tabela 35: Potencial de Geração e Energia Gerada em cada Usina Fotovoltaica.

Geração de Energia (kWh/ mês)							
Vazadouro	Vazadouro de Duque de Caxias – Gramacho	Vazadouro de Nova Iguaçu – Marambaia	Vazadouro de Niterói – Morro do Céu	Vazadouro de Paracambi	Vazadouro do Rio de Janeiro – Gericinó	Vazadouro de São Gonçalo – Itaoca	Vazadouro de Seropédica
Mês							
Janeiro	1.651.714,9	484.770,5	131.283,3	319.100,5	231.789,2	203.692,8	70.230,6
Fevereiro	1.511.902,7	443.974,4	116.787	307.498,7	210.142,4	183.831,2	67.267,8
Março	1.570.839,4	475.614,3	125.962,4	306.826,8	221.305,9	200.403,9	68.389,8
Abril	1.301.740,8	393.798,8	99.056,8	284.313,8	181.077,1	161.676,9	60.948,3
Maio	1.292.021,7	407.662	103.276,8	272.905,9	181.726,6	172.459,7	59.594,3
Junho	1.137.762,7	353.443,2	85.336,6	257.806,6	156.675,4	142.809,9	55.427,3
Julho	1.302.056,8	412.014,4	104.905	268.425,9	183.539,8	174.956	59.530,7
Agosto	1.362.612,8	419.886,4	105.798,9	291.613,2	189.449,1	174.028,3	64.494,1
Setembro	1.284.767,6	386.299,1	101.444,7	259.422,1	180.518	162.568,1	57.219,2
Outubro	1.455.801,9	434.613,3	115.846,1	292.410,5	205.712,3	182.640,9	63.868,6
Novembro	1.459.364,5	430.792,1	116.684,4	277.678,7	205.536,4	181.585,2	62.020,5
Dezembro	1.587.060	463.906,2	126.570,7	308.651,5	224.701,3	195.647,4	68.315,4
Total Anual (kWh/ano)	16.917.645,8	5.106.774,7	1.332.952,7	3.446.654,2	2.372.173,5	2.136.300,3	757.306,6

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

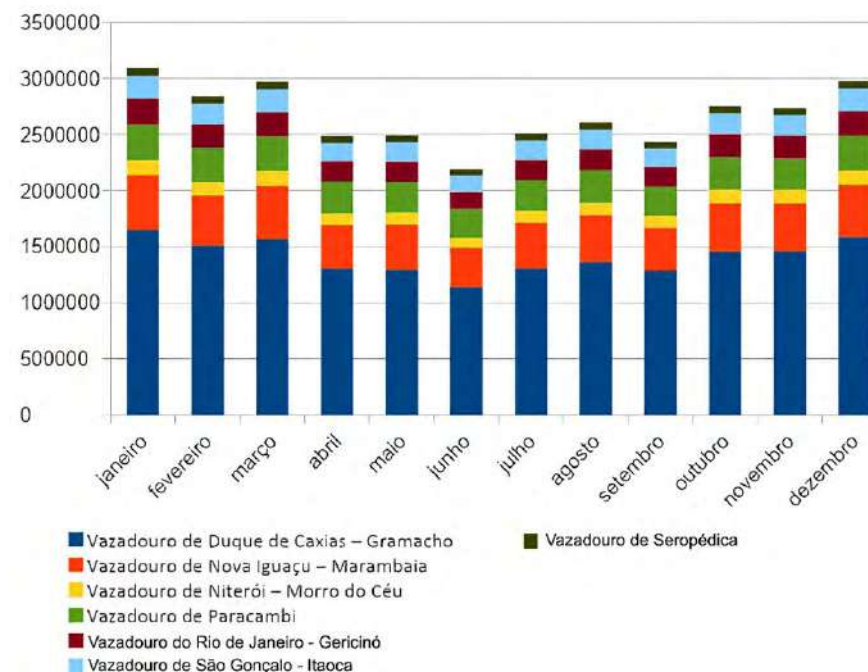
A soma da energia gerada anualmente nestes sites seria então de 32.069.807,8 kWh por ano (ou 32.069,80 MWh).

Segundo dados disponíveis no Data Rio⁵ o consumo de energia na cidade do Rio de Janeiro em 2021 foi de 15.256.840 MWh.

Com a geração de prevista nas usinas fotovoltaicas deste trabalho seria possível abastecer cerca de 0,21% do consumo anual da cidade do Rio de Janeiro.

Considerando como base um investimento inicial (CAPEX) de R\$ 6.000,00 por kWp instalado o valor para a implantação dos 31 MWp seria de R\$ 127.981.200,00.

Figura 84: Gráfico de Geração de Energia nas Usinas Fotovoltaicas



Fonte: ENGECONSULT (2023)

5 Tabela 2501: Consumo anual de energia elétrica segundo classe de consumo por Áreas de Planejamento (AP), Regiões de Planejamento (RP), Regiões Administrativas (RA), disponível para download em <https://www.data.rio/documents/PCRj::consumo-anual-de-energia-el%C3%A9trica-segundo-classe-de-consumo-por-%C3%A1reas-de-planejamento-ap-regi%C3%B5es-de-planejamento-rp-regi%C3%B5es-administrativas-ra-e-bairros-no-munic%C3%ADpio-do-rio-de-janeiro-entre-2002-2021/about> consultado em 07/07/2023

6. EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Segundo o Art. 1º da Lei Federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), entende-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

Segundo Santos (et al, 2000, p.37), a Educação Ambiental é a prática educacional que ocorre em sintonia com a vida em sociedade, que pode (e deveria) ser inserida sob diversos enfoques: social, econômico, político, cultural, artístico etc., não podendo ser considerada como uma prática estanque, uma vez que abrange diversas áreas.

Desta forma também pode ser considerada como uma arte, no sentido de trabalhar com a criatividade no que tange procurar alternativas para envolver os indivíduos num processo de reeducação de valores, percepções e sentidos em relação à forma de ver e viver o mundo.

Já no âmbito estadual, a Lei nº 3.325, de 17 de dezembro de 1999, dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Estadual de Educação Ambiental, cria o Programa Estadual de Educação Ambiental e complementa a citada Lei nº 9.795, no âmbito do estado do Rio de Janeiro.

A Política Estadual de Educação Ambiental engloba o conjunto de iniciativas voltadas para a formação de cidadãos e comunidades capazes de tornar compreensíveis a problemática ambiental e de promover uma atuação responsável para a solução dos problemas ambientais.

As instituições de ensino básico, públicas e privadas, deverão incluir em seus projetos pedagógicos a dimensão ambiental, de acordo com os princípios e objetivos desta lei.

As atividades vinculadas à Política Estadual de Educação Ambiental devem ser desenvolvidas nas seguintes linhas de atuação, necessariamente inter-relacionadas: educação ambiental no ensino formal; educação ambiental não-formal; capacitação de recursos humanos; desenvolvimento de estudos, pesquisas e experimentações; produção e divulgação de material educativo; mobilização social; gestão da informação ambiental; monitoramento, supervisão e avaliação das ações.

De acordo com a Lei Estadual nº 3.325, de 1999, a educação ambiental deverá ser desenvolvida como uma prática educativa integrada, contínua e permanente em todos os níveis e modalidades do ensino formal, envolvendo necessariamente, os seguintes aspectos, independentemente de outros a serem acrescidos, de acordo com o desenvolvimento científico e cultural da sociedade:

- I. Interdependência entre o meio ambiente natural, o socioeconômico e o cultural, sob o enfoque da sustentabilidade e ética;
- II. Interdependência entre as questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais;
- III. Interdisciplinaridade no trato das questões ambientais;
- IV. Vinculação indispensável da temática ambiental ao processo democrático e participativo na sociedade;
- V. Consciência do poder de mudança de práticas e hábitos, por meio de políticas públicas de atitudes individuais;

VI. Debates envolvendo:

- mudanças climáticas;
- produção sustentável;
- consumo sustentável;
- perda da biodiversidade;
- conservação e preservação dos recursos hídricos;
- produção de energia;
- uso de agrotóxicos;
- infraestrutura adequada à sustentabilidade;
- saneamento ambiental;
- reciclagem;
- bem-estar e saúde animal.

VII. A compreensão e a aplicação dos preceitos de bem-estar, saúde animal e dos impactos derivados das ações e intervenções humanas sobre o meio ambiente e seus componentes.

Importante anotar que o art. 23 estabelece que os Municípios, na esfera de sua competência e nas áreas de sua jurisdição, definirão diretrizes, normas e critérios para a educação ambiental, respeitados os princípios e objetivos da Política Estadual de Educação Ambiental.

A seleção de planos, programas e projetos de educação ambiental a serem financiados com recursos públicos, deve ser feita de acordo com os seguintes critérios:

- conformidade com os objetivos, princípios e diretrizes da política estadual de educação ambiental;
- prioridade de alocação de recursos para iniciativas e ações dos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Educação, do Sistema Estadual de Meio Ambiente e de organizações não-governamentais;

- coerência do plano, programa ou projeto com as prioridades socioambientais estabelecidas pela Política Estadual de Educação Ambiental;
- economicidade medida pela relação entre a magnitude dos recursos a serem aplicados; e
- o retorno social e propiciado pelo plano, programa ou projeto proposto.

6.1. BREVE HISTÓRICO

A inclusão da educação ambiental é respaldada pela Constituição de 1988, especificamente no artigo 225, § 1º, V, que estipula que “incumbe ao Poder Público promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente”.

Mais adiante à Constituição, a década de 1990 foi marcada por adventos históricos como a Rio-92 e suas convenções internacionais, bem como um conjunto de leis fundamentais à Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), como a de Crimes Ambientais e de Recursos Hídricos, seguidas pela Política Nacional de Educação Ambiental (Lei Federal nº 9.795/99), posteriormente regulamentada pelo Decreto Federal nº 4.281/2002.

Esses instrumentos legais determinaram os princípios, objetivos e diretrizes da educação ambiental, em consonância com o Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global (1992) e a Carta da Terra (1992).

O conjunto de iniciativas de governo, parlamento e sociedade propiciaram relativa sintonia e efetividade ao processo de institucionalização da educação ambiental como política pública, o que se consolida com a 2ª versão do Programa Nacional de Educação Ambiental – ProNEA, de 2005, resultado de ampla consulta nacional.

Sob a orientação da PNEA (Política Nacional de Educação Ambiental), várias unidades estaduais criaram políticas próprias de educação ambiental. Isso envolveu a formação de comissões estaduais que envolvem diversos órgãos do governo e organizações da sociedade civil.

Esse diálogo entre diferentes setores resultou na criação de coordenadorias de educação ambiental em secretarias de meio ambiente e educação, bem como na formação de redes de educadores ambientais em todo o país. Além disso, houve avanços na pesquisa acadêmica na área. Tudo isso mostra como é importante ter estruturas e ferramentas educacionais para capacitar as pessoas a lidarem com os desafios ambientais que enfrentamos atualmente.

6.2. A IMPORTÂNCIA DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

A Educação Ambiental possibilita um processo educativo no qual os discentes (que na maioria das vezes não têm consciência e senso crítico em relação à situação ambiental que vivem) alcancem uma formação cidadã ecológica, e, assim, tenham uma contribuição para um desenvolvimento mais sustentável do planeta.

Além disso, pode torná-los aptos a decidir e atuar na realidade socioambiental, num comprometimento com a vida, com o bem-estar de cada um e da sociedade local e global (GUIMARÃES, 2008).

Existe certo consenso de que a consciência ecológica se constrói, de um lado, na busca de tecnologias alternativas visando superar ou restringir os constrangimentos que o padrão tecnológico coloca ao meio ambiente cotidiano. De outro lado ela se constrói pelo movimento social em luta.

Pensando no desenvolvimento desta consciência e de uma sociedade sustentável é possível problematizar sobre o papel da educação ambiental como instrumento crítico de reflexão do modelo de desenvolvimento

que cada sujeito define como sendo o seu e o impacto que estas escolhas individuais têm dentro da coletividade. (AMANCIO, 2005, p3).

Segundo BRASIL (1998), cada professor, dentro da especificidade de sua área deve adequar o tratamento dos conteúdos para contemplar o Tema Meio Ambiente. Essa adequação pressupõe um compromisso com as relações interpessoais no âmbito da escola, para haver explicitação dos valores que se quer transmitir e coerência entre esses e os experimentados na vivência escolar, buscando desenvolver a capacidade de todos para intervir na realidade e transformá-la.

É fundamental trabalhar a partir da visão que cada grupo social tem do significado “Meio Ambiente” e, principalmente, de como cada grupo percebe sua economia, o seu ambiente e os ambientes mais abrangentes em que está inserido. Para DIAS (1994, p. 8) “[...] a Educação Ambiental se caracteriza por incorporar as dimensões sociais, políticas, econômicas, culturais, ecológicas e éticas”, devendo contemplar a sociedade como um todo, consequentemente, o planeta.

6.3. O PAPEL DA EDUCAÇÃO EM UM PLANO INTEGRADO

A Educação Ambiental e a comunicação social desempenham papéis fundamentais em um Plano Integrado, uma vez que envolvem a informação para a conscientização pública, a mobilização dos atores envolvidos e a adoção de práticas sustentáveis essenciais à minimização de impactos e preservação do meio ambiente.

Oliveira e Santos (2009) ressaltam que a proposta educativa envolve a visão de mundo como um todo e não pode ser reduzida a apenas um departamento, uma disciplina ou programa específico.

Considerando a importância da temática ambiental, é necessário que se desenvolvam meios que possam contribuir para a conscientização,

mediante uma postura participativa de professores, alunos e sociedade, uma vez que a escola deve proporcionar possibilidades de sensibilização e motivação para um envolvimento ativo e se pôr a trabalhar com atitudes, formação de valores, ensino e aprendizagem de habilidades e procedimentos; este é o grande desafio para a educação (PCN, 1997, p. 67).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) enfatizam a importância da inserção da Educação Ambiental, como é exigência das políticas públicas, mas fica evidente que ainda existem muitas dificuldades e desafios a serem vencidos. É importante a articulação de ações educativas que levem o aluno à prática, de modo a proporcionar mudanças de atitudes, culturais e sociais, facilitando um planejamento estratégico para o desenvolvimento sustentável, e a escola é o espaço mais indicado e privilegiado para implementação dessas atividades.

Para a efetividade do PMetGIRS, é fundamental a integração das informações, investimentos em programas de conscientização ambiental visando à devida mobilização da população, e, principalmente, programas que possam capacitar os professores para que eles saibam como colocar em prática os planejamentos disponíveis ou buscar por orientações acerca de documentos que conceituam temas, mas que não trazem a aplicabilidade em sala de aula.

• Todas as Idades são Importantes

É fato que os estudos apontam para emergências climáticas com consequências em andamento por todo planeta. Por isso, é muito importante que as ações sejam imediatas. Assim, quando falamos em educação ambiental, muitos acreditam que focar na educação ambiental de crianças e jovens não nos beneficiará. Outros, acreditam que as crianças são a esperança para um futuro de pessoas conscientes e engajadas.

Em 1977, a Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental foi realizada em Tbilisi, na Geórgia, marcando um momento significativo no desenvolvimento da Educação Ambiental a nível internacional. Neste

evento, foi aprovada a “Declaração de Tbilisi sobre Educação Ambiental”, que ratificou e expandiu os princípios estabelecidos na “Carta de Belgrado” anterior.

A declaração avançou em vários aspectos importantes, entre eles, o destaque que a Educação Ambiental deve ser direcionada a pessoas de todas as idades. Isso reconhece a importância de promover a conscientização ambiental e a ação ao longo de toda a vida, não apenas durante a educação formal, mas também por meio da educação não formal.

A educação ambiental na primeira infância desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das crianças, construindo cidadãos conscientes e engajados.

Na primeira infância, as crianças são receptivas a novos aprendizados e, por muitas vezes, reproduzem o que aprenderam na escola em casa, chamando a atenção de seus pais para o que aprenderam. São construções de valores que buscam instituir hábitos positivos para o meio ambiente e sociedades.

Por meio da Educação Ambiental na primeira infância, busca-se o processo de assimilação, acomodação e adaptação, de acordo com Piaget e, nesse sentido, o tema deve abordar a beleza da natureza e as consequências de cada ato negativo. Nessa fase, é trabalhada a formação de valores e atitudes, a conexão com a natureza, as interconexões entre os seres vivos e meio ambiente, além da compreensão de conceitos de sustentabilidade e empoderamento.

Educar as crianças desde cedo cria uma forte base para moldar seus valores e comportamentos para gerações futuras mais engajadas, uma sociedade mais sustentável e defensora do planeta.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica (MEC, 2023).

Seu principal objetivo é ser a balizadora da qualidade da educação no País por meio do estabelecimento de um patamar de aprendizagem e desenvolvimento a que todos os alunos têm direito.

Com os conteúdos ambientais permeando a BNCC, a escola ajudará o aluno a ter uma visão crítica e integrada no meio ambiente e relação com a sociedade. Para isso, a Educação Ambiental deve ser abordada de forma sistemática e transversal, em todos os níveis de ensino.

Na temática Vida e Evolução em Ciências da Natureza, nos anos iniciais do Ensino Fundamental, as características dos seres vivos são trabalhadas a partir das ideias, representações, disposições emocionais e afetivas que os alunos trazem para a escola.

Esses saberes dos alunos vão sendo organizados a partir de observações orientadas, com ênfase na compreensão dos seres vivos do entorno, como também dos elos nutricionais que se estabelecem entre eles no ambiente natural.

Nos anos finais, a partir do reconhecimento das relações que ocorrem na natureza, evidencia-se a participação do ser humano nas cadeias alimentares e como elemento modificador do ambiente, seja evidenciando maneiras mais eficientes de usar os recursos naturais sem desperdícios, seja discutindo as implicações do consumo excessivo e descarte inadequado dos resíduos.

Já no Ensino Médio, em Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, são abordadas as competências: “Contextualizar, analisar e avaliar criticamente as relações das sociedades com a natureza e seus impactos econômicos e socioambientais, com vistas à proposição de soluções que respeitem e promovam a consciência e a ética socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional, nacional e global”.

Isso inclui como uma das habilidades, problematizar hábitos, práticas individuais e coletivas de produção e descarte (reuso e reciclagem) de

resíduos na contemporaneidade, além de elaborar e/ou selecionar propostas de ação que promovam a sustentabilidade socioambiental e o consumo responsável.

Educar crianças para educar adultos na consciência ambiental é uma estratégia eficaz para promover mudanças positivas na sociedade a longo prazo. Crianças têm uma grande capacidade de aprendizado e podem influenciar positivamente as atitudes e comportamentos dos adultos ao seu redor, incluindo seus pais, familiares e professores.

Para pessoas que não tiveram acesso ou oportunidade de estudar na idade adequada nos Ensinos Fundamental e Médio, Paranhos e Shuvartz (2013) ressaltam que na EJA (Educação de Jovens e Adultos) a historização da relação entre sociedade e meio ambiente deve ser considerada e que esses discentes vivenciaram transformações do ambiente ao longo de sua história de vida. A abordagem da educação ambiental para adultos requer uma perspectiva mais madura e adaptada às experiências e responsabilidades de vida desses indivíduos.

Para os idosos, que tiveram vivências totalmente diferentes, é importante criar estratégias utilizando linguagem adequada e demonstrando os benefícios de estar consciente das mudanças ocorridas ao longo dos anos e as consequências do passado, presente e futuro. Utilizar dados e evidências respeitando experiências anteriores é um caminho que respeita à diversidade, perspectivas e escolhas.

Por viverem muitas transformações ambientais, os idosos podem inclusive contribuir para a solução de problemas do dia a dia, minimizando danos ambientais. O aprendizado para adultos e idosos deve ser contínuo e adaptado ao longo da vida.

• Educação Ambiental para Comunidades

Além de sofrerem com as dificuldades do dia a dia, os moradores de comunidades fazem parte de uma população urbana mais vulnerável às

consequências da crise climática. Destaca-se, por exemplo, chuvas mais intensas e frequentes, o que irá agravar ainda mais a situação das comunidades fluminenses.

A Educação Ambiental tem a importante missão de buscar soluções em conjunto e desempenha um papel crucial na promoção da conscientização ambiental e na melhoria da qualidade de vida das pessoas que vivem nessas áreas.

As comunidades periféricas frequentemente enfrentam desafios ambientais e sociais significativos, como acesso limitado a serviços básicos, falta de infraestrutura adequada e maior exposição a problemas ambientais. No entanto, a falta de infraestrutura de grande escala desperta nas comunidades e em seus líderes a vontade de adotar ações complementares, de forma a lidar com problemas locais.

Na Rocinha, uma das maiores comunidades do Rio de Janeiro, pelos registros da Light S.A, estima-se que há mais de 120 mil moradores, ou seja, somente em um único bairro, há uma quantidade significativa de pessoas que, se trabalhada a Educação Ambiental de forma objetiva, consistente e contínua, poderia gerar resultados para o estado.

6.4. BOAS PRÁTICAS

• Programa Recicla Comunidade

A coleta seletiva realizada pela Comlurb está colaborando com o programa Recicla Comunidade, que recompensa os moradores das comunidades que entregam materiais recicláveis, como papel, metal e plástico, nos pontos de coleta. Eles recebem créditos, uma espécie de moeda social, que podem ser utilizados em mais de cem estabelecimentos comerciais locais, como mercados, bazares, lojas de material de construção, salões de beleza, pensões e padarias.

Para viabilizar esse programa, a Comlurb utiliza seus caminhões de coleta seletiva para transportar os materiais dos pontos de coleta até as cooperativas de catadores indicadas pelo programa Recicla Comunidade. Essa iniciativa faz parte do programa mais amplo chamado “Favela com Dignidade”, promovido pela Secretaria Municipal de Ação Comunitária.

Atualmente, o programa conta com mais de 400 moradores inscritos, que são cadastrados no momento em que entregam materiais recicláveis. A Comlurb planeja expandir a coleta seletiva para cobrir todos os pontos de entrega, e também está estudando maneiras de auxiliar as cooperativas credenciadas a organizarem o material necessário para atender aos requisitos do programa.

• Educação Ambiental no Rio de Janeiro

O Centro de Educação Ambiental, como parte da prefeitura, tem a responsabilidade de implementar a Política Municipal de Educação Ambiental conforme estabelecido na Lei nº 9795/1999. As atividades incluem a coordenação e promoção da educação ambiental no município em colaboração com outras secretarias. Além disso, o Centro é responsável por criar, implementar e avaliar programas de educação ambiental com o propósito de aumentar a conscientização ambiental da população. Também é oferecido suporte a eventos relacionados à educação ambiental promovidos por diversas organizações. As solicitações e ou informações sobre agendamentos e oficinas, bem como parcerias ou solicitações de eventos podem ser feitas através do telefone informado no site da Prefeitura.

Os núcleos do Centro de Educação Ambiental são espaços dedicados a diferentes práticas de educação ambiental, que recebe visitantes, moradores do entorno, turistas, estudantes, professores e grupos agendados.

Os monitores trabalham com diferentes faixas etárias e recursos para sensibilizar o público e mobilizá-los a favor de uma vivência respeitosa com o ambiente. Nesses espaços, além de promover as unidades de conservação, são realizadas atividades como visita guiada nas trilhas, vídeos

debates, oficinas, gincanas, exposições, campanhas e eventos diversos, cursos, palestras e programação de férias. Exemplos de atividades oferecidas pelos núcleos de educação ambiental:

- Visitas orientadas – onde é possível conhecer o espaço em que o núcleo está instalado, o monitor explica características da unidade de conservação, ecossistemas locais, bioma Mata Atlântica e valorização da fauna e flora, exóticos, nativos, descarte irregular de resíduos;
 - Vídeo debate, sala de leitura e roda de conversa;
 - Oficinas - Oficinas diversas como de reaproveitamento de embalagens PET e tetra pack, transformando-os em outros objetos; pintura, dobradura e mosaico, entre outros;
 - Exibição de vídeos temáticos;
 - Jogos interativos - jogos de tabuleiro e dinâmicas ao ar livre, com temas ambientais;
 - Exposições - itinerantes e diversas (quadros, esculturas, institucionais ou não);
 - Palestras e seminários - diversos assuntos, promovidos por nós mesmos ou parceiros, para universitários, comunidade do entorno e profissionais da SMAC;
 - Mutirões de limpeza;
 - Entre outros.
- **Outros Programas e Projetos**

A Cedae realiza ações de conscientização e engajamento da população na preservação dos recursos hídricos para garantir água limpa no Rio de Janeiro.

Isso é feito por meio da Educação Ambiental, conduzida pela Assessoria de Gestão Ambiental e Trabalho Social, incluindo os projetos Replantando Vida, Amigos do Planeta e CEDAE na Comunidade.

O programa mantém viveiros florestais em várias localidades, produzindo mudas de 254 espécies nativas da Mata Atlântica, incluindo 40 ameaçadas de extinção. Essas mudas são usadas em reflorestamentos nas bacias dos Rios Guandu e Macacu, que fornecem água para mais de 12 milhões de pessoas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Além disso, o programa envolve a capacitação de pessoas em cumprimento de pena, que participam ativamente de atividades da Cedae, contribuindo para a restauração de ecossistemas.

Até o momento, o programa já beneficiou 6 mil pessoas e plantou 4,5 milhões de mudas em 2 mil hectares de áreas verdes recuperadas.

A Cedae também promove outras ações de conscientização ambiental através de cartilhas, revistas e eventos como a Semana do Meio Ambiente, Dia Mundial da Água e Dia da Árvore.

O Centro de Visitação Ambiental na ETA Guandu recebe estudantes e pesquisadores para pesquisas técnicas. Além disso, a Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (Seas) e o Instituto Estadual do Ambiente (Inea) desenvolvem o projeto “Ambiente em Movimento”, que leva a educação ambiental e informações sobre conservação da biodiversidade à população.

Isso inclui exposições, distribuição de mudas da Mata Atlântica e orientações sobre o trato de animais silvestres. O projeto também oferece capacitações em escolas e comunidades e apoia ações sociais para promover a educação ambiental para o público em geral.

• Acesso Único à Informação

A fragmentação das secretarias e órgãos responsáveis por serviços de meio ambiente, bem como entidades gestoras em diferentes municípios pode, de fato, dificultar o acesso à informação e a coordenação eficaz das ações ambientais. Os cidadãos e empresas podem encontrar dificuldades em localizar informações necessárias relacionadas ao destino certo de seus resíduos, o papel que cada um desempenha, quais são os responsáveis, além das implicações ambientais, sociais e jurídicas pelo descarte incorreto de resíduos.

Por meio de uma plataforma ou portal de meio ambiente do estado centralizado, objetivo, de linguagem simples (incluindo acessibilidade), é possível reunir informações, regulamentações e serviços relacionados ao meio ambiente de todas as secretarias e órgãos envolvidos, bem como a fácil localização de Pontos de Recebimento por tipo de resíduo de entidades gestoras e Ecopontos, e localização de Cooperativas de Catadores.

A partir da nomeação de responsáveis por região ou concessionárias, espera-se unificar a comunicação para todo o estado, trazendo mais sinergia nas ações evitando duplicação de esforços e colidência de informações – uma agenda ambiental comum com metas e prioridades em comum direcionam os esforços de forma eficaz.

No mesmo portal, é possível trabalhar a educação, a conscientização e a participação da sociedade civil por meio de materiais direcionados a todos os públicos, como cursos, divulgação de palestras, eventos, ações e notícias.

• Entidades Gestoras

As entidades gestoras desempenham um papel fundamental na gestão dos produtos e embalagens após o consumo e na promoção de práticas de logística reversa que são ambientalmente responsáveis. Isso inclui várias atribuições importantes, que estão além da coleta segura nos pontos de

recebimento, destinação ambientalmente correta, promoção da economia circular, monitoramento e fiscalização.

Para que o sistema seja eficaz e abrangente em sua forma de comunicação, as entidades devem promover informação à população, de forma direta ou por meio de interlocutores:

- Por meio de seus canais oficiais de comunicação;
- Por meio de articulações com Prefeituras, Secretarias de Meio Ambiente, Secretarias de Educação ou Ministério Público;
- Por meio de articulações com concessionárias responsáveis pela gestão da Limpeza Urbana e o Manejo de Resíduos Sólidos dos Municípios atendidos por seus Acordos Setoriais ou Decretos;
- Por meio de parcerias com Associações de Escolas;
- Por meio de parcerias regionais com consórcios, associações, voluntários e iniciativas.

As parcerias permitem a ampliação do alcance da mensagem comunicada pelas entidades gestoras, muitas vezes vistas de forma individual e desconexa com os objetivos municipais. Por isso, os interlocutores cancelam o trabalho, conferindo autoridade e legitimidade.

Ao trabalhar com interlocutores, é possível ter acesso a dados, peculiaridades geográficas, novos recursos, e informações que permitem direcionar os esforços de comunicação para ações dirigidas.

Com isso, é possível a otimização de recursos financeiros e/ou mobilização de novos recursos combinados.

• Organizações de Catadores(as)

O Governo do Estado do Rio de Janeiro, por meio da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (Seas), aderiu, no dia 13 de setembro de

2023, ao programa Diogo De Sant'ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular. O programa é voltado à promoção dos direitos humanos e da valorização da categoria.

O Estado entende que tem o papel de fomentar e apoiar os municípios para um modelo no qual os catadores sejam incluídos na coleta seletiva e que esses profissionais são importante parte da solução da gestão de resíduos municipais.

Para fechar este ciclo, os catadores precisam estar devidamente capacitados em relação a todos os RSU. Para isso, a parceria com entidades gestoras na capacitação técnica é fundamental para esses agentes de meio ambiente que desempenham um papel vital na gestão de resíduos, inclusão social e na preservação ambiental.

• Concessionárias de Manejo de Resíduos

As concessionárias de resíduos, além de serviço público essencial com a atuação na gestão de resíduos sólidos e redução de impactos sociais e ambientais, podem desempenhar papéis essenciais na promoção da educação ambiental, conferindo benefícios tangíveis. As ações contínuas de comunicação direcionadas a comunidades promovem a conscientização do munícipe, que adere às boas práticas para destinação dos resíduos sólidos urbanos, com isso:

- O número de rejeitos encaminhados aos aterros sanitários pode ser minimizado;
- Cooperativas e centrais de triagem podem ter sua atuação ampliada;
- Mais resíduos podem ser reciclados, potencializando a Economia Circular;
- Novas iniciativas de reciclagem podem surgir.

• Boas Práticas - Parceria com Escolas SESI-RJ

O projeto Reciclus Educa, voltado para educação de crianças e jovens para o tema Educação Ambiental e descarte correto de lâmpadas, impactou alunos do 5º e 9º anos do ensino fundamental e do ensino médio em quinze escolas da Rede SESI-RJ, alinhando-se ao pilar estruturante da rede, que é a sustentabilidade, solidariedade e Meio Ambiente.

O SESI-RJ incorporou o material elaborado pela Reciclus nas atividades pedagógicas, abordando a importância da destinação adequada das lâmpadas fluorescentes usadas. O objetivo era aprofundar o contato dos alunos com a temática da sustentabilidade, um dos pilares das escolas SESI.

O projeto incluiu a apresentação de vídeos e a distribuição de material impresso no primeiro semestre de 2023. As escolas participantes organizaram atividades adicionais, como leitura de livros sobre a temática, rodas de conversa e a produção de vídeos chamados “Reciclando Ideias”, publicados no Instagram.

Figura 85: Aplicação do Programa Reciclus Educa na Unidade SESI, em Duque de Caxias



Fonte: FIRJAN

Figura 86: Aplicação do Programa Reciclus Educa na Unidade SESI, em Petrópolis



Fonte: FIRJAN

Essas atividades visavam conscientizar a população e ampliar o conhecimento sobre o Reciclus e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, proporcionando aos estudantes momentos de aprendizado e reflexão significativos.

• Agentes Comunitários de Saúde e Garis

Agentes comunitários de saúde e garis podem desempenhar um importante papel na disseminação do conhecimento. Por meio de capacitações presenciais ou online, os garis podem receber orientações sobre a separação de resíduos que não podem ser reciclados.

Já os agentes comunitários de saúde podem desempenhar um papel de multiplicador, com visitas porta a porta, contribuindo para a educação ambiental e seus impactos ao meio ambiente e a saúde.

Dentre os principais assuntos, além da destinação correta de resíduos, podem-se abordar questões que vão desde o acúmulo de água em pneus e consequências da Dengue, economia de energia, até a produção de hortas e reaproveitamento de todas as partes dos alimentos.

O munícipe deve, ao final, se sentir pertencente a este único ecossistema, onde todas as suas ações podem gerar consequências para si mesmo, sua comunidade, e suas futuras gerações.

Além de reforçar as campanhas regionais e os conteúdos das escolas para famílias com crianças e jovens, as visitas são muito importantes principalmente para jovens que abandonaram os estudos e populações adultas com acesso restrito à informação ou questões relacionadas ao grau de instrução e facilidade na compreensão.

• Programa Estadual de Educação Ambiental

O Programa Estadual de Educação Ambiental do Rio de Janeiro (ProEEA-RJ) foi aguardado desde a promulgação da Lei Estadual nº 3.325, em 1999, que instituiu a Política de Educação Ambiental no estado e, após quase 20 anos, o ProEEA-RJ foi aprovado por meio da Resolução Conema nº 82, de julho de 2018, e ratificado pela Resolução Conjunta SEA/SEEDUC nº 661, de agosto de 2018.

O programa é estadual e resultado de ampla consulta pública envolvendo educadores ambientais dos 92 municípios do estado, com o objetivo de promover a participação democrática na gestão ambiental pública, tanto em sua construção quanto em sua implementação.

De acordo com o INEA (2022), a inserção da Educação Ambiental crítica nas escolas deve ser precedida pela sua incorporação na visão política e, conseqüentemente, no fazer pedagógico.

Um primeiro passo seria a incorporação dos seus princípios nos Planos Políticos Pedagógicos (PPPs), o que, de início, garantiria que as práticas de docentes, diretores e demais funcionários sejam orientadas neste sentido.

O estímulo a projetos em turnos alternados ou nas disciplinas formais são caminhos possíveis para trabalhar a Educação Ambiental na escola. Dessa maneira, as possibilidades de incorporação de temáticas de Educação Ambiental poderão ser assimiladas e debatidas em diferentes contextos e de maneira interdisciplinar, permitindo que os alunos percebam a importância da sua participação nos fóruns públicos, assim como suas responsabilidades individuais e as relações que estabelecem com o ambiente.

Ainda que a inserção da Educação Ambiental no Estado esteja em fase de fortalecimento das ações já existentes e incentivo a novos projetos, um PGIRS bem estruturado e com seus papéis bem definidos, pode potencializar o alcance no que tange à integração de conteúdos, desenvolvimento da consciência ambiental, promoção da sustentabilidade e engajamento da comunidade.

Um Plano Político Pedagógico (PPP) único e alinhado a BNCC para destinação de resíduos sólidos e papel do cidadão, desde a primeira infância, contribuirá para o desenvolvimento de cidadãos conscientes, responsáveis e participativos em relação ao meio ambiente.

6.5. ELABORAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE EDUCAÇÃO

Os levantamentos listados sugerem complementar o diagnóstico das regiões para melhor compreensão de suas vulnerabilidades e direcionamento das ações, porém, não obrigatório para suas aplicações.

Através de pesquisas quantitativas, deve caracterizar as informações relativas a: gênero e faixas de idade predominantes; número de escolas por macro e microrregião; número de bairros com alta vulnerabilidade social; mapeamento dos Pontos de Recebimento atualizados, identificando locais

com restrições de mobilidade; número de coletas por resíduos, por município; número de ecopontos, com localização e tipos de resíduos recebidos; e levantamento de meios de comunicação existentes nos portais de Prefeitura e Governo.

• Integração de Informações e Definição de Gestores Regionais

Realização de diagnóstico de como a educação ambiental, com ênfase nos resíduos sólidos urbanos, é trabalhada nos municípios; integração entre os municípios na realização de ações de educação ambiental, com a definição de gestores que deverão se reunir inicialmente de forma mensal, a fim de discutir o planejamento e execução das ações integradas.

O Estado deverá elaborar uma Agenda 21 regional e criar um documento com o diagnóstico da educação para cada município e características específicas das regiões com foco em resíduos, como, por exemplo: mobilidade, zonas de risco e taxas de doenças causadas pela poluição ou disposição incorreta de resíduos, entre outras informações relevantes à construção do guia de ações e ensino de Educação Ambiental para RSU, com definição de metas de implementação para cada etapa do Programa.

Por fim, devem ser estabelecidas as metas de implementação para cada etapa do Programa.

• Público Geral

Sugere-se criar o Portal Único de Resíduos do Rio de Janeiro, com o objetivo de informar, conscientizar e integrar informações referentes à disposição de resíduos sólidos, com ênfase na população e orientações gerais sobre resíduos.

O Portal deverá permitir que as pessoas efetuem buscas por Pontos de Recebimento, por resíduo e/ou por município; deve disponibilizar materiais educativos, por faixa etária, em formato de folders, cartilhas ou vídeos e disponibilizar guias de coleta, por município, com

informações sobre concessionárias responsáveis e horários de coleta, entre outras informações.

Dentre outras ações para cativar o público, em geral, sugere-se:

- Disponibilização de materiais para conscientização em condomínios; Disponibilização de materiais para conscientização em empresas; Busca por iniciativas de voluntariado na área ambiental; Busca por Cooperativas de Catadores; Sessão de quizzes e FAQ.
- Criação de campanha para acesso ao Portal Único; Desenvolvimento de campanhas de educação ambiental no âmbito estadual para sensibilização da população; Fomento às ações e programas de educação estaduais e regionais destinadas aos municípios;
- Disponibilização de espaços em períodos definidos em meios de comunicação da região para divulgação de campanhas de conscientização para o descarte correto de resíduos e Pontos de Recebimento, campanhas sobre resíduos específicos ou eventos (TV, rádios, painéis, outdoors, busdoor, mídias de estações de metrô, entre outras);
- Reforço da Assessoria de Imprensa do Governo e municípios para divulgação dos Pontos de Recebimento e campanhas locais; Distribuição de cartilhas para população adulta e idosa, em regiões próximas a ecopontos ou Pontos de Recebimento, bem como o treinamento de colaboradores para orientação clara e precisa das pessoas envolvidas;
- Visitas por agentes de saúde às comunidades, para orientações com foco nos RSUs e consequências para saúde e meio ambiente. As visitas podem envolver a distribuição de materiais informativos do Governo, Secretarias ou Entidades Gestoras, ou um material único compilado;
- Realização de eventos de Drive-Thru para coleta de resíduos sólidos nas regiões centrais e pelo menos 6 (seis) estações próximas às

regiões de alta vulnerabilidade social, com ecopontos e/ou Pontos de Recebimento distantes. Os eventos devem, não só coletar os resíduos, como também realizar a orientação da população por meio de voluntários ou representantes de entidades gestoras, além de atividades de entretenimento para a família;

- Realização de palestras educativas em parques, praças, museus ou outros espaços públicos (educação não formal/informal), em datas pré-definidas, seguindo a temática de calendário ambiental; Busca de parcerias no setor privado para reforço de campanhas de eficiência energética ou troca de resíduos por benefícios; Trabalhar a educação ambiental para o consumo sustentável nos setores.

• Escolas e Professores

Para os professores e administradores escolares, sugere-se implementar o seguinte conjunto de atividades:

- Criação de Plano Político Pedagógico (PPP) único, para utilização como base pela escola, em todos os anos escolares, com a temática de RSU transversal a diversas disciplinas.
- Elaboração e Implementação de guia prático de ensino de Educação Ambiental para professores, com foco em RSU com base no Programa Estadual de Educação Ambiental do Rio de Janeiro (ProEEA-RJ), com atualizações semestrais.
- Capacitação de professores quanto a utilização do guia de ensino e implementação das ações ao longo do ano letivo, além de promover autonomia para adaptações conforme características de cada região.
- Realização de encontros semestrais com os professores para trocas de experiências e novos aprendizados; criação de calendário ambiental de atividades padrão, a serem realizadas simultaneamente nas regiões, potencializando o alcance da mensagem, além de gerar um grande movimento único e estruturado.

- Elaboração e implementação de mini cursos de capacitação para áreas específicas da Educação Ambiental, como, por exemplo: compostagem, hortas escolares, reaproveitamento de materiais para atividades educativas, reciclagem, entre outros – com validação de horas complementares.
- Abertura da escola em períodos específicos, para recebimento de resíduos (em parcerias com entidades gestoras), palestras e orientação aos pais.
- Realização de gincanas entre escolas para arrecadação de resíduos e consursos para promoção e premiação de iniciativas para busca de soluções para conscientizar e aumentar o descarte correto de resíduos.
- **Garis, Agentes de Saúde, Agentes Ambientais e Representantes de Comunidades Ribeirinhas**

Já para os garis, agentes de saúde, agentes ambientais e representantes de comunidades ribeirinhas, o conjunto de atividades seria o seguinte:

- Eleição de representantes regionais para levantamento de necessidades regionais e assim melhor direcionamento das ações.
- Cursos de capacitação local com Prefeituras locais, educadores ambientais e entidades gestoras, com reciclagem semestral.
- Capacitação de agentes ambientais para cursos voltados a população, incentivando o cultivo de composteiras e produção de horta.
- Realização de reuniões mensais entre os agentes e representantes de comunidades, para troca de experiências, levantamento de necessidades, integração de projetos e apresentação de boas práticas.
- Disponibilização de materiais de apoio e realização de parcerias com o setor privado para implantação de ações de educação ambiental nos municípios.

7. PROPOSIÇÃO DO CENÁRIO

O cenário proposto procurou considerar, na medida do possível, os fatores estabelecidos no PESTEL Ampliado (políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ecológicos (ambientais), legais/regulatórios, logísticos, institucionais, demográficos, educação/conhecimento e de inovação), bem como levando em conta as demais ferramentas abordadas no Capítulo 2 desse Prognóstico.

Além disso, foram fortemente consideradas as premissas estabelecidas, a saber:

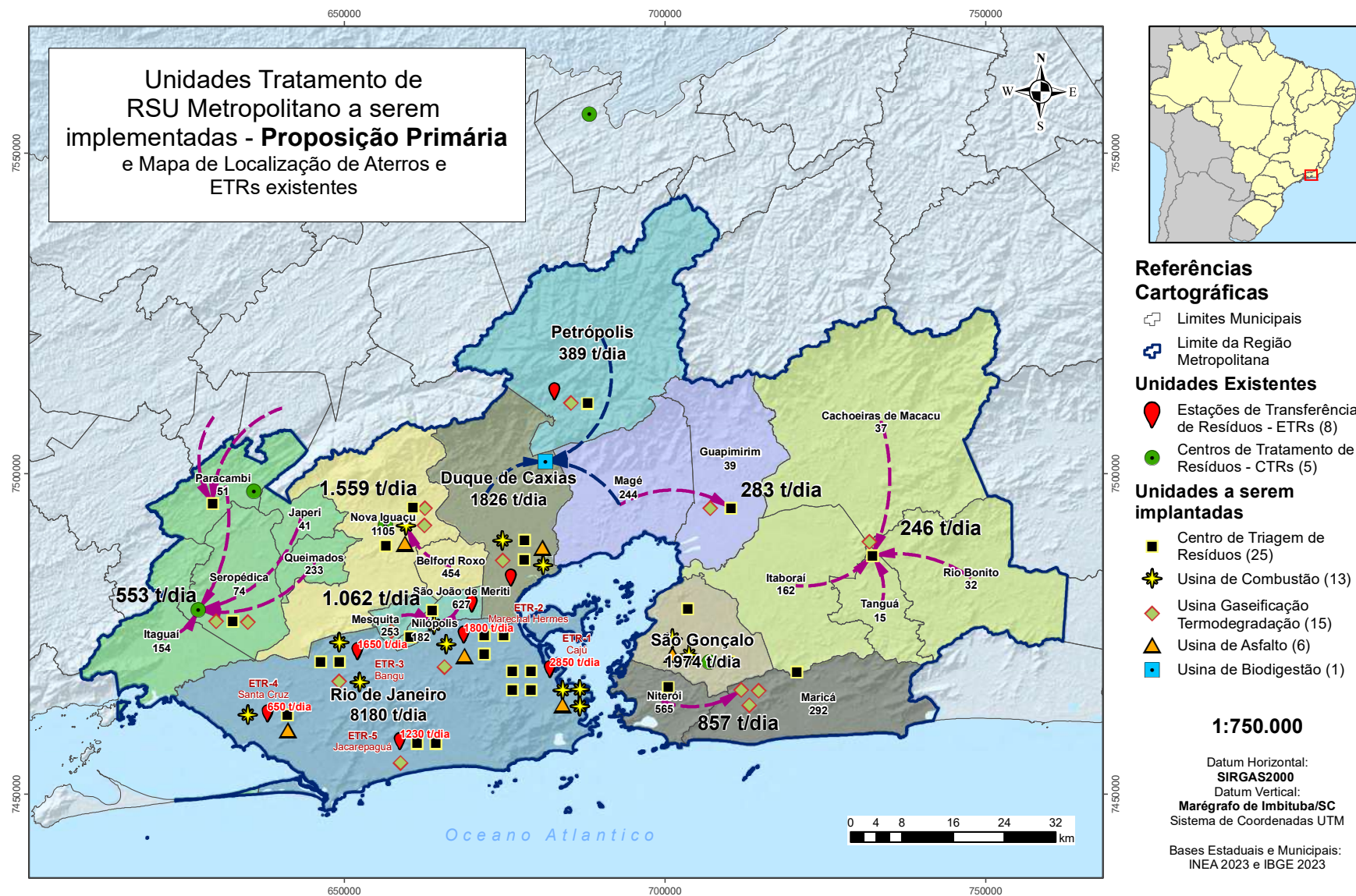
- Disposição mínima de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros sanitários;
- Simplificação da logística metropolitana de manuseio de RSU;
- Monetização e valorização do RSU visando sua conversão em energia elétrica e biomassa;
- Recuperação de passivos ambientais localizados em lixões.

Complementarmente, mas não de forma menos importante, estão sendo consideradas no cenário proposto as tecnologias e metodologias que potencializam a diminuição da quantidade de resíduos enviados para aterros, por meio de estímulo ao incremento da coleta seletiva e a melhoria das práticas relacionadas à segregação, triagem, reciclagem e aproveitamento de resíduos através da combustão com recuperação energética.

Por fim, o cenário proposto será analisado por meio dos seus respectivos Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA's).

A seguir, é apresentado o mapa cenário com a Proposição Primária que está sendo configurada neste estudo.

Figura 87: Cenário de Proposição Primária



Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Neste mapa, está apresentada a localização prévia das usinas de tratamento propostas, assim se mostra indicações de movimentações dos resíduos e a quantidade total de resíduos gerada no município de origem.

É também destacada a quantidade de resíduos que cada associação de municípios soma nas usinas de triagem e tratamento.

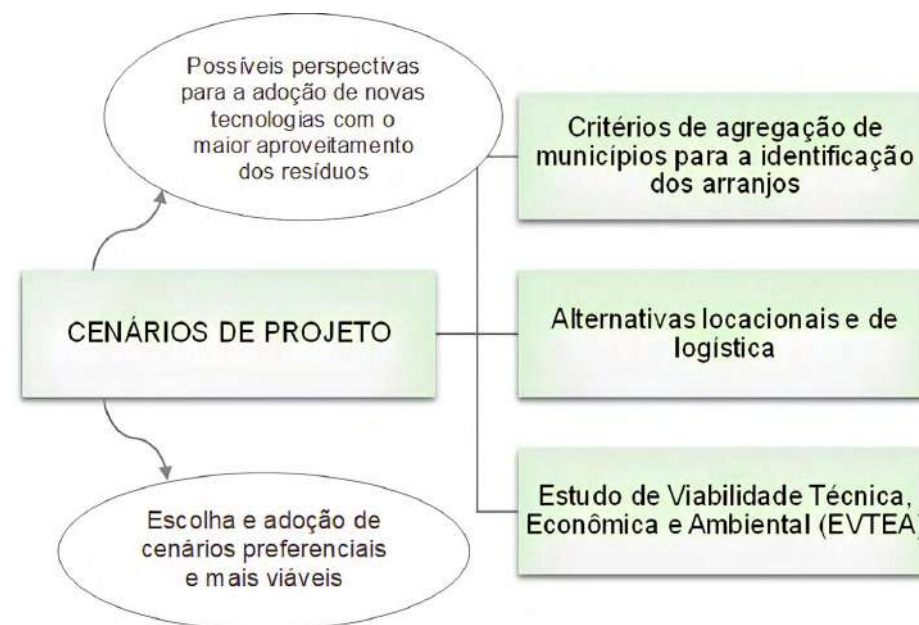
Em cenários posteriores, é feito um estudo contendo as variações em localizações de usinas de tratamento e possíveis destinações alternativas para as regiões associadas. Tais cenários serão discutidos mais profundamente na fase seguinte deste trabalho, no Plano de Ações.

São citados na sequência alguns pontos importantes considerados para a definição do cenário:

- A simplificação da logística metropolitana passa pela otimização dos itinerários de coleta e projeto de estações de transferência de resíduos quando necessário. Essa otimização depende ainda da localização de aterros e dos CTR's. Contribuem para essa otimização os critérios de agregação de municípios para a identificação dos arranjos desenvolvidos posteriormente neste documento.
- A premissa de “monetização e valorização do RSU visando sua conversão em energia elétrica e biomassa” também é incorporada neste conceito, uma vez que se procura incluir nesta CTR (Central de Tratamento de Resíduos) ampliado a URE (Unidade de Recuperação Energética) citada no Prognóstico como instalações que potencializam a valorização dos resíduos a partir da recuperação energética. Os EVTEA's avaliaram essa premissa.
- A recuperação de passivos ambientais localizados em lixões, que serve como premissa do PMetGIRS da RMRJ.

A figura a seguir consolida esses pontos.

Figura 88: Criação dos Cenários de Projeto



Fonte: ENGECONSULT, 2023

Na sequência, serão detalhados um pouco mais esses pontos considerados relevantes para a concepção e elaboração dos cenários propostos.

7.1. CRITÉRIOS DE AGREGAÇÃO DE MUNICÍPIOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DOS ARRANJOS

Para a agregação de municípios da RMRJ foi considerada a proximidade entre eles e a quantidade de RSU gerada em cada um deles. Devido às diferenças de território e população em cada um deles não é possível uma agregação que homogeneíze a distribuição dos tratamentos em toda a RMRJ.

Para obter a melhor performance de tratamento (mínimo de disposição em aterro sanitário, curto traslado para o tratamento de RSU e recuperação máxima de energia), é proposto o seguinte o fluxo operacional: concentração de coleta, triagem, recuperação energética e imobilização de cinzas e geração de energia por meio de tecnologia fotovoltaica, segundo o modelo proposto, aglutinou-se em função da produção de RSU um conjunto de municípios contribuintes conforme a tabela abaixo.

Tabela 36: Agrupamento por Municípios

Região	Município	Soma de Total de Resíduos (t/dia)
1	Itaboraí	162
	Maricá	292
	Niterói	565
	São Gonçalo	1.974
	Total 1	2.993
2	Cachoeiras de Macacu	37
	Guapimirim	39
	Rio Bonito	32
	Tanguá	15
	Total 2	122
3	Duque de Caxias	1.826
	Magé	244
	Petrópolis	389
	Total 3	2.459

Região	Município	Soma de Total de Resíduos (t/dia)
4	Belford Roxo	454
	Mesquita	253
	Nilópolis	182
	Nova Iguaçu	1.105
	São João de Meriti	627
	Total 4	2.620
5	Itaguaí	154
	Japeri	41
	Paracambi	50
	Queimados	233
	Seropédica	74
	Total 5	552
6	Rio de Janeiro	8.180
	Total 6	8.180
Total Geral		16.926

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

7.2. ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E LOGÍSTICAS

Como apresentado no Diagnóstico Geral do PMetGIRS (Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos), a Região Metropolitana do Rio de Janeiro conta com quatro grandes Centros de Tratamento de Resíduos (CTR) em operação, localizados nos municípios de Seropédica, Paracambi, Nova Iguaçu e São Gonçalo, para os quais contribuem grupos de determinado número de municípios.

Esta situação atual revela que a solução de agregação de municípios para ganho de escala no tratamento já é uma realidade, em detrimento das soluções individuais por município.

Da mesma forma, as soluções individualizadas (cada município buscando sua solução individualmente) levaram à grande distribuição de vazadouros e lixões em todo o estado do Rio de Janeiro.

Nota-se ainda a grande disparidade de geração de RSU em sua distribuição territorial, tendo o município do Rio de Janeiro uma contribuição individual maior que todos os outros agrupamentos espaciais de municípios da RMRJ.

7.3. CENÁRIO PROPOSTO

O cenário é proposto para um horizonte de 30 anos. Neste horizonte de projeto ter-se-á uma série de ações que serão consideradas.

Para a elaboração deste cenário, definiu-se uma situação hipotética onde os resíduos coletados em uma determinada área seriam concentrados em lotes maiores em algum ponto de concentração local para envio a uma Unidade de Tratamento Integrado de Resíduos capaz de realizar diversas operações de segregação e tratamento. Pode-se ou não optar por um ou mais pontos de concentração local, dependendo das características da região de interesse, distâncias envolvidas e quantidades de RSU geradas.

Nessas centrais propostas serão inicialmente realizadas as operações de triagem dos RSU recebidos, de forma a separar as frações propícias a serem encaminhadas aos tratamentos posteriores. Esses tratamentos podem incluir:

- Reciclagem para os RSU adequados a esse fim;
- Aproveitamento de resíduos através da combustão para RSU com conteúdo energético adequado;
- Gaseificação para RSU com conteúdo energético adequado.

Além da unidade de aproveitamento de resíduos através da combustão com recuperação energética, cujas cinzas poderiam ser encaminhadas para uma usina de asfalto nas proximidades, a Central contaria ainda com a geração de energia elétrica fotovoltaica, em uma Usina Fotovoltaica (UFV). Neste trabalho considera-se uma capacidade de geração de 5 MW em cada Unidade de Tratamento Integrado de Resíduos.

Figura 89: Concepção Arquitetônica-Artística da Central de Tratamento de Resíduos



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Como haverão aterros sanitários encerrados, pode-se pensar em expandir a instalação de painéis solares sobre as células já encerradas do aterro, pois a estrutura que suporta os painéis solares é suficientemente leve para ser instalada sobre uma célula encerrada de aterro, onde não seriam possíveis edificações de grande peso. Esse conceito pode ser visto na figura abaixo, que simula uma UFV de 1,5 MW de potência sobre a parte já encerrada do antigo lixão de Itaoca em São Gonçalo.

Figura 90: Concepção de uma UFV sobre o Lixão de Itaoca



Fonte: ENGECONSULT (2023)

Mesmo com a instalação dos painéis solares nas células encerradas, o aterro sanitário continuaria emitindo biogás após seu encerramento. Por isso, propõe-se que este gás seja capturado, em tubulações sob os painéis solares, para a ser usado como combustível para motores geradores de até 5 MW de potência, que forneceriam parte da energia necessária à planta de

operação ou disponibilizariam a energia produzida para a concessionária de energia, através dos mecanismos de geração distribuída.

Há que se considerar em estudos posteriores os efeitos ambientais adicionais desta solução em relação a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Embora o gás metano (CH_4) contribua para o efeito estufa pelo menos 21 vezes mais intensamente que o CO_2 , em função de seu PAG (Potencial de Aquecimento Global) a quantidade de gases gerados na Usina de Recuperação de Energia deve ser levada em conta, não apenas no que tange ao CO_2 , mas em relação aos óxidos de nitrogênio (NO_x) e a emissão de dioxinas e furanos (controláveis por meio da tecnologia de resfriamento dos gases).

7.3.1. Triagem

No contexto atual da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), observa-se que o percurso logístico relativo aos RSU é delineado da coleta municipal diretamente para sua destinação terminal em aterros sanitários.

Com exceção das operações da COMLURB no município do Rio de Janeiro, nos municípios não existem centrais de consolidação para a coleta de RSU, seja por demarcações bairro a bairro ou entre municípios adjacentes.

Isso significa que, após a coleta efetuada pelos veículos municipais, os RSU são encaminhados diretamente aos aterros, em sua totalidade volumétrica, sem a intervenção de processos de triagem ou segregação.

Para otimizar a valorização econômica dos RSU, é imprescindível que, além da centralização dos resíduos in natura nas proximidades de sua origem (reduzindo a distância entre a produção e a destinação), se integrem ao protocolo de tratamento desses resíduos etapas cruciais de triagem e de segregação de subprodutos. Estes incluem materiais recicláveis e Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR).

A triagem, enquanto primeiro passo no tratamento dos RSU, prepara o caminho para uma gestão de resíduos mais eficiente, com foco na sustentabilidade e economia circular. Ela desempenha um papel fundamental na otimização da gestão de resíduos. Com a separação adequada, o potencial para reciclagem aumenta, reduzindo o volume destinado à disposição final, minimizando os impactos ambientais e economizando recursos.

Com base nas informações previamente expostas acerca da imperativa necessidade de segregação de resíduos e sua posterior valorização, a Tabela 37 fornece uma representação detalhada da infraestrutura relacionada à gestão de resíduos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Considerando uma capacidade padrão de 685 t/dia por usina de triagem e um CAPEX de R\$ 70.000.000,00 por unidade e a proximidade geográfica e capacidade das usinas, as propostas de implementação são:

Tabela 37: Usinas de Triagem e Estações de Transferência a serem Implantadas

Região	Município	Total de Resíduos (t/dia)	Número de Usinas	CAPEX
1	São Gonçalo	1.974	2	R\$ 140.000.000
	Niterói	565	1	R\$ 70.000.000
	Maricá	292	1	R\$ 70.000.000
	Itaboraí	162		
2	Guapimirim	39	-	-
	Cachoeiras de Macacu	37	-	-
	Rio Bonito	32	-	-
	Tanguá	15	-	-

Região	Município	Total de Resíduos (t/dia)	Número de Usinas	CAPEX
3	Duque de Caxias	1.826	2	R\$ 140.000.000
	Petrópolis	389	1	R\$ 70.000.000
	Magé	244	1	R\$ 70.000.000
4	Nova Iguaçu	1.105	2	R\$ 140.000.000
	São João de Meriti	627	1	R\$ 70.000.000
	Belford Roxo	454	1	R\$ 70.000.000
	Mesquita	253	-	-
	Nilópolis	182	-	-
5	Queimados	233	1	R\$ 70.000.000
	Itaguaí	154		
	Seropédica	74		
	Paracambi	50		
	Japeri	41		
6	Rio de Janeiro	8.180	12	R\$ 840.000.000
Total		16.926	25	R\$1750.000.000

Fonte: ENGECONSULT (2023).

Embora o CAPEX combinado das usinas propostas seja substancial, é crucial entender o retorno potencial desse investimento. Além das economias diretas por evitar a disposição em aterros, a receita gerada a partir da venda de materiais reciclados pode compensar os custos iniciais em um período de tempo relativamente curto.

Com um investimento planejado e bem direcionado em usinas de triagem, a RMRJ tem o potencial de reformular sua gestão de resíduos. A proposta de usinas de triagem nos municípios da RMRJ marca um passo significativo em direção a uma gestão de resíduos mais sustentável.

Além dos benefícios ambientais diretos, a triagem e a reciclagem têm potencial para gerar empregos, promover a educação ambiental e construir uma economia mais circular e resiliente na RMRJ. A adoção desse modelo não só trará benefícios ambientais tangíveis, mas também terá implicações econômicas positivas, tornando a região um modelo para outros centros urbanos no país.

A implementação de usinas de triagem em locais estratégicos, além de sua principal função de separar e classificar os resíduos, pode também desempenhar o papel de Estações de Transferência de Resíduos (ETR). Esta dualidade em sua função traz uma proposta de otimização na gestão de resíduos sólidos urbanos na região metropolitana.

Ao integrar as funções de triagem e transbordo, essas instalações oferecem uma eficiência logística significativa, reduzindo a necessidade de diversos locais para o manejo de resíduos. Os resíduos são triados no mesmo local onde são transferidos para veículos maiores, que os levam para unidades de tratamento ou destinos finais.

Esta configuração representa uma economia expressiva, especialmente em termos de consumo de combustível, manutenção de veículos e tempo, já que diminui a distância percorrida pelos veículos de coleta.

Além da economia, esta estruturação contribui para a redução do impacto ambiental. Com menos deslocamentos e percursos mais curtos, a emissão de poluentes e gases de efeito estufa é diminuída. Outro benefício ambiental decorre da triagem eficiente, que pode maximizar a recuperação de materiais recicláveis, consequentemente reduzindo a quantidade de resíduos direcionados ao aterro.

A flexibilidade operacional também é um aspecto a ser destacado. As instalações que combinam triagem com transbordo têm a capacidade de se adaptar às variações no volume de resíduos, garantindo a eficiência em ambas as funções, mesmo em momentos de demanda elevada.

Em áreas metropolitanas, onde o espaço é muitas vezes um recurso escasso e valioso, a combinação de usinas de triagem com estações de transbordo se apresenta como uma solução estratégica. Consolidar duas funções essenciais em um único local permite uma gestão mais otimizada do espaço disponível.

Além disso, integrando-se ao processo de briquetagem nas usinas de triagem, torna-se possível aperfeiçoar ainda mais essa gestão.

A briquetagem, que envolve a compactação de materiais fragmentados como resíduos de madeira, papel e biomassa, resulta na produção de briquetes, blocos densos e uniformes, normalmente com elevado poder calorífico.

Estes briquetes não apenas facilitam o manuseio, mas também reduzem consideravelmente o volume necessário para transporte e armazenamento. Esta compactação resulta em menos viagens de transporte, gerando consequentemente uma menor emissão de CO₂.

A adição desse processo na usina amplifica a redução do volume de resíduos, promove uma diminuição na dependência de combustíveis fósseis e valoriza materiais que anteriormente seriam descartados.

Assim, a conjunção de triagem, briquetagem e transbordo em uma única infraestrutura potencializa a eficiência na gestão dos RSU nas áreas metropolitanas, alinhando-se ao ideal de otimização espacial e preservação ambiental.

O modelo atual de gestão de resíduos, que enfatiza a destinação direta para aterros sanitários, não apenas é insustentável em longo prazo, mas também subutiliza o potencial econômico e ambiental dos resíduos.

As propostas apresentadas, que incluem a implementação de usinas de triagem combinadas com estações de transbordo e o processo de briquetagem, oferecem uma solução holística para esse desafio. Essa abordagem multifacetada não só otimiza a utilização do espaço, minimiza os impactos ambientais e valoriza os resíduos, mas também representa uma economia significativa em termos logísticos e operacionais.

Além disso, a recuperação e reutilização de materiais proporcionará benefícios econômicos, enquanto a promoção de práticas sustentáveis solidificará a RMRJ como um exemplo a ser seguido por outras regiões metropolitanas.

No cerne da gestão de resíduos na RMRJ, além das propostas que englobam usinas de triagem, estações de transbordo e briquetagem, destaca-se a compostagem como uma ferramenta potencial.

Contudo, o Diagnóstico Geral destaca um obstáculo crucial para a sua implementação plena: a falta de segregação eficaz dos resíduos. A ausência de uma conscientização profunda entre a população sobre a segregação dos resíduos na fonte prejudica o potencial máximo da compostagem.

Em regiões como a RMRJ, esta falha é amplificada, evidenciando que, mesmo com recursos e reconhecimento do valor ambiental da compostagem, a segregação inadequada se coloca como um desafio primordial.

A falta de conscientização sobre a importância da segregação adequada resulta em práticas de descarte inadequadas, de forma a complicar e, muitas vezes, inviabilizar o processo de compostagem.

Quando os resíduos não são devidamente separados na fonte, como em domicílios e pequenos estabelecimentos, ocorre a contaminação cruzada de materiais, tornando o processo de compostagem menos eficaz e aumentando os custos, devido à necessidade de tratamentos adicionais para remover contaminantes.

Além disso, apesar de os resíduos orgânicos representarem uma proporção significativa dos RSU, a destinação predominante ainda é para aterros

e lixões. Isso reforça a ideia de que, sem uma conscientização efetiva e uma segregação adequada, mesmo o potencial expressivo de compostagem na região não pode ser plenamente explorado. Ainda é preciso considerar como desafio, que o composto produzido precisa ser comercializado posteriormente para ter sua viabilidade financeira.

Contrastando com essa realidade, percebemos que a compostagem em grandes geradores apresenta uma dinâmica distinta.

Enquanto em domicílios e pequenos estabelecimentos a segregação ineficiente persiste como barreira, nos grandes geradores, como feiras livres e restaurantes, existe uma vantagem destacada: a geração de resíduos orgânicos em volumes substanciais com características mais homogêneas. Esta homogeneidade facilita a implementação de sistemas de segregação mais eficientes e previsíveis.

A viabilidade econômica da compostagem também ganha destaque nos grandes geradores. Com maiores volumes de resíduos orgânicos, os custos fixos de instalações de compostagem são diluídos, resultando em um custo por tonelada de resíduo processado mais atraente. Além disso, a presença de fornecedores de produtos agrícolas pode facilitar o mercado de consumo para o composto produzido, tornando a viabilidade ainda mais plausível e a capacidade de adoção de tecnologias avançadas em operações de maior escala torna a compostagem mais eficaz e economicamente justificável.

Ao finalizar esta análise sobre a gestão de resíduos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, é evidente que a compostagem, mesmo com suas vantagens inerentes, enfrenta desafios substanciais.

A lacuna na educação e conscientização da população sobre a correta segregação dos resíduos na fonte pode ser vencida com a implementação de programas educativos e de conscientização abrangentes requer um investimento significativo, tanto em termos de tempo quanto de recursos financeiros. Organizar campanhas informativas, treinamentos e oficinas

para a população, e desenvolver materiais educativos de qualidade pode ser um processo longo e oneroso.

Além disso, mudar comportamentos arraigados e práticas de descarte pode levar gerações para ser efetivamente alcançado. Neste contexto, enquanto a educação e a conscientização são fundamentais para melhorar a eficiência da compostagem, é crucial reconhecer que tais esforços demandarão um compromisso de longo prazo e investimentos substanciais.

Desta forma, é pouco viável que a compostagem se estabeleça como uma solução robusta e sustentável na região, mas pode se apresentar muito bem como uma solução local para grandes geradores.

7.3.2. Recuperação Energética a partir do RSU

A segregação de materiais recicláveis, aliada à produção de CDR, é pré-lúdio para o subsequente direcionamento destes últimos a uma Unidade de Recuperação de Energia (URE).

Nestes complexos, por meio dos processos de recuperação energética através da combustão do RSU e termodegradação, há a conversão do potencial energético inerente ao CDR em energia elétrica.

As Unidades de Recuperação de Energia (URE) produzem, adicionalmente à energia elétrica, resíduos na forma de cinzas, representando cerca de 3 a 5% do volume total de RSU tratado. Estas cinzas, residuais do processo, podem ser encaminhadas a uma unidade de produção de asfalto, onde são imobilizadas e integradas à massa asfáltica utilizada em procedimentos de pavimentação, garantindo sua correta disposição e minimizando impactos ambientais.

Para a maximização da eficiência operacional e minimização dos impactos ambientais associados ao transporte dos resíduos, postula-se preferencialmente que os pontos dedicados à concentração, triagem, recuperação

de energia e produção de asfalto sejam estabelecidos em proximidade espacial, na menor distância possível entre eles.

Outras prerrogativas de localização para as estruturas dedicadas ao tratamento dos RSU incluem a implementação em aterros sanitários atuais ou já obsoletos, e em locais anteriormente utilizados como depósitos de lixo, entre outros equivalentes. Tal alocação estratégica visa otimizar o uso de áreas já comprometidas ambientalmente e potencializar a reabilitação destas.

Como se pode observar, a gestão de resíduos sólidos urbanos em metrópoles como a Região Metropolitana do Rio de Janeiro demanda soluções tecnológicas que não apenas tratem os volumes significativos de resíduos gerados diariamente, mas que também façam isso de forma eficiente e sustentável. Nesse cenário, a combinação de recuperação energética através da combustão do RSU e a gaseificação, cada uma com suas capacidades intrínsecas de tratamento, torna-se uma proposta extremamente relevante.

O tratamento final dos resíduos sólidos urbanos exige soluções tecnológicas versáteis e eficazes, aptas a lidar com volumes distintos de resíduos e demandas energéticas variadas.

Diante desse panorama, a combinação das tecnologias de combustão e gaseificação se mostra plenamente justificada.

Inicialmente, a recuperação energética através da combustão do RSU representa uma solução estratégica para áreas urbanas densamente habitadas. Com uma capacidade robusta de processar quantidades acima de 825 t/dia, essa abordagem é capaz de confrontar a volumosa geração diária de resíduos dessas regiões.

Ao converter rapidamente uma extensa massa de resíduos em energia, a recuperação energética através da combustão do RSU não só atenua o

desafio ambiental dos depósitos de lixo, mas também contribui ativamente para suprir as necessidades energéticas imediatas dessas localidades.

Além disso apresenta uma série de benefícios intrínsecos ao tratamento dos RSU. Sua principal virtude reside na capacidade de redução drástica do volume dos resíduos, que pode chegar a até 90% do volume inicial. O que diminui a necessidade de novos aterros sanitários, os quais, além de consumirem vastas áreas de terreno, podem resultar em problemas ambientais significativos a longo prazo.

Em contrapartida, a termodegradação, com sua capacidade diária mais circunscrita, da ordem de 280 t/dia, revela-se particularmente adequada para locais que produzem quantidades menores de RSU. Em áreas onde a produção de resíduos não alcança os volumes maciços das grandes metrópoles, a gaseificação emerge como uma alternativa de tratamento eficiente, ao transformar os RSU em syngas, um gás de relevante potencial energético.

Dessa forma, além de oferecer uma gestão ambiental responsável dos resíduos, essa tecnologia desempenha um papel fundamental na diversificação das fontes de energia. Esse aspecto dual da gaseificação – tratamento de resíduos e produção energética – amplia seu valor, tornando-a uma opção atrativa para áreas com menores volumes de RSU.

Vale ressaltar que a gaseificação traz consigo outros benefícios, como a redução da emissão de gases poluentes, quando comparada a outras formas de disposição de resíduos, e a possibilidade de reaproveitamento dos subprodutos gerados no processo, como os alcatrões e metais pesados, que podem ser recuperados e reutilizados em outras indústrias.

Em síntese, a combinação das tecnologias de recuperação energética através da combustão do RSU e gaseificação para o tratamento final do RSU é justificada tanto pela capacidade intrínseca de processamento de cada tecnologia quanto pelos benefícios ambientais e energéticos agregados. Essas técnicas, quando adotadas de forma complementar, possibilitam

uma resposta integrada e adaptada ao desafio da gestão de resíduos urbanos, levando em consideração a especificidade de cada região.

Em face do exposto, percebe-se que a gestão eficaz dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é uma tarefa intrincada, porém essencial, particularmente em áreas metropolitanas densamente povoadas. A abordagem multifacetada, que integra as tecnologias de recuperação energética através da combustão do RSU e termodegradação, manifesta-se como um mecanismo avançado e inovador para tratar, de maneira sustentável, os resíduos gerados.

A recuperação energética através da combustão do RSU oferece uma solução potente para áreas que enfrentam uma produção diária expressiva de resíduos, enquanto a gaseificação se alinha perfeitamente às necessidades de regiões com geração menor, otimizando, ao mesmo tempo, a produção energética.

Ambas as técnicas, ao convergirem em seus propósitos, representam uma revolução no paradigma da gestão de resíduos, proporcionando benefícios tangíveis tanto no âmbito ambiental quanto no energético. Dessa forma, é crucial que estas abordagens sejam consideradas e implementadas, visando uma gestão de resíduos mais consciente, responsável e adaptada às especificidades e necessidades de cada região, caminhando em direção a um futuro mais sustentável e harmônico com o meio ambiente.

Como já se mencionou anteriormente, as grandes metrópoles, com alta geração de RSU, podem e devem se beneficiar da recuperação energética através da combustão do RSU devido à sua maior capacidade.

Portanto, Rio de Janeiro e São Gonçalo, por exemplo, podem ter unidades de recuperação energética através da combustão do RSU.

Municípios menores ou arranjos de municípios com menor geração de RSU podem se beneficiar da termodegradação. O importante aqui é estrategicamente posicionar as tecnologias com base no volume de RSU e na logística.

A recuperação energética através da combustão do RSU e a gaseificação surgem como opções tecnológicas promissoras para atender às demandas específicas de cada município, levando em consideração a geração diária de resíduos e as capacidades operacionais das usinas.

A tabela a seguir apresenta uma proposta estratégica de distribuição das usinas de recuperação energética através da combustão do RSU e gaseificação pelos municípios, tendo como base sua capacidade de processamento e as necessidades locais.

A presente proposição tem como objetivo central avaliar a implementação de distintos processos de tratamento do RSU, tendo em vista suas potencialidades, custos associados e capacidades de processamento.

Com base em parâmetros econômicos, este estudo almeja iluminar os caminhos mais promissores para a otimização da gestão de RSU em

regiões metropolitanas, garantindo uma abordagem que esteja alinhada tanto com os imperativos ambientais quanto com a sustentabilidade econômica.

A Tabela 38 retrata uma pesquisa, que levantou as melhores práticas para o tratamento do RSU, com recuperação de energia e a produção mínima de cinzas de imobilização.

Tabela 38: Boas Práticas de Tratamento de RSU

Tipo de Tratamento	Funcionalidade	Capacidade (t/dia)	CAPEX (R\$ 0,00)	Tecnologista	Onde no Brasil
Triagem	Tratamento mecânico de segregação de materiais recicláveis e matéria orgânica	685	40.000.000	TOMRA	Ecoparque Pernambuco – Recife, PE
Combustão	Recuperação de energia elétrica a partir de RSU com chama direta e excesso de 20% de O ₂	825	600.000.000	Haztec – Orizon	URE-Barueri, SP
Termodegradação	Recuperação de energia elétrica a partir de RSU sem chama direta e com deficiência de O ₂	300	28.000.000	Union Rhac – Panasonic	URE-Unaí, MG
Usina de Asfalto	Imobilização de cinzas e incorporação de borracha de pneus usados em massa asfáltica de pavimentação de ruas	100	2.000.000	Ciber	Usina de Asfalto do Rio de Janeiro – RJ
Usina Fotovoltaica	Geração Distribuída (GD) de energia elétrica por fonte sustentável	5.000 kWp	20.000.000	Windeo Brasil	Usina Windeo C14-18 kWp – Rio de Janeiro, RJ

Fonte: ENGECONSULT (2023)

Todas as tecnologias listadas têm, pelo menos, uma unidade operando em território nacional. Como premissa de tratamento, a princípio todas as unidades operacionais deverão contar com uma usina fotovoltaica de 5,0 MWp em geração distribuída, para favorecer o balanço energético e econômico do tratamento de RSU.

Com esses dados e os agrupamentos previamente definidos, tem-se uma proposição de um dos cenários para tratamento final do RSU da RMRJ.

Tabela 39: Locais para Implantação de Usinas de Recuperação Energética através da Combustão do RSU e pelo Processo de Termodegradação.

Região	Município	Total de Resíduos (t/dia)	Nº Usina de Recuperação Energética através da combustão do RSU	Nº Usina Termodegradação
1	São Gonçalo	1.974	1	2
	Niterói	565		1
	Maricá	292		1
	Itaboraí	162		
2	Guapimirim	39	-	1
	Cachoeiras de Macacu	37		
	Rio Bonito	32		
	Tanguá	15		
3	Duque de Caxias	1.826	1	1
	Petrópolis	389		1
	Magé	244		1

Região	Município	Total de Resíduos (t/dia)	Nº Usina de Recuperação Energética através da combustão do RSU	Nº Usina Termodegradação
4	Nova Iguaçu	1.105	1	-
	São João de Meriti	627	1	-
	Belford Roxo	454		
	Mesquita	253		
	Nilópolis	182		
5	Queimados	233	-	1
	Itaguaí	154		
	Seropédica	74		
	Paracambi	50		
	Japeri	41		
6	Rio de Janeiro	8.180	6	1
Total		16.926	10	10

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Após análise detalhada da geração de RSU e das capacidades das tecnologias de recuperação energética através da combustão do RSU e gaseificação, a distribuição proposta busca otimizar a gestão de resíduos na região, reduzindo impactos ambientais e garantindo um tratamento adequado.

A combinação de ambas as tecnologias, especialmente em locais de alta geração como o Município do Rio de Janeiro, demonstra uma abordagem integrada que maximiza a eficiência e a sustentabilidade.

Estas propostas, ao serem implementadas, têm o potencial de transformar significativamente a gestão de resíduos, movendo a região em direção a um futuro mais sustentável e responsável.

Pensando nisso a tabela a seguir apresenta uma proposta de implantação de usinas de recuperação energética através da combustão do RSU e gaseificação em diferentes municípios da região, considerando o volume de RSU gerado, a capacidade das usinas e os custos associados à implementação.

Os dados consolidados na tabela refletem um planejamento estratégico voltado à otimização do tratamento de RSU na RMRJ. As propostas de instalação das usinas foram baseadas não apenas na quantidade de resíduos gerados, mas também na infraestrutura já existente e nos custos associados.

Economicamente, quando se analisa os parâmetros fornecidos (TIR, CAPEX, OPEX e VPL), torna-se evidente que cada tecnologia tem suas forças.

A termodegradação, apesar de sua capacidade menor, apresenta um retorno percentual mais alto com um investimento inicial significativamente menor.

Em contraste, a recuperação energética através da combustão do RSU, com sua maior capacidade, oferece um VPL total mais elevado.

A combinação dessas tecnologias no cenário permite à RMRJ capitalizar as vantagens econômicas de ambas, equilibrando o alto retorno percentual da termodegradação com o VPL mais robusto da recuperação energética através da combustão do RSU. Além disso, ao diversificar as tecnologias, a região pode acomodar mudanças futuras nas quantidades e composições dos resíduos, bem como nas dinâmicas econômicas e políticas.

Tabela 40: Custo de Implantação de Usinas de Recuperação Energética através da Combustão do RSU e do Processo de Termodegradação.

Região	Município	Nº Usina de Recuperação Energética através da combustão do RSU	CAPEX da Usina de Recuperação Energética através da combustão do RSU	Nº Usina Termodegradação	CAPEX Usina Termodegradação
I	São Gonçalo	I	R\$630.000.000,00	2	R\$ 220.000.000,00
	Niterói			I	R\$ 110.000.000,00
	Maricá			I	R\$ 110.000.000,00
	Itaboraí				

Tabela 40: Custo de Implantação de Usinas de Recuperação Energética através da Combustão do RSU e do Processo de Termodegradação. (continuação)

Região	Município	Nº Usina de Recuperação Energética através da combustão do RSU	CAPEX da Usina de Recuperação Energética através da combustão do RSU	Nº Usina Termodegradação	CAPEX Usina Termodegradação
2	Guapimirim	-	-	I	R\$ 110.000.000,00
	Cachoeiras de Macacu				
	Rio Bonito				
	Tanguá				
3	Duque de Caxias	I	R\$630.000.000,00	I	R\$ 110.000.000,00
	Petrópolis			I	R\$ 110.000.000,00
	Magé			I	R\$ 110.000.000,00
4	Nova Iguaçu	I	R\$630.000.000,00	-	-
	São João de Meriti	I	R\$630.000.000,00		
	Belford Roxo				
	Mesquita				
	Nilópolis				
5	Queimados	0	R\$ -	I	R\$ 110.000.000,00
	Itaguaí		R\$ -		
	Seropédica		R\$ -		
	Paracambi		R\$ -		
	Japeri		R\$ -		
6	Rio de Janeiro	6	R\$3.780.000.000,00	I	R\$ 110.000.000,00
Total		10	R\$6.300.000.000,00	10	R\$1.100.000.000,00

Fonte: ENGECONSULT, 2023

O cenário, que propõe a implementação combinada das tecnologias de recuperação energética através da combustão do RSU e termodegradação, emerge como uma solução holística e economicamente viável para a gestão de RSU na RMRJ.

Esta proposta oferece uma resposta robusta às demandas atuais e futuras da região, aproveitando os pontos fortes de ambas as tecnologias.

Enquanto a recuperação energética através da combustão do RSU traz sua alta capacidade e VPL significativo, a termodegradação oferece retornos percentuais atrativos com custos iniciais e operacionais mais baixos.

Ao adotar uma abordagem combinada, a RMRJ estará melhor posicionada para enfrentar os desafios da gestão de resíduos de maneira sustentável e econômica.

8. ANÁLISE PRELIMINAR DE RESULTADOS E VIABILIDADE

8.1. METODOLOGIA

A seguinte metodologia de trabalho apresenta a análise de viabilidade econômica e financeira, da implantação de alternativas de tratamento para o RSU bruto na RMRJ. A análise de viabilidade se faz necessária pela importância do planejamento na busca da melhor alternativa de investimento, com o menor risco.

A análise de viabilidade econômica e financeira realizada tem como foco a aplicação do sistema pela prefeitura. Portanto, os custos com a logística de transporte de resíduos e a taxa de disposição de resíduos em aterros, atualmente pagos pelos cofres públicos, terão seus valores reduzidos e essa economia será considerada como receita.

O estudo tem como objetivo:

- Elaborar a projeção do fluxo de caixa do empreendimento, considerando o modelo de 35 anos, similar à concessão da CEDAE;
- Indicar qual é o valor do investimento (CAPEX) a ser feito;
- Estimar a capacidade de geração de renda dos sistemas de tratamento de RSU (RECEITAS):
- Não Disposição em Aterro;
- Geração de Energia Elétrica;
- Simplificação de Logística do RSU (transporte);
- Crédito de Carbono;

- Levantar os custos operacionais das atividades (DESPESAS ou OPEX):
- Custos de Manutenção;
- Custos na Operação;
- Custo de Energia;
- Depreciação de Instalações;
- Custos Variáveis;
- Analisar a viabilidade do projeto através do cálculo dos indicadores de viabilidade, TIR (Taxa Interna de Retorno), VPL (Valor Presente Líquido) e payback (Tempo de Retorno do Investimento).

A metodologia empregada possui abordagem quantitativa, por meio de uma pesquisa bibliográfica e documental. Após a análise dos dados obtidos ao longo do diagnóstico, optou-se por realizar o estudo com base em unidades padronizadas e modulares, de forma a ser possível adaptar a quantidade de módulos por região a ser atendida.

Os resultados obtidos através dessa análise de viabilidade são considerados como preliminares e, deverão ser confirmados posteriormente com a elaboração do Plano de Negócios para o tratamento do RSU metropolitano.

A projeção dos valores de resíduos será utilizada para planejar a infraestrutura, definir a estratégia de tratamento, o modelo para implementação da solução proposta e a disposição final do resíduo, levando em consideração fundamentalmente os aspectos ambientais.

A confiabilidade desta projeção para um horizonte temporal de 30 anos torna-se assertiva em função da análise de dados previamente realizada.

Também é essencial mencionar que, de acordo com os dados apresentados pelo Censo Demográfico de 2022 do IBGE, observa-se uma tendência de desaceleração no crescimento populacional do Brasil, evidenciada pela menor taxa anual de crescimento desde 1872, de apenas 0,52%.

Este fenômeno é especialmente notável em regiões como o Sudeste e o Nordeste, que registraram as menores taxas de crescimento anual desde o Censo 2010.

Além disso, cidades chave como Rio de Janeiro e Salvador chegaram a demonstrar uma retração absoluta na população.

Tabela 41: Variação de População da Região Metropolitana do Rio de Janeiro do ano 2000 até 2053

Nome do Município	Total da população 2000	Total da população 2010	Variação 2000/2010	Total da população 2022	Variação 2010/2022	Projeção Proporcional da população 2033	Variação 2022/2033	Projeção Proporcional da população 2043	Variação 2033/2043	Projeção Proporcional da população 2053	Variação 2043/2053
Belford Roxo	434.474	469.261	8%	483.087	3%	Projetado	Projetado	Projetado	Projetado	Projetado	Projetado
Cac. de Macacu	48.543	54.370	12%	56.943	5%						
Duque de Caxias	775.456	855.046	10%	808.161	-5%						
Guapimirim	37.952	51.487	36%	51.696	0%						
Itaboraí	187.479	218.090	16%	224.267	3%						
Itaguaí	82.003	109.163	33%	116.841	7%						
Japeri	83.278	95.391	15%	96.289	1%						
Magé	205.830	228.150	11%	228.127	0%						
Maricá	76.737	127.519	66%	197.277	55%						
Mesquita	0*	168.403	0%	167.127	-1%						
Nilópolis	153.712	157.483	2%	146.774	-7%						
Niterói	459.451	487.327	6%	481.749	-1%						
Nova Iguaçu	920.599**	795.212	-14%**	785.867	-1%						
Paracambi	40.475	47.074	16%	41.375	-12%						

Tabela 41: Variação de População da Região Metropolitana do Rio de Janeiro do ano 2000 até 2053 (continuação)

Nome do Município	Total da população 2000	Total da população 2010	Variação 2000/2010	Total da população 2022	Variação 2010/2022	Projeção Proporcional da população 2033	Variação 2022/2033	Projeção Proporcional da população 2043	Variação 2033/2043	Projeção Proporcional da população 2053	Variação 2043/2053
Petrópolis	286.537	296.044	3%	278.881	-6%	Projetado	Projetado	Projetado	Projetado	Projetado	Projetado
Queimados	121.993	137.938	13%	140.523	2%						
Rio Bonito	49.691	55.586	12%	56.276	1%						
Rio de Janeiro	5.857.904	6.323.037	8%	6.211.223	-2%						
São Gonçalo	891.119	999.901	12%	896.744	-10%						
S. J. de Meriti	449.476	459.356	2%	440.962	-4%						
Seropédica	65.260	78.183	20%	80.596	3%						
Tanguá	26.057	30.731	18%	31.086	1%						
Total	11.254.026	12.244.752	11,93%	12.021.871	-1,82%	12.967.912	7,87%	13.056.618	0,68%	12.844.400	-1,63%

*Em 2000 Mesquita pertencia à Nova Iguaçu, sendo contabilizado na população deste município

** Pelo mesmo motivo, parte da redução populacional observada em Nova Iguaçu, é referente à separação de Mesquita. A variação estimada é aproximadamente 5%

Fonte: IBGE, 2022

Diante desses fatos, é com esmero que se deve projetar um aumento no volume de resíduos sólidos urbanos para as próximas décadas.

A diminuição ou estagnação populacional sugere a possibilidade de um volume de resíduos igualmente estagnado ou até reduzido, desafiando a lógica de um planejamento urbano que antecipa um aumento no volume de resíduos gerados.

Portanto, qualquer projeção do volume de resíduos sólidos urbanos deve se basear em um estudo complexo de cada município e suas tendências

demográficas recentes para evitar superestimações que podem levar a investimentos desnecessários ou planejamentos inadequados.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro apresenta uma complexidade intrínseca que torna a previsão de RSU uma tarefa desafiadora. Seu crescimento urbano desordenado, diversidade populacional e ampla gama de atividades econômicas são aspectos que, por si só, já complicam as estimativas.

Além disso, o rápido avanço tecnológico com inovações constantes tem o potencial de revolucionar os produtos consumidos e a maneira como os resíduos são gerados e tratados.

Em centros urbanos intensos como o Rio de Janeiro, as políticas públicas podem ser particularmente voláteis. Mudanças significativas nas abordagens de gestão de resíduos, incentivos à reciclagem ou mesmo proibições, como a do uso de certos plásticos, têm o poder de distorcer as projeções iniciais em pouco tempo.

A economia é outro motor de mudança. Variações significativas no crescimento econômico, transformações industriais ou recessões podem afetar diretamente os padrões de consumo e, conseqüentemente, a produção de resíduos.

Ao mesmo tempo, não se pode subestimar o poder da cultura e do comportamento do consumidor. A Região Metropolitana é um caldeirão de tendências e movimentos culturais que podem não seguir um padrão de projeções. Campanhas de conscientização ou simples mudanças de mentalidade popular podem reduzir drasticamente a geração de certos resíduos, enquanto novos padrões de consumo podem introduzir outros.

Entendendo todo o cenário acima apresentado, é fundamental reconhecer as limitações dos modelos de projeção atualmente em uso. Muitos desses modelos dependem excessivamente de dados históricos e supõem uma continuidade de tendências que podem se tornar obsoletas diante das rápidas transformações do ambiente metropolitano.

Embora a projeção do volume de RSU possa nortear o planejamento e a gestão na Região Metropolitana do Rio de Janeiro no curtíssimo prazo, é imperativo reconhecer as incertezas inerentes a previsões de longo prazo.

Tendo em vista as rápidas transformações sociais, econômicas, tecnológicas e ambientais, é recomendável adotar uma abordagem mais flexível

e adaptativa, revisando periodicamente as projeções e adaptando-as à realidade em constante mudança.

Essa postura não apenas fortalece a gestão de RSU, mas também garante que os estudos de viabilidade técnica e ambiental sejam atualizados constantemente. Portanto para os EVTE's que serão apresentados a seguir foram considerados unidades modulares com base no volume atual de geração de RSU para a RMRJ e suas projeções.

8.2. ELEMENTOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO

A análise de investimentos se faz essencial por vários motivos, sendo o principal deles a importância em se realizar uma análise prévia dos indicadores econômicos e financeiros do empreendimento antes de sua implantação, pois só por meio desta análise pode-se visualizar a real situação para saber se vale a pena realizar o investimento ou não.

Nenhuma tomada de decisão é isenta de riscos e incertezas. O desafio é amenizar estes riscos e incertezas através da elaboração de estudos consistentes e fundamentados, que apresentem sua potencialidade de ganhos, ou a minimização de perdas frente aos riscos inerentes do negócio em análise. Para isso, podem-se utilizar várias métricas matemáticas para a análise e levantamento de informações relevantes sobre o projeto e, assim, estimar a sua viabilidade tendo em vista a rentabilidade e o tempo de retorno.

A avaliação da viabilidade econômica e financeira do projeto de investimento engloba diversas métricas que permitem uma tomada de decisão mais assertiva diante dos resultados.

Este trabalho abordará algumas métricas tais como: Payback (prazo de retorno do investimento inicial), TIR (Taxa Interna de Retorno) e VPL (Valor Presente Líquido).

Outros levantamentos serão desenvolvidos para auxiliar na técnica, como a elaboração do fluxo de caixa e a definição da TMA (taxa mínima de atratividade). Diante dos resultados levantados, serão elaborados também alguns cenários que irão auxiliar na tomada de decisão.

Este capítulo irá trazer a revisão bibliográfica sobre os seguintes assuntos: viabilidade do projeto, receitas, custos e despesas, depreciação, taxa mínima de atratividade – TMA, fluxo de caixa, Valor Presente Líquido – VPL, prazo de retorno do investimento – payback, e Taxa Interna de Retorno – TIR.

• Viabilidade de Projetos

De acordo com Keelling (2002), o estudo de viabilidade é um dos passos mais importantes para o sucesso no desenvolvimento do projeto e, com muita frequência, é negligenciado ou inadequadamente realizado.

Cita também que é em grande parte no estudo de viabilidade que o administrador financeiro baseará a avaliação de risco do projeto, valor potencial e adequação para investimento ou apoio financeiro.

• Custo de Investimento - CAPEX

Segundo Motta e Calôba (2001), os investimentos em CAPEX (Capital Expenditure) podem abranger aquisição de imóveis (terrenos, prédios administrativos e prédios industriais), construções de áreas físicas, aquisição de equipamentos, concepção da empresa, imobilizações intangíveis e despesas pré-operacionais.

Vale ressaltar que as despesas pré-operacionais, devem estar diretamente ligadas ao projeto imobilizado de longo prazo, pois, caso contrário, esse custo não poderá ser direcionado como CAPEX, também conhecido como despesas de capital.

Estas despesas significam a quantia destinada para aquisição ou melhoria de bens de capital em uma determinada empresa, ou seja, é a quantidade

de investimentos que foi realizada para obtenção ou melhoria de equipamentos e instalações com o objetivo de manter o negócio em funcionamento (MARAR, 2011).

Assim, entende-se que vários tipos de investimentos, se cumpridas as características citadas acima, podem ser considerados CAPEX e por consequência, ocasionar melhora na saúde do caixa de uma empresa se gerido corretamente, uma vez que, no entendimento de Marar, várias despesas poderão ser destinadas para pagamento no longo prazo e não no curto, aliviando diretamente o caixa.

Dentro do PMetGIRS da RMRJ, o CAPEX define o investimento de capital financeiro para atender à construção das instalações industriais, necessárias ao tratamento do RSU metropolitano. Em trabalho de pesquisa junto aos tecnólogos de tratamento obteve-se uma estimativa de investimento para a aquisição das usinas completas para operação.

• Receitas nos Processos de Tratamento do RSU

Um valor de receita é aquele que origina entradas, especialmente a financeira, proveniente das vendas de produtos, mercadorias e de serviços. Há outras bem menos expressivas, como a de rendimentos de aplicações, por exemplo.

Contudo, é importante entender que receita e entrada são coisas diferentes. Um empréstimo, por exemplo, pode ser uma entrada, mas não é uma receita, pois terá de ser devolvido no futuro.

No âmbito do EVTE dos processos de tratamento do RSU metropolitano, o conceito de receita se divide em dois grupos:

Receita Direta: originária de uma venda direta de produtos, sejam materiais recicláveis (papel, plásticos, metais, vidros e CDR - combustível derivado de resíduo), eletricidade gerada na usina de conversão RSU x Energia Elétrica e créditos de carbono.

Receita Indireta: originária de uma simplificação de processo interno da gestão integrada do RSU, ou mesmo, da supressão de uma etapa do tratamento. No caso do tratamento do RSU da RMRJ, o ato de não enterar o RSU em aterro sanitário gerará uma economia na disposição final do resíduo metropolitano. No mesmo ato de não enterrar o RSU em aterro sanitário, acontece um segundo benefício de economia na logística do RSU, que é não transportar o RSU até os aterros sanitários licenciados, que na maioria dos trajetos se estendem por muitos quilômetros.

• Custos e Despesas Operacionais - OPEX

De acordo com Casarotto Filho e Kopittke (2000), os custos normalmente são subdivididos em custos de produção e despesas gerais.

Os custos de produção são aqueles que ocorrem até a fabricação do produto, como exemplo tem-se o custo das matérias-primas ou o custo de manutenção.

Já as despesas gerais são aquelas que ocorrem do término da fabricação até a complementação da venda, como exemplo: a despesa com a comercialização dos produtos e impostos sobre receita.

Os custos de produção são subdivididos em custos diretos e indiretos. Casarotto Filho e Kopittke (2000, p. 199) determinam que “os custos diretos referem-se aos fatores diretamente utilizados na fabricação dos produtos e variam normalmente de forma direta com a utilização da capacidade de produção”. Souza e Diehl (2009, p. 17) explicam que “os custos diretos são aqueles que podem ser facilmente atribuídos a um produto ou objeto de custo”.

Por outro lado, Casarotto Filho e Kopittke (2000, p. 200) também explicam que “os custos indiretos normalmente não variam proporcionalmente à produção e podem até ser considerados como fixos em certos casos”.

Souza e Diehl (2009, p. 17) afirmam que “os custos indiretos são aqueles cuja relação com o produto (ou objeto de custo) é de difícil identificação”.

No âmbito do EVTE dos processos de tratamento do RSU metropolitano, o conceito de despesa se divide nas seguintes rubricas de gastos:

- Energia Elétrica: converter RSU em energia elétrica necessita o emprego de energia elétrica. Nesse processo, o custo de energia vem da demanda contratual por potência associada à usina de conversão e do consumo de energia usada na conversão;
- Mão-de-obra operacional da usina: salários e encargos;
- Custos de manutenção da usina: serviços e materiais;
- Custos Variáveis: impostos, insumos e materiais diversos.

Depreciação: Souza e Diehl (2009) conceituam depreciação como o reconhecimento da perda de valor do bem em função do desgaste pelo uso, ação da natureza e obsolescência normal. Eles inclusive destacam que um aspecto importante da depreciação é que, apesar de constar nas planilhas de custos, ela não é desembolsável, isto é, não há retirada de caixa para efetuar-la.

• Taxa Mínima de Atratividade - TMA

Na análise de projetos, é necessária a definição prévia de alguns parâmetros mínimos de comparabilidade, como, por exemplo, a taxa mínima de atratividade.

A TMA representa o mínimo de retorno exigido pelo investidor. Segundo Kassai et al. (2000, p. 58):

Entende-se por taxa mínima de atratividade (TMA) a taxa mínima a ser alcançada em determinado projeto; caso contrário, o mesmo deve ser rejeitado. É, também, a taxa utilizada para descontar os fluxos de caixa quando se usa o método de valor presente líquido (VPL) e o parâmetro de comparação para a TIR. É o rendimento mínimo de uma segunda melhor alternativa do mercado.

No âmbito do EVTE dos processos de tratamento do RSU metropolitano, o conceito de **TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)** é o valor mínimo do dinheiro que atraia o capital próprio ao investimento.

No caso das análises envolvendo o PMetGIRS será usada como TMA a taxa SELIC, que em julho de 2023 estava em 13,75 % a.a.

• Fluxo de Caixa - FC

Para realizar um projeto de investimento é necessário verificar todas as entradas e saídas de dinheiro da empresa.

As análises devem ser consistentes e ser baseadas em dados exatos, para tanto, faz-se necessária a utilização de um método denominado como fluxo de caixa, onde este demonstra todas as movimentações financeiras realizadas pela instituição.

Os investidores aplicam dinheiro em uma determinada empresa ou em um determinado projeto de investimento com a expectativa de obter retornos também na forma de dinheiro.

Uma empresa lucrativa não possui, necessariamente, dinheiro disponível, seu lucro pode estar em imobilizações, por exemplo. O fluxo de caixa líquido é o que melhor representa o retorno de investimento na forma de dinheiro disponível (BROM; BALIAN, 2007).

• Valor Presente Líquido - VPL

O valor presente líquido é um dos instrumentos mais utilizados para se avaliar propostas de investimentos de capital. Reflete a riqueza em valores monetários do investimento, medida pela diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, a uma determinada taxa de desconto e pode ser obtido por meio da seguinte fórmula (KASSAI et al. 2000):

$$VPL = \frac{FC0}{(1+i)^0} + \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1+i)^n}$$

Onde: FC = Fluxo de Caixa esperado (positivos ou negativos)

i = taxa de atratividade (desconto)

Kassai et al. (2000) destaca também que o VPL é um dos melhores métodos e o principal indicador como ferramenta para analisar projetos de investimentos, não apenas porque trabalha com o fluxo de caixa descontado e pela sua consistência matemática, mas também porque o resultado é em espécie, revelando a riqueza absoluta do investimento.

Com base no resultado do VPL, existe regra de decisão básica pelo método conforme segue abaixo (BROM; BALIAN, 2007):

- Se o VPL for > 0 , aceita-se o projeto de investimento, pois os retornos oferecidos cobrirão o capital investido, o retorno mínimo exigido e ainda oferecerão um ganho líquido extraordinário ao investidor.
- Se o VPL for $= 0$, o projeto de investimento apresenta-se indiferente, pois seu retorno apenas cobrirá o capital investido e o retorno mínimo exigido pelo investidor, não oferecendo qualquer vantagem ou ganho além disso.
- Se o VPL for < 0 , rejeita-se o projeto de investimento, pois os retornos oferecidos não cobrirão o capital investido acrescido do retorno mínimo exigido pelo investidor.

Conclui-se que, se o VPL for maior que zero e apresentar um resultado satisfatório para o empreendedor o projeto deve ser implantado, caso contrário, ele deve ser rejeitado devido apresentar desvantagens.

• Prazo de Retorno do Investimento - Payback

Esse método apura o tempo necessário para que determinado investimento seja recuperado ou ainda, para que retorne ao investidor.

O payback é o período de recuperação de um investimento e segundo Kassai et al. (2000), consiste na identificação do prazo em que o montante

do dispêndio de capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento. É o período em que os valores dos investimentos (fluxos negativos) se anulam com os respectivos valores de caixa (fluxos positivos).

“O payback é utilizado como referência para julgar a atratividade relativa das opções de investimento. Deve ser encarado com reservas, apenas como indicador, não servindo para seleção entre alternativas de investimento” (MOTTA; CALÔBA, 2002).

Sousa (2007) destaca que o fundamento da técnica do payback é procurar identificar o tempo necessário à recuperação do valor investido e tanto há duas abordagens, denominadas payback simples e payback descontado conforme abaixo:

- **Payback Simples:** Esta técnica trabalha com as entradas de caixa das datas em que se espera que ocorram sem a aplicação de nenhuma taxa de desconto. Utilizam-se esses valores de futuras entradas para amortização do valor presente do investimento a ser realizado na data zero.
- **Payback Descontado:** A diferença desta técnica em relação ao payback simples é que as futuras entradas de caixa são apresentadas sob valores presentes para fins de amortização do investimento inicial. Para isso é necessário saber qual é a taxa mínima de retorno aceitável pelo investidor – TMRA – e proceder-se o desconto das futuras entradas esperadas de caixa.

Portanto, o payback não é método de decisão sobre investimentos, pois trata-se de uma metodologia simples e rápida, porém, é relevante para a efetivação do projeto pois é por meio dele que se verifica o tempo de retorno do investimento. Nesta análise, o investidor terá conhecimento da maturidade do investimento além de saber o tempo de exposição ao risco. Com isso, cabe a ponderação com os outros métodos para a tomada de decisão final.

• Taxa Interna de Retorno - TIR

A taxa interna de retorno avalia a rentabilidade de um projeto de investimento. Para Horngren, Sundem e Stratton (2004), a taxa interna de retorno calcula a taxa de desconto na qual o valor presente dos fluxos de caixa de um projeto é igual ao valor presente das saídas de caixa esperadas, ou seja, é a taxa de desconto onde o valor presente líquido é igual à zero. Pode ser obtida com a seguinte fórmula:

$$ZERO = \frac{FC0}{(1 + TIR)^0} + \frac{FC1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC2}{(1 + TIR)^2} + \frac{FC3}{(1 + TIR)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1 + TIR)^n}$$

Onde: FC = Fluxos de Caixa esperados (positivos ou negativos).

Para Brom e Balian (2007), a Taxa Interna de Retorno representa a taxa média periódica de retorno de um projeto suficiente para repor, de forma integral e exata, o investimento realizado. A taxa média periódica de retorno representa a medida de rentabilidade de determinado projeto de investimento.

Os autores citam também que o cálculo da TIR independe de qualquer informação externa ao próprio fluxo de caixa do projeto de investimento.

Desta forma, pode-se afirmar que a TIR compara o resultado obtido nos cálculos efetuados em determinado projeto de investimento com o custo de oportunidade dos recursos próprios utilizados, com o custo de captação dos capitais de terceiro, e/ou com o retorno mínimo necessário para remunerar adequadamente os financiadores internos, devendo ser no mínimo, igual aos fatores econômicos e financeiros utilizados.

Para a análise de decisão por meio da TIR tem as seguintes regras para serem observadas (BROM; BALIAN 2007):

- Se a TIR for maior que a taxa de atratividade, aceita-se o projeto de investimento;

- Se a TIR for menor que a taxa de atratividade, rejeita-se o projeto;
- Se a TIR for igual à taxa de atratividade, o VPL será zero (indiferente).

Ao calcular a taxa interna de retorno, o investidor verifica se o resultado é maior que a taxa mínima de outra opção de investimento. Uma TIR maior que a TMA mostra que o projeto é lucrativo, ou seja, apresenta um VPL maior que zero.

Os três métodos, VPL, Payback e TIR apresentam informações distintas como descrito anteriormente. Conforme comentado, enquanto o payback permite identificar o prazo de retorno do investimento, o VPL mostra o valor líquido que restará ao investidor após a amortização do valor investido, e a TIR indica a taxa de retorno que o projeto tem capacidade de gerar.

8.3. DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS

No intuito de levantar as indicações de viabilidade técnica e econômica para os processos de tratamento de RSU metropolitano selecionados, aplicaremos a seguinte metodologia:

- Processos de tratamento do RSU selecionados para Estudo de Viabilidade Técnica Econômica (EVTE): Triagem, Recuperação energética através da combustão do RSU e Gaseificação (termodegradação);
- Parâmetros iniciais de análise econômica:
- Método: Fluxo de Caixa de empreendimento, com cálculo de indicadores de performance;
- Tempo de avaliação para o empreendimento: 35 anos;

Os investimentos iniciais (CAPEX) de cada um dos processos foram informados pelo fornecedor da tecnologia, como se apresenta a seguir:

- Triagem: R\$ 40.000.000,00 (quarenta milhões de reais);

- Recuperação energética através da combustão de RSU: R\$ 600.000.000,00 (seiscentos milhões de reais);
- Gaseificação: R\$ 80.000.000,00 (oitenta milhões de reais);
- Usina de Energia Fotovoltaica (potência 5,0 MWp): R\$ 30.000.000,00 (trinta milhões de reais).

Da mesma forma, também a capacidade de tratamento por processo foi informada pelo fornecedor da tecnologia:

- Triagem: 685 t/dia de RSU;
- Recuperação energética através da combustão de RSU: 825 t/dia de RSU;
- Gaseificação (termodegradação): 280 t/dia.

O valor da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi estabelecido como sendo igual à taxa SELIC de julho de 2023, no valor de 13,75% a.a.

Já as receitas consideradas no cálculo do Fluxo de Caixa foram as seguintes:

a. Não Disposição de RSU em Aterro Sanitário:

Valores em R\$, pelo produto da vazão mássica de RSU em t/dia e o valor de aterro sanitário R\$ 72,00/t RSU (valor recebido pela Ciclus no CTR-Rio).

b. Triagem do RSU Bruto:

Conforme já demonstrado na fase de Diagnóstico do PMetGIRS da RMRJ, o RSU teve o potencial de recuperação dos diversos componentes dos resíduos em: matéria-orgânica, papel, plásticos, metais, vidro e inertes (combustíveis derivados de resíduos – CRD). Para efeito da análise em pauta foi considerada uma Usina de Triagem onde todos os componentes são separados mecanicamente.

As Tabelas a seguir apresentam, na ordem: a composição dos RSU, com os valores correspondentes aos materiais recicláveis; e o valor comercial dos recicláveis.

Tabela 42: Composição dos RSU

Componentes dos Resíduos Sólidos Domésticos	%
Matéria Orgânica	50,78
Recicláveis	38,71
Outros Componentes	10,51
Total	100

Recicláveis dos Resíduos Sólidos Domésticos	%
Papel	14,72
Plástico	18,76
Vidro	3,55
Metal	1,68
Total	38,71

Outros Componentes dos Resíduos Sólidos Domésticos	%
Inertes	15,70
Folhas de Vegetais	9,76
Madeira	4,69
Borracha	2,70
Tecido e/ou Trapo	22,68
Couro	3,23
Osso	1,12
Vela / Parafina	0,37

Outros Componentes dos Resíduos Sólidos Domésticos	%
Coco	8,19
Eletrônicos	4,01
Absorventes Descartáveis	27,55
Total	100

Fonte: Fase de Diagnóstico do PMetGIRS da RMRJ.

Tabela 43: Valor Comercial dos Recicláveis

Valor Comercial - Materiais Recicláveis	
Material	ECCOS (R\$/kg)
Garrafa PET	2,40
Metal	6,20
Papelão	0,40
Plástico Filme	1,30
Sucata de cobre misto	23,00
Sucata de ferro misto	0,55
Sucata de latinha	8,00
Vidro	0,10

Fonte: Cooperativa de Recicláveis ECCOS.

Geração de Energia Elétrica: expressa em R\$, trata-se do produto entre a taxa de conversão de RSU em energia (kWh/t RSU), característica de cada tecnologia de tratamento, entre o número de horas por dia de operação da usina e entre o valor da energia R\$/kWh.

Tabela 44: Tecnologias e Consumo de Energia

Tecnologia	Capacidade (t/dia)	Pot Geração (kW)	Pot Consumo (kW)	EE Geração kWh/d	EE Consumo kWh/d	Tx Geração kW/ton	Tx Consumo kW/ton
Triagem	685	-	500	-	12.000	-	0,73
Gaseificação	280	5.600	700	134.400	16.800	20,00	2,50
Recuperação Energética através da combustão do RSU	825	20.000	3.000	480.000	72.000	24,24	3,64

Fonte: TOMRA, Union Rhac e Haztec

Créditos de Carbono: expresso em R\$, trata-se do produto entre a taxa de conversão de kWh/tonCO₂, publicada pela Empresa de Pesquisa Energética do Ministério de Minas e Energia, entre a cotação do crédito de carbono em bolsa de valores e entre a cotação do câmbio

Simplificação de Logística: o fato em não enterrar o RSU em aterro sanitário e, o fato de triar o RSU bruto separando e segregando subprodutos de valor indicam que a quantidade de RSU a se transportar diminuirá em comparação de como é feito hoje, onde 100 % do RSU coletado é enterrado em aterros sanitários licenciados. A COMLURB, através do portal da transparência, indica que o custo do RSU consome R\$ 250/ton em logística de resíduos (coleta, transporte, transbordo e disposição). Assim, para efeito de avaliação de viabilidade, admite-se que a simplificação da logística do RSU implicará uma economia de 30 % do custo atual.

Cálculo de **DESPESAS - OPEX** do Fluxo de Caixa:

Demanda Contratada de Energia: todo consumidor de energia em alta ou média tensão deve contratar uma Potência de Contrato, junto à concessionária local de energia. O valor a ser pago é expresso pelo produto entre a Potência Contratada (kW) e a taxa de potência (R\$/kW).

Depreciação de Instalação: é um percentual do CAPEX que associa monetariamente o desgaste de equipamentos e instalações pelo uso delas. Nesse caso, adotaremos a taxa de 0,5 % a.a.

Custo de Manutenção: é o custo para promover a manutenção de equipamentos e instalações, a fim de mantê-los sempre disponíveis para operação. É expresso em um percentual do faturamento da usina.

Custo Operacional: é a despesa de pagamento da força de trabalho da usina, incluindo os salários, os encargos e os benefícios sociais dos colaboradores da usina.

Custos Variáveis: mix de pequenas despesas associado a materiais, a serviços e impostos necessários para o funcionamento da usina.

Custo de Energia: para promover a separação de materiais recicláveis e a conversão do RSU em energia elétrica devemos consumir o insumo elétrico. O valor da conta é o produto do consumo energético em kWh por mês e a tarifa de energia em R\$/kWh.

• Atualização Monetária do Fluxo de Caixa

O EVTE dos tratamentos de RSU metropolitanos serão para o prazo de 35 anos. Assim, anualmente, as receitas e as despesas deverão ser reajustadas por índices de inflação. Para as Receitas usaremos o reajuste anual das concessionárias Light e Enel e, para as despesas, foi usado o IPCA da Fundação Getúlio Vargas.

Tabela 45: Tabela Comparativa de Reajustes

Tabela Comparativa Reajustes -					
ANO	ENEL (%)	IPCA (%)	LIGHT (%)	INPC (%)	IGP-M (%)
2013	12,13	5,91	-14,30	5,56	5,53
2014	2,64	6,41	12,85	6,23	3,67
2015	42,19	10,67	46,49	11,28	10,54
2016	7,38	6,29	-11,93	6,58	7,19
2017	-6,15	2,95	10,03	2,07	-0,53
2018	21,04	3,75	9,18	3,43	7,55
2019	9,72	4,31	11,52	4,48	7,32
2020	2,48	4,52	5,98	5,45	23,14
2021	4,63	10,06	4,67	10,16	17,79
2022	15,38	3,88	15,41	5,93	5,46
2023	6,01	2,95	7,40	2,79	-2,58
Soma	117,45	61,69	97,30	63,96	85,08
Média	10,68	5,61	8,85	5,81	7,73

Fonte: Light, ENEL e FGV

Demonstração do Fluxo de Caixa do Empreendimento:

- Dispor o CAPEX, as Receitas e as Despesas do empreendimento em um Fluxo de Caixa de 35 anos, tanto na forma de planilha quanto na forma de um gráfico.

- Calcular os Indicadores de Viabilidade Payback, TIR e VPL:
- Payback ou Tempo de Retorno Investimento: desejável < 10 anos.
- Taxa Interna de Retorno: TIR > 1,4 % a.m.
- Valor Presente Líquido: VPL > 0.

8.4. EVTE TRIAGEM

A eficiência na triagem e tratamento do RSU não se restringe apenas à perspectiva ambiental, mas também à econômica, especialmente quando se considera a implementação de soluções sustentáveis de geração de energia a partir destes resíduos.

A Tabela 46, apresentada abaixo, oferece um panorama sobre o investimento necessário (CAPEX - Capital Expenditure) para estabelecer uma Unidade de Triagem e Unidade de Triagem e Transbordo e uma instalação de geração de energia solar associada a este processo.

Tabela 46: CAPEX Triagem

CAPEX TRIAGEM	
R\$ por t/h de RSU	R\$ 1.401.460
Capacidade (t/h)	28,542
CAPEX triagem (R\$)	40.000.000
R\$ SOLAR por kWp	R\$ 6.000
Potência SOLAR (kWp)	5.000
CAPEX SOLAR (R\$)	30.000.000
TOTAL CAPEX (em R\$)	R\$ 70.000.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023

De acordo com os dados, o CAPEX para a triagem, com uma capacidade de processamento de cerca de 28 toneladas por hora, está estimado em R\$ 1.401.460,00 por tonelada/hora. Este valor representa o investimento inicial para se ter uma unidade operando com esta capacidade. O CAPEX total para a Unidade de triagem é de R\$ 40.000.000,00.

Já no que diz respeito à integração com a geração de energia solar, o investimento por kWp (quilowatt-pico) é de R\$ 6.000,00.

Considerando a potência solar desejada de 5000 kWp, tem-se um CAPEX para o sistema solar de R\$ 30.000.000,00.

Somando-se os valores dos CAPEX da Triagem RSU e do sistema solar, o investimento total necessário é de R\$ 70.000.000,00.

Esta análise financeira preliminar destaca a relevância de se compreender os custos associados à implementação de soluções sustentáveis e eficientes no tratamento dos RSU.

A viabilidade técnica e ambiental destas soluções, portanto, não apenas determina a possibilidade de sua implementação, mas também o retorno sobre o investimento e os benefícios ambientais e sociais que podem ser alcançados.

A Tabela 47 quantifica o potencial de retorno financeiro, detalhando as receitas associadas ao processo de triagem e tratamento dos RSU, abrangendo desde a economia com a não disposição em aterros até a geração de energia e créditos de carbono.

De acordo com a tabela acima a receita anual total prevista para a Unidade de Triagem e Tratamento de RSU é de R\$ 64.819.877,00, considerando um aproveitamento de 30% do resíduo reciclável que chega à estação.

No campo da geração de energia, a instalação solar detém uma potência de 5.000 kWp.

Com uma operação média de 3,3 horas diárias, esta unidade gera 16.500 kWh todos os dias. No valor comercial de R\$ 0,50 por kWh, isso resulta em uma receita anual de R\$ 3.011.250,00.

Paralelamente, a energia produzida pela instalação solar viabiliza a geração de créditos de carbono, rendendo uma receita anual de R\$ 217.719,00.

Tabela 47: Receitas Anuais - Triagem

RECEITAS ANUAIS - Triagem	R\$ 64.819.877
Geração Energia Elétrica	
Taxa Geração Combustão (kW/t RSU)	0,00
Capacidade (t RSU/d)	685
Potência Combustão (kW)	-
Nº Horas Geração RSU (h)	24
Energia Gerada Combustão (kWh/dia)	-
Valor Comercial do kWh (R\$/kWh)	0,50
Taxa Conversão kWh/dia EE por t/dia RSU	0
Receita Energia Combustão (R\$/dia)	R\$ -
Potência SOLAR (kWp)	5.000
Nº Horas Geração SOLAR (h)	3,3
Energia Gerada SOLAR (kWh/dia)	16.500
Receita Energia Solar (R\$/dia)	R\$ 8.250
Tx Geração Gaseificação (kW/t RSU)	0,00
Capacidade (t RSU/d)	685
Potência Gaseificação (kW)	-
Energia Gerada CDR (kWh/dia)	-
Receita EE Gaseificação (R\$/dia)	R\$ -
Receita Anual de Energia Recuperada	R\$ 3.011.250

Tabela 47: Receitas Anuais - Triagem (continuação)

RECEITAS ANUAIS - Triagem	R\$ 64.819.877
Crédito de Carbono	
Índice de Conversão EPE kg CO ₂ /MWh	78,8
Energia Gerada (kWh/d)	16.500
Energia Gerada (MWh/ano)	5.940
Créditos Carbono Gerados (t CO ₂ /ano)	468
Cotação Crédito Carbono Bolsa UK (Euro/t CO ₂)	€ 88,13
Cotação Câmbio (R\$/Euro)	R\$ 5,2779
Receita Anual Créditos de Carbono	R\$ 217.719
TRIAGEM	30% de aproveitamento
Plástico (R\$/ano)	33.771.377
Papel (R\$/ano)	4.416.442
Metal (R\$/ano)	7.812.781
Vidro (t/ano)	266.277
CRD (R\$/ano)	15.324.032
Receita Anual TRIAGEM	R\$ 61.590.908

Fonte: ENGECONSULT, 2023

A venda de resíduos recicláveis também contribui significativamente para a receita.

As vendas anuais de plástico, papel, metal e CDR (Combustível Derivado de Resíduos) são estimadas em R\$ 33.771.377,00; R\$ 4.416.442,00; R\$ 7.812.781,00 e R\$ 4.597.210,00, respectivamente, somando R\$ 15.324.032,00.

Os dados apresentados confirmam que a prática de triagem, quando implementada eficazmente, não é somente uma etapa preliminar no tratamento de RSU, mas uma iniciativa com significativas repercussões financeiras.

Enquanto outras tecnologias, como a recuperação energética através da combustão do RSU e a termodegradação, são vitais no ciclo de gestão de resíduos, a triagem é o ponto de partida que assegura a efetividade e eficiência destas técnicas subsequentes. O retorno econômico associado a essa etapa reforça a necessidade de sua otimização contínua, posicionando-a como um pilar fundamental no tratamento sustentável de resíduos.

A Tabela 48 delinea estes custos operacionais, o OPEX, associados exclusivamente ao processo de triagem, oferecendo uma visão panorâmica dos gastos e alocações de recursos necessários para a manutenção eficiente desta etapa fundamental.

Tabela 48: OPEX Triagem.

OPEX (em R\$/ano)	R\$ 14.014.025
Demanda Contratada	R\$ 2.112.000
Potência Contratada	5.500
Tx Mensal Demanda (R\$/KW)	R\$ 32,00
Depreciação	R\$ 2.000.000
Tx Depreciação Anual (% do CAPEX)	2,86
Custo Manutenção	R\$ 301.125
MO Operação (anual)	R\$ 7.200.000
Operação Mensal COM Encargos	R\$ 600.000
Operação Mensal SEM Encargos	R\$ 300.000
Salário Médio SEM Encargos	R\$ 3.000
Nº Colaboradores	100

Tabela 48: OPEX Triagem. (continuação)

OPEX (em R\$/ano)	R\$ 14.014.025
Custos Variáveis	R\$ 240.900
Insumos & Materiais Diversos	R\$ 90.338
Imobilização de Cinzas	R\$ -
Impostos	R\$ 150.563
Custo Energia	R\$ 2.160.000
Consumo Potência Combustão (kW)	-
Consumo Potência Gaseificação (kW)	-
Consumo Potência Triagem (kW)	500
Nº horas de Operação	24
Custo da Energia (R\$/kWh)	0,50
Custo Total da Energia por dia	R\$ 6.000
Custo Total da Energia por mês	R\$ 180.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023

A tabela apresenta um OPEX anual total de R\$ 14.014.025,00 para o processo de triagem. Desse montante, a demanda contratada representa R\$ 2.112.000,00 com uma potência contratada de 5.500 kW, levando a uma taxa mensal de R\$ 32 por kW.

A depreciação, um componente essencial na contabilidade de ativos fixos, é estimada em R\$ 2.000.000,00, representando 1,97% do CAPEX anual.

Em termos de manutenção, o custo é calculado em R\$ 301.125,00, ao passo que a mão de obra para operação e seus encargos somam-se a R\$ 7.200.000,00 por ano.

Esses valores sugerem uma operação mensal de R\$ 300.000,00 sem encargos, com um salário médio de R\$ 3.000,00 para um corpo de 100 colaboradores.

No espectro dos custos variáveis, totalizando R\$ 240.900,00, os insumos e materiais diversos chegam a R\$ 90.338,00 e os impostos a R\$ 150.563,00.

No que tange à energia, um custo substancial de R\$ 2.160.000,00 é registrado. Com a triagem consumindo 500 kW e operando 24 horas por dia, o custo da energia por kWh é de R\$ 0,50, totalizando R\$ 6.000,00 diários ou R\$ 180.000,00 mensais.

Tabela 49: Receitas, CAPEX e OPEX - Triagem

Receitas (em R\$/ano)	R\$ 101.573.552
Não Disposição em Aterro	R\$ 18.001.800
Geração Energia Elétrica	R\$ 3.011.250
Simplificação de Logística	R\$ 18.751.875
Crédito de Carbono	R\$ 217.719
TRIAGEM	R\$ 61.590.908
CAPEX (em R\$)	R\$ 70.000.000
CAPEX Triagem (R\$)	R\$ 40.000.000
CAPEX SOLAR (R\$)	R\$ 30.000.000
OPEX (em R\$/ano)	R\$ 14.014.025
Demanda Contratada	R\$ 2.112.000
Depreciação	R\$ 2.000.000
Custo Manutenção	R\$ 301.125
MO Operação	R\$ 7.200.000
Custos Variáveis	R\$ 240.900
Custo Energia	R\$ 2.160.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Tabela 50: Parâmetros EVTE Triagem

Parâmetros EVTE	
Fluxo de Caixa (ano)	35
Tx. Mínima Atrativ. (% a.a.) - SELIC	13,75%
Índice de Reajustes	
ENEL (% a.a.)	10,68
IPCA (% a.a.)	5,61
Indicadores de Resultado	
Payback	1 A 4 M
TIR (% a.a ; a.m.)	84,54% ; 5,24%
VPL (R\$)	6.451.021.567

Fonte: ENGECONSULT, 2023

De acordo com a tabela anterior, os parâmetros financeiros apresentados para a EVTE ilustram um projeto robusto e viável.

Com um Payback de apenas 1 ano e 4 meses, a recuperação do investimento é rápida e a TIR notavelmente alta indica retornos substanciais.

O VPL positivo reforça a viabilidade financeira do projeto.

No contexto das discussões anteriores, estes indicadores, juntamente com as projeções de receita e despesa, sugerem que o investimento na EVTE pode ser uma decisão financeira sólida e lucrativa a longo prazo.

O fluxo de caixa, apresentado na tabela a seguir, refere-se à projeção financeira de uma usina de Triagem ao longo de 35 anos. Ele apresenta o investimento inicial (CAPEX), as receitas e despesas anuais e o fluxo acumulado ao longo dos anos.

O CAPEX mostra um desembolso significativo no ano zero, indicativo do investimento inicial necessário para a instalação e início do projeto. Os anos subsequentes demonstram uma série de receitas e despesas, representando a operação da planta e a valorização do resíduo tratado.

Tabela 51: Fluxo de Caixa Triagem - 35 anos

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 35 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	SALDO	Fluxo Acumulado
0	-70.000.000	0	0	0	-70.000.000
1	0	64.819.877	-14.014.025	50.805.852	-19.194.148
2	0	71.740.872	-14.800.015	56.940.857	37.746.709
3	0	79.400.840	-15.630.088	63.770.752	101.517.461
4	0	87.878.684	-16.506.716	71.371.968	172.889.429
5	0	97.261.730	-17.432.511	79.829.219	252.718.648

Tabela 51: Fluxo de Caixa Triagem - 35 anos (continuação)

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 35 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	SALDO	Fluxo Acumulado
6	0	107.646.630	-18.410.230	89.236.400	341.955.048
7	0	119.140.354	-19.442.785	99.697.569	441.652.617
8	0	131.861.294	-20.533.252	111.328.042	552.980.659
9	0	145.940.483	-21.684.879	124.255.604	677.236.263
10	0	161.522.946	-22.901.096	138.621.850	815.858.113
11	0	178.769.191	-24.185.526	154.583.665	970.441.778
12	0	197.856.865	-25.541.994	172.314.871	1.142.756.649
13	0	218.982.582	-26.974.541	192.008.041	1.334.764.690
14	0	242.363.949	-28.487.434	213.876.515	1.548.641.205
15	0	268.241.808	-30.085.179	238.156.629	1.786.797.834
16	0	296.882.717	-31.772.535	265.110.182	2.051.908.016
17	0	328.581.694	-33.554.528	295.027.166	2.346.935.182
18	0	363.665.257	-35.436.466	328.228.791	2.675.163.973
19	0	402.494.788	-37.423.954	365.070.834	3.040.234.807
20	0	445.470.254	-39.522.912	405.947.342	3.446.182.149
21	0	493.034.327	-41.739.592	451.294.735	3.897.476.884
22	0	545.676.946	-44.080.597	501.596.349	4.399.073.233
23	0	603.940.361	-46.552.899	557.387.462	4.956.460.695
24	0	668.424.720	-49.163.863	619.260.857	5.575.721.552
25	0	739.794.250	-51.921.265	687.872.985	6.263.594.537

Tabela 51: Fluxo de Caixa Triagem - 35 anos (continuação)

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 35 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	SALDO	Fluxo Acumulado
26	0	818.784.099	-54.833.319	763.950.780	7.027.545.317
27	0	906.207.910	-57.908.698	848.299.212	7.875.844.529
28	0	1.002.966.200	-61.156.563	941.809.637	8.817.654.166
29	0	1.110.055.636	-64.586.588	1.045.469.048	9.863.123.214
30	0	1.228.579.303	-68.208.989	1.160.370.314	11.023.493.528
31	0	1.359.758.065	-72.034.556	1.287.723.509	12.311.217.037
32	0	1.504.943.142	-76.074.683	1.428.868.459	13.740.085.496
33	0	1.665.630.025	-80.341.405	1.585.288.620	15.325.374.116
34	0	1.843.473.885	-84.847.430	1.758.626.455	17.084.000.571
35	0	2.040.306.619	-89.606.180	1.950.700.439	19.034.701.010

Fonte: ENGECONSULT, 2023

O investimento inicial, realizado no ano zero, é da ordem de R\$ 70 milhões. Surpreendentemente, nesse ano, não há evidência de receitas ou despesas, levando o fluxo acumulado a uma posição negativa. Entretanto, já no primeiro ano, observa-se um aumento progressivo nas receitas.

Este fenômeno pode ser atribuído a uma expansão contínua nas operações da EVTE ou, possivelmente, a uma apreciação do valor do resíduo processado.

Adicionalmente, é importante notar que, mesmo que as despesas também apresentem um crescimento, elas permanecem consideravelmente inferiores às receitas em todos os anos. Esse comportamento financeiro se traduz em um fluxo anual consistentemente positivo, já desde o início das operações. Surpreendentemente, no primeiro ano, o fluxo acumulado

já se reposiciona no verde, indicando uma recuperação expressiva do investimento inicial em um espaço de tempo curto, apenas um ano e quatro meses.

A tendência observada nos anos subsequentes é igualmente notável. As receitas e despesas continuam a crescer. No entanto, as primeiras mantêm uma vantagem significativa sobre as últimas. Esse desempenho garante que o fluxo acumulado siga uma trajetória ascendente, fortalecendo-se robustamente ano após ano.

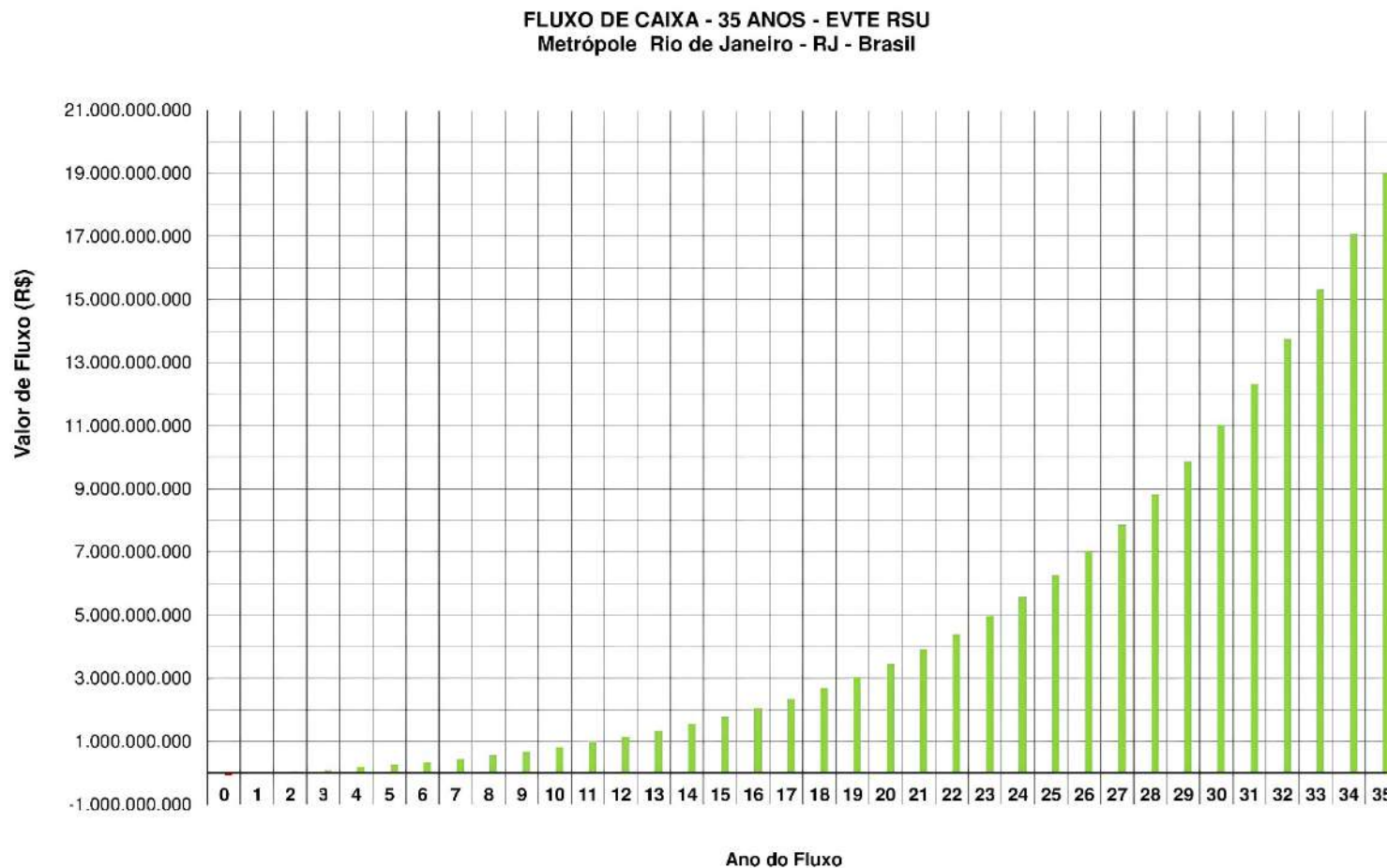
O fluxo de caixa projetado para a usina de triagem ao longo de 35 anos apresenta um cenário financeiro muito positivo, como apresentado na figura acima. Apesar de um alto investimento inicial, a rápida recuperação

e o crescimento sustentável das receitas, em comparação com as despesas, mostram a viabilidade e rentabilidade do projeto a longo prazo.

Esta análise sugere que o projeto não apenas se paga rapidamente, mas também gera fluxos de caixa significativos nos anos subsequentes,

tornando-o um investimento atrativo. Além dos benefícios financeiros, considerando as discussões anteriores sobre tratamento de RSU, uma EVTE oferece benefícios ambientais, reforçando ainda mais a sua relevância e impacto positivo.

Figura 91: Gráfico de Fluxo de Caixa Triagem



Fonte: ENGECONSULT, 2023.

8.5. EVTE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA ATRAVÉS DA COMBUSTÃO DE RSU

A recuperação energética através da combustão do Resíduo Sólido Urbano (RSU) representa uma abordagem inovadora que converge a necessidade de lidar com o desafio do descarte de resíduos e a demanda crescente por fontes de energia sustentáveis.

Neste contexto, o investimento (CAPEX) associado a esta abordagem é fundamental para sua viabilidade e escopo, conforme tabela abaixo:

Tabela 52: CAPEX Recuperação Energética através da Combustão

CAPEX RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA ATRAVÉS DA COMBUSTÃO DO RSU	
R\$ UTE por t/h de RSU	R\$ 17.457.085
Capacidade (t/h)	34,37
CAPEX UTE RSU (R\$)	600.000.000
R\$ SOLAR por kWp	R\$ 6.000
Potência SOLAR (kWp)	5000
CAPEX SOLAR (R\$)	30.000.000
TOTAL CAPEX (em R\$)	R\$ 630.000.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

No centro desta proposta, observa-se que o custo da UTE para tratar uma tonelada de RSU por hora está estimado em R\$ 17.457.085,00. Com uma capacidade de tratamento impressionante de 34,37 toneladas por hora, a UTE necessitará de um investimento total de R\$ 600.000.000,00. Este valor sublinha a magnitude e a importância dada a esta iniciativa.

Paralelamente, a integração de uma fonte de energia renovável acrescenta uma dimensão adicional ao projeto. Com um custo de R\$ 6.000,00

por kWp e uma potência instalada de 5000 kWp, a instalação solar demanda um investimento inicial de R\$ 30.000.000,00.

Ao somar os investimentos da UTE e da instalação solar, percebe-se um CAPEX global de R\$ 630.000.000,00, que além de refletir o compromisso com uma solução sustentável de energia, também ressalta a visão holística de integrar múltiplas fontes de energia na matriz energética.

Este projeto, com um investimento robusto de R\$ 630.000.000,00, se apresenta não apenas como uma solução para o descarte de resíduos urbanos mas também como um meio de avançar na direção de uma matriz energética diversificada e sustentável.

Combater os desafios ambientais contemporâneos requer investimentos significativos e este projeto exemplifica claramente esse compromisso.

O projeto em análise demonstra como a UTE e outros componentes são capazes de transformar o descarte de resíduos em um modelo sustentável e lucrativo.

Na tabela a seguir, pode-se observar que as receitas anuais provenientes da UTE são projetadas em R\$ 155.882.006,00. Uma análise mais detalhada mostra as fontes múltiplas dessa receita.

Primeiramente, ao evitar a disposição de resíduos em aterros, são economizados, no mínimo, R\$ 70,00 por tonelada, totalizando uma economia mínima de R\$ 21.078.750,00 por ano aos cofres públicos.

Além disso, a combustão dos RSU gera energia. Com uma taxa de geração de 24,24 kW por tonelada de RSU e capacidade para tratar 825 toneladas por dia, tem-se uma geração diária significativa de 480.000 kWh.

Ao comercializar esta energia a R\$ 0,50 por kWh, obtém-se uma receita diária de R\$ 240.000,00.

Complementando a matriz energética, a potência solar contribui com mais 16.500 kWh por dia, traduzindo-se em uma receita adicional de R\$ 8.250,00 diariamente.

Tabela 53: Receitas Recuperação Energética através da Combustão

RECEITAS ANUAIS - UTE	R\$ 155.882.006
Não Disposição em Aterro	
Custo da Disposição em Aterro (R\$/t)	R\$ 70,00
Receita Não Disposição (R\$/dia)	R\$ 57.750
Receita Não Disposição (R\$/ano)	R\$ 21.078.750
Geração Energia Elétrica	
Taxa de Geração Combustão (kW/t RSU)	24,24
Capacidade (t RSU/d)	825
Potência Combustão (kW)	20.000
Nº Horas Geração RSU (h)	24
Energia Gerada Combustão (kWh/dia)	480.000
Valor Comercial do kWh (R\$/kWh)	0,50
Taxa Conversão kWh/dia EE por t/dia RSU	581
Receita Energia Combustão (R\$/dia)	R\$ 240.000
Potência SOLAR (kWp)	5.000
Nº Horas Geração SOLAR (h)	3,3
Energia Gerada SOLAR (kWh/dia)	16.500
Receita Energia Solar (R\$/dia)	R\$ 8.250
Receita Anual de Energia Recuperada	R\$ 90.611.250
Simplificação de Logística	
Economia Simplificação (R\$/t)	125
Receita Simplificação da Logística (R\$/dia)	R\$ 103.125
Receita Anual Decorrente da Simpl. Logística	R\$ 37.640.625

RECEITAS ANUAIS - UTE	R\$ 155.882.006
Crédito de Carbono	
Índice de Conversão EPE kg CO ₂ /MWh	78,8
Energia Gerada (kWh/d)	496.500
Energia Gerada (MWh/ano)	178.740
Créditos Carbono Gerados (t CO ₂ /ano)	14.085
Cotação Crédito Carbono Bolsa UK (Euro/t CO ₂)	€ 88,13
Cotação Câmbio (R\$/Euro)	R\$ 5,2779
Receita Anual Créditos de Carbono	R\$ 6.551.381
TRIAGEM	
Plástico (R\$/ano)	-
Papel (R\$/ano)	-
Metal (R\$/ano)	-
Vidro (t/ano)	-
CRD (R\$/ano)	-
Receita Anual TRIAGEM	-

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

A tabela a seguir lança luz sobre os custos operacionais (OPEX) associados a tal projeto, ajudando a entender melhor como os recursos são alocados e quais áreas demandam maior atenção financeira.

Tabela 54: OPEX Recuperação Energética através da Combustão

OPEX (em R\$/ano)	R\$ 56.739.375
Demanda Contratada	R\$ 9.792.000,00
Potência Contratada	25.500
Tx Mensal Demanda (R\$/KW)	R\$ 32,00
Depreciação	R\$ 18.000.000
Tx Depreciação Anual (% do CAPEX)	2,86
Custo Manutenção	R\$ 1.812.225
MO Operação (anual)	R\$ 7.200.000
Operação Mensal COM Encargos	R\$ 600.000
Operação Mensal SEM Encargos	R\$ 300.000
Salário Médio SEM Encargos	R\$ 3.000
Nº Colaboradores	100
Custos Variáveis	R\$ 6.975.150
Insumos & Materiais Diversos	R\$ 1.812.225
Imobilização de Cinzas	R\$ 632.363
Impostos	R\$ 4.530.563
Custo Energia	R\$ 12.960.000
Consumo Potência Combustão (kW)	3.000
Consumo Potência Gaseificação (kW)	-
Consumo Potência Triagem (kW)	-
Nº horas de Operação	24
Custo da Energia (R\$/kWh)	0,50
Custo Total da Energia por dia	R\$ 36.000
Custo Total da Energia por mês	R\$ 1.080.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

As despesas operacionais anuais totais foram estimadas em R\$ 56.739.375,00, onde se verifica que a demanda contratada, relativa à potência garantida pela distribuidora, é de R\$ 9.792.000,00, considerando uma potência contratada de 25.500 kW a uma taxa mensal de R\$ 32,00 por kW. Esse é um investimento significativo, que evidencia a importância da energia para o funcionamento eficaz da unidade.

Já a depreciação anual, calculada em 2,86% do CAPEX, representa um valor de R\$ 18.000.000, valor que ressalta a necessidade de se considerar o desgaste e a obsolescência do equipamento ao longo do tempo.

Quanto ao pessoal envolvido na operação, com um salário médio sem encargos de R\$ 3.000 e um total de 100 colaboradores, os custos operacionais anuais, incluindo encargos, são de R\$ 7.200.000,00.

Os custos variáveis, que incluem insumos, materiais diversos, imobilização de cinzas e impostos, somam R\$ 6.975.150,00. É vital que tais custos sejam monitorados de perto, uma vez que variações inesperadas podem impactar a rentabilidade do projeto.

Um custo significativo é o da energia, totalizando R\$ 12.960.000,00 por ano, considerando um consumo de potência da combustão de 3.000 kW, operando 24 horas por dia no valor de R\$ 0,50 por kWh. Este custo diário de R\$ 36.000,00 reforça a relevância da eficiência energética e da gestão adequada dos recursos.

Ao examinar a tabela abaixo, é possível identificar fontes de receitas e despesas associadas a um projeto de gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e conversão em energia através da combustão.

Tabela 55: Receitas, CAPEX e OPEX da Recuperação Energética através da Combustão

RECEITAS ANUAIS	R\$ 155.882.006
Não Disposição em Aterro	R\$ 21.078.750
Geração Energia Elétrica	R\$ 90.611.250
Simplificação de Logística	R\$ 37.640.625
Crédito de Carbono	R\$ 6.551.381
TRIAGEM	R\$ -
CAPEX (em R\$)	R\$ 630.000.000
CAPEX UTE RSU (R\$)	R\$ 600.000.000
CAPEX SOLAR (R\$)	R\$ 30.000.000
OPEX (em R\$/ano)	R\$ 56.739.375
Demanda Contratada	R\$ 9.792.000
Depreciação	R\$ 18.000.000
Custo Manutenção	R\$ 1.812.225
MO Operação	R\$ 7.200.000
Custos Variáveis	R\$ 6.975.150
Custo Energia	R\$ 12.960.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

As receitas anuais totalizam R\$ 155.882.006,00, das quais a Geração de Energia Elétrica representa a maior parcela com R\$ 90.611.250,00, seguida pela Simplificação de Logística e pela Não Disposição dos RSU em Aterro Sanitário, somando R\$ 37.640.625,00 e R\$ 21.078.750,00, respectivamente. Além disso, os Créditos de Carbono geram uma receita adicional de R\$ 6.551.381,00, ressaltando o compromisso ambiental do projeto.

Do lado dos gastos, o CAPEX, ou seja, os custos do investimento inicial, totalizam R\$ 630.000.000,00. Desse total, R\$ 600.000.000,00 estão

direcionados à UTE RSU, enquanto R\$ 30.000.000,00 são voltados para o segmento solar.

Em contrapartida, o OPEX anual é de R\$ 56.739.375,00, com destaque para a Depreciação dos Equipamentos e para o Custo da Energia, que representam, respectivamente, R\$ 18.000.000,00 e R\$ 12.960.000,00.

Observando a tabela apresentada a seguir, é possível extrair informações fundamentais que norteiam as decisões financeiras relacionadas a esse projeto.

Tabela 56: Parâmetros EVTE Recuperação Energética através da Combustão

Parâmetros EVTE	
Fluxo de Caixa (ano)	35
Taxa Mínima Atratividade (% a.a.) - SELIC	13,75%
Índice de Reajustes	
ENEL (% a.a.)	10,68
IPCA (% a.a.)	5,61
Indicadores de Resultado	
Payback	4 A 10 M
TIR (% a.a.; a.m.)	27,15% ; 2,02%
VPL (R\$)	10.450.001.154

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Inicialmente percebe-se que o Fluxo de Caixa projetado para o investimento é de 35 anos, um período significativamente longo que requer planejamento e análise aprofundada. A Taxa Mínima de Atratividade é vinculada à SELIC e está fixada em 13,75% ao ano, estabelecendo o retorno mínimo esperado para que o projeto seja considerado viável.

No que se refere aos “Índices de Reajustes”, o aumento anual previsto pela ENEL é de 10,68%, enquanto o IPCA, que é um índice geral de preços ao consumidor, possui uma taxa de 5,61%.

Essas taxas influenciam diretamente na projeção de receitas e despesas ao longo do tempo, impactando o valor presente líquido e a taxa interna de retorno.

Por fim, nos “Indicadores de Resultado”, o Payback é estimado em 4 anos e 10 meses, indicando o tempo necessário para recuperar integralmente o investimento inicial.

A TIR, ou Taxa Interna de Retorno, está fixada em 27,15% ao ano e 2,02% ao mês, sugerindo um retorno bem acima da SELIC estipulada.

Ademais, o Valor Presente Líquido (VPL) robusto de R\$ 10.450.001.154,00 reforça a atratividade e potencial rentabilidade do projeto.

Estes indicadores, particularmente o VPL e a TIR, sugerem um projeto potencialmente lucrativo e atraente, desde que as projeções e suposições se concretizem conforme o planejado.

A tabela a seguir apresentada oferece uma visão detalhada da projeção financeira para o projeto de Recuperação Energética através da Combustão de RSU, ao longo de 35 anos, focando no Fluxo de Caixa da EVTE (Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica).

Da análise da tabela apresentada, pode-se observar que, no início, o projeto apresenta um CAPEX significativo de R\$ 630.000.000,00 no ano 0, representando um grande investimento inicial.

No entanto, ao longo dos anos subsequentes, o CAPEX é nulo, enquanto as receitas crescem consistentemente a cada ano.

Tabela 57: Fluxo de Caixa Recuperação Energética através da Combustão

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 35 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	SALDO	Fluxo Acumulado
0	-630.000.000	0	0		-630.000.000
1	0	155.882.006	-56.739.375	99.142.631	-530.857.369
2	0	172.525.952	-59.921.657	112.604.295	-418.253.074
3	0	190.947.018	-63.282.421	127.664.597	-290.588.477
4	0	211.334.951	-66.831.676	144.503.275	-146.085.202
5	0	233.899.760	-70.579.995	163.319.765	17.234.563
6	0	258.873.875	-74.538.542	184.335.333	201.569.896
7	0	286.514.544	-78.719.108	207.795.436	409.365.332
8	0	317.106.483	-83.134.145	233.972.338	643.337.670

Tabela 57: Fluxo de Caixa Recuperação Energética através da Combustão (continuação)

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 35 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	SALDO	Fluxo Acumulado
9	0	350.964.807	-87.796.803	263.168.004	906.505.674
10	0	388.438.276	-92.720.971	295.717.305	1.202.222.979
11	0	429.912.890	-97.921.316	331.991.574	1.534.214.553
12	0	475.815.861	-103.413.327	372.402.534	1.906.617.087
13	0	526.620.018	-109.213.363	417.406.655	2.324.023.742
14	0	582.848.673	-115.338.700	467.509.973	2.791.533.715
15	0	645.081.015	-121.807.582	523.273.433	3.314.807.148
16	0	713.958.074	-128.639.278	585.318.796	3.900.125.944
17	0	790.189.324	-135.854.136	654.335.188	4.554.461.132
18	0	874.559.993	-143.473.646	731.086.347	5.285.547.479
19	0	967.939.148	-151.520.504	816.418.644	6.101.966.123
20	0	1.071.288.650	-160.018.678	911.269.972	7.013.236.095
21	0	1.185.673.060	-168.993.480	1.016.679.580	8.029.915.675
22	0	1.312.270.606	-178.471.642	1.133.798.964	9.163.714.639
23	0	1.452.385.317	-188.481.396	1.263.903.921	10.427.618.560
24	0	1.607.460.458	-199.052.557	1.408.407.901	11.836.026.461
25	0	1.779.093.395	-210.216.612	1.568.876.783	13.404.903.244
26	0	1.969.052.048	-222.006.814	1.747.045.234	15.151.948.478
27	0	2.179.293.105	-234.458.280	1.944.834.825	17.096.783.303
28	0	2.411.982.173	-247.608.099	2.164.374.074	19.261.157.377
29	0	2.669.516.087	-261.495.438	2.408.020.649	21.669.178.026

Tabela 57: Fluxo de Caixa Recuperação Energética através da Combustão (continuação)

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 35 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	SALDO	Fluxo Acumulado
30	0	2.954.547.600	-276.161.662	2.678.385.938	24.347.563.964
31	0	3.270.012.705	-291.650.456	2.978.362.249	27.325.926.213
32	0	3.619.160.879	-308.007.954	3.311.152.925	30.637.079.138
33	0	4.005.588.556	-325.282.878	3.680.305.678	34.317.384.816
34	0	4.433.276.170	-343.526.682	4.089.749.488	38.407.134.304
35	0	4.906.629.157	-362.793.708	4.543.835.449	42.950.969.753

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Já as despesas, apesar de também crescerem, mantêm-se a uma taxa inferior em relação às receitas, resultando em um aumento gradual do fluxo de caixa anual.

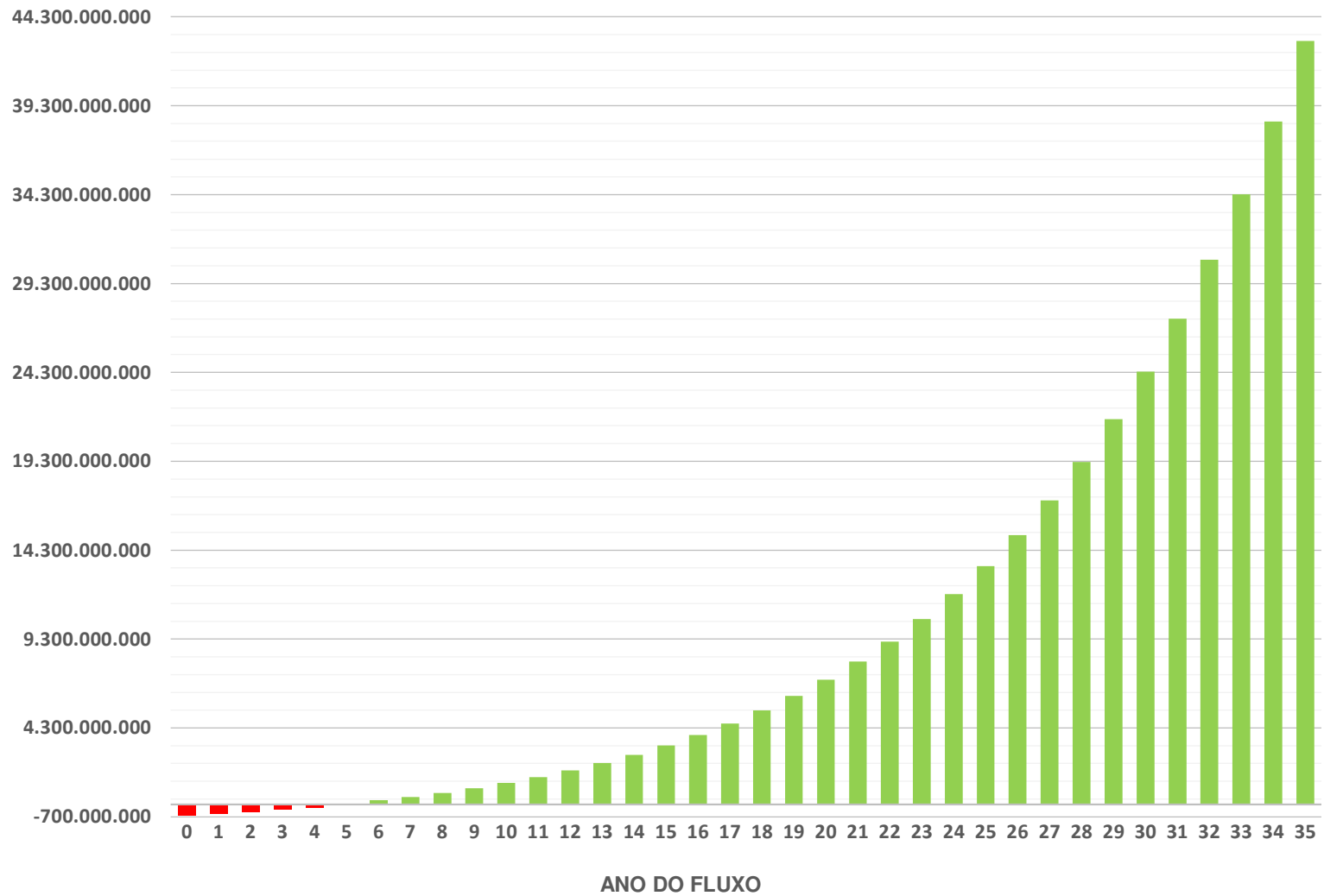
Nota-se que o 5º ano marca uma mudança significativa, quando o projeto transita de um cenário de prejuízo acumulado para um de lucro acumulado. A partir dessa etapa, a acumulação de valores demonstra uma tendência positiva, indicando a solidez financeira e a sustentabilidade do projeto no decorrer dos anos.

O crescimento constante das receitas, superando as despesas, resulta em uma acumulação de caixa positiva que aumenta exponencialmente nos anos finais. Esse crescimento sugere que o investimento inicial robusto tem potencial para gerar retornos substanciais ao longo do tempo.

Em conclusão, a tabela anterior retrata um cenário promissor para o projeto, onde, após um investimento inicial considerável, há uma expectativa de retorno significativa ao longo dos 35 anos de operação, conforme visto também na Figura 92.

Figura 92: Gráfico Fluxo de Caixa Recuperação Energética através da Combustão

FLUXO DE CAIXA - 35 ANOS - EVTE RSU
Metrópole Rio de Janeiro - RJ - Brasil



Fonte: ENGECONSULT, 2023.

8.6. EVTE GASEIFICAÇÃO (TERMODEGRADAÇÃO)

A análise do CAPEX no processo de termodegradação do RSU, através da tabela a seguir, revela insights valiosos sobre o comprometimento financeiro necessário para dar início a este projeto.

Inicialmente, tem-se o valor de R\$ 6.857.143,00 por tonelada por hora (t/h) de RSU para a Unidade de Tratamento de Energia (UTE). Considerando uma capacidade de 11,667 t/h, isso resulta em um CAPEX de R\$ 80.000.000,00 para a UTE RSU.

Tabela 58: CAPEX Termodegradação

CAPEX TERMODEGRADAÇÃO	
R\$ UTE por t/h de RSU	R\$ 6.857.143
Capacidade (t/h)	11,667
CAPEX UTE RSU (R\$)	80.000.000
R\$ SOLAR por kWp	R\$ 6.000
Potência SOLAR (kWp)	5000
CAPEX SOLAR (R\$)	30.000.000
TOTAL CAPEX (em R\$)	R\$ 110.000.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Paralelamente, o investimento em energia solar é detalhado com um custo de R\$ 6.000,00 por quilowatt-pico (kWp).

Com uma potência projetada de 5.000 kWp, pode-se prever que o CAPEX seja da ordem de R\$ 30.000.000,00 para a instalação solar.

Em suma, a combinação desses investimentos culmina em um CAPEX total de R\$ 110.000.000,00 para o projeto de termodegradação do RSU.

Este valor reflete o compromisso financeiro inicial necessário para estabelecer tanto a infraestrutura de processamento do RSU quanto a capacidade de geração de energia solar.

A tabela, apresentada a seguir, traz uma análise detalhada das receitas anuais relacionadas ao processo de termodegradação do RSU, que envolve a transformação dos Resíduos Sólidos Urbanos em energia e outros subprodutos valiosos.

A primeira seção, “Não Disposição em Aterro”, fornece uma visão sobre o valor poupado ao evitar o descarte dos resíduos em aterros sanitários. Com um custo de disposição estimado em R\$ 72,00 por tonelada, isso traduz-se numa receita anual de R\$ 7.358.400,00, derivada da não disposição.

A segunda seção, “Geração de Energia Elétrica”, oferece uma visão multifacetada sobre a geração de energia. Com 5.600 kW provenientes da gaseificação e 5.000 kWp de energia solar, estes processos geram R\$ 67.200,00 e R\$ 8.250,00 por dia, respectivamente, totalizando uma receita anual significativa de R\$ 27.539.250,00.

A “Simplificação de Logística” é outra fonte valiosa de receitas, proporcionando uma economia de R\$ 75,00 por tonelada de RSU, o que se traduz em uma receita anual de R\$ 7.665.000,00.

A seção “Crédito de Carbono” revela o benefício ambiental do projeto, gerando 4.281 toneladas de créditos de carbono anualmente, que ao preço atual do crédito de carbono, resulta em uma receita anual de R\$ 1.991.144,00.

Tabela 59: Receitas Termodegradação

RECEITAS ANUAIS - UTE	R\$ 44.553.794
Não Disposição em Aterro	
Custo da Disposição em Aterro (R\$/t)	72
Receita Não Disposição (R\$/dia)	R\$ 20.160
Receita Não Disposição (R\$/ano)	R\$ 7.358.400
Geração Energia Elétrica	
Taxa de Geração Combustão (kW/t RSU)	0,00
Capacidade (t RSU/d)	280
Potência Combustão (kW)	-
Nº Horas Geração RSU (h)	24
Energia Gerada Combustão (kWh/dia)	-
Valor Comercial do kWh (R\$/kWh)	0,50
Taxa Conversão kWh/dia EE por t/dia RSU	0
Receita Energia Combustão (R\$/dia)	R\$ -
Potência SOLAR (kWp)	5.000
Nº Horas Geração SOLAR (h)	3,3
Energia Gerada SOLAR (kWh/dia)	16.500
Receita Energia Solar (R\$/dia)	R\$ 8.250
Taxa de Geração Gaseificação (kW/t RSU)	20,00
Capacidade (t RSU/d)	280
Potência Gaseificação (kW)	5.600
Energia Gerada CDR (kWh/dia)	134.400
Receita EE Gaseificação (R\$/dia)	R\$ 67.200
Receita Anual de Energia Recuperada	R\$ 27.539.250

Tabela 59: Receitas Termodegradação (continuação)

RECEITAS ANUAIS - UTE	R\$ 44.553.794
Simplificação de Logística	
Economia Simplificação (R\$/t)	75
Receita Simplificação da Logística (R\$/dia)	R\$ 21.000
Receita Anual Decorrente da Simpl. Logística	R\$ 7.665.000
Crédito de Carbono	
Índice de Conversão EPE kg CO ₂ /MWh	78,8
Energia Gerada (kWh/d)	150.900
Energia Gerada (MWh/ano)	54.324
Créditos Carbono Gerados (t CO ₂ /ano)	4.281
Cotação Crédito Carbono Bolsa UK (Euro/t CO ₂)	€b88,13
Cotação Câmbio (R\$/Euro)	R\$ 5,2779
Receita Anual Créditos de Carbono	R\$ 1.991.144
TRIAGEM	
Plástico (R\$/ano)	-
Papel (R\$/ano)	-
Metal (R\$/ano)	-
Vidro (t/ano)	-
CDR (R\$/ano)	-
Receita Anual TRIAGEM	-

Fonte: ENGECONSULT, 2023.

Em resumo, o processo de termodegradação do RSU não apenas ajuda no gerenciamento sustentável dos resíduos urbanos, mas também se traduz em várias fontes de receitas, totalizando R\$ 44.553.794,00 anualmente. Esse valor sublinha a viabilidade econômica do projeto, enquanto simultaneamente destaca seu valor ambiental e social.

A tabela a seguir fornece um panorama abrangente dos custos operacionais (OPEX) associados ao processo de termodegradação do RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) em uma base anual.

Tabela 60: OPEX Termodegradação

OPEX (em R\$/ano)	R\$ 15.120.948
Demanda Contratada	R\$ 2.419.200,00
Potência Contratada	6.300
Tx Mensal Demanda (R\$/KW)	R\$ 32,00
Depreciação	R\$ 550.000
Tx Depreciação Anual (% do CAPEX)	0,50
Custo Manutenção	R\$ 550.785
MO Operação (anual)	R\$ 7.200.000
Operação Mensal COM Encargos	R\$ 600.000
Operação Mensal SEM Encargos	R\$ 300.000
Salário Médio SEM Encargos	R\$ 3.000
Nº Colaboradores	100
Custos Variáveis	R\$ 1.376.963
Insumos & Materiais Diversos	R\$ 550.785
Imobilização de Cinzas	R\$ -
Impostos	R\$ 826.178
Custo Energia	R\$ 3.024.000
Consumo Potência Combustão (kW)	-
Consumo Potência Gaseificação (kW)	700
Consumo Potência Triagem (kW)	-
Nº horas de Operação	24
Custo da Energia (R\$/kWh)	0,50

Tabela 60: OPEX Termodegradação (continuação)

OPEX (em R\$/ano)	R\$ 15.120.948
Custo Total da Energia por dia	R\$ 8.400
Custo Total da Energia por mês	R\$ 252.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Começando pela “Demanda Contratada”, há um compromisso financeiro significativo de R\$ 2.419.200 por ano para garantir uma potência de 6.300 kW, resultando em uma taxa mensal de demanda de R\$ 32 por kW. Este custo destaca a necessidade da infraestrutura energética para o processo.

A seção “Depreciação” revela que o equipamento e a infraestrutura associados ao processo de termodegradação sofrem uma taxa de depreciação anual de 0,50% do CAPEX, o que se traduz em R\$ 550.000,00 por ano. Isso é complementado pelo “Custo de Manutenção”, que é avaliado em R\$ 550.785,00 anualmente.

No tocante à mão-de-obra (“MO Operação”), a operação exige um total de 100 colaboradores, cada um recebendo um salário médio (sem encargos) de R\$ 3.000,00 por mês. Isso resulta em um gasto anual de R\$ 7.200.000,00 só em salários.

Os “Custos Variáveis” constituem uma parcela variada de despesas operacionais. Notavelmente, os insumos e materiais diversos representam uma parcela anual de R\$ 550.785,00.

Os impostos associados ao processo somam R\$ 826.178,00 anualmente, enquanto a seção “Imobilização de Cinzas” não apresenta nenhum custo, sugerindo que as cinzas talvez sejam tratadas ou descartadas de maneira que não gere despesas adicionais.

Por fim, o “Custo da Energia” representa uma fatia substancial do OPEX. Mesmo que a combustão e a triagem não consumam energia, a gaseificação demanda 700 kW. Operando 24 horas por dia, ao custo de

R\$ 0,50 por kWh, o custo diário de energia é de R\$ 8.400,00, levando a um gasto mensal de R\$ 252.000,00 e um total anual de R\$ 3.024.000,00.

Em conclusão, o OPEX total para o processo de termodegradação do RSU é de R\$ 15.120.948,00 anualmente.

Essa análise detalhada sublinha os vários componentes de custo envolvidos, desde a demanda energética até mão-de-obra e custos variáveis, enfatizando a complexidade e a multidimensionalidade do processo.

A tabela a seguir apresenta uma visão financeira abrangente sobre o processo de termodegradação do RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), abordando tanto as receitas quanto os custos associados.

Tabela 61: Receitas, CAPEX e OPEX Termodegradação

Receitas Anuais	R\$ 44.553.794
Não Disposição em Aterro	R\$ 7.358.400
Geração Energia Elétrica	R\$ 27.539.250
Simplificação de Logística	R\$ 7.665.000
Crédito de Carbono	R\$ 1.991.144
TRIAGEM	R\$ -
CAPEX (em R\$)	R\$ 110.000.000
CAPEX UTE RSU (R\$)	R\$ 80.000.000
CAPEX SOLAR (R\$)	R\$ 30.000.000
OPEX (em R\$/ano)	R\$ 15.120.948
Demanda Contratada	R\$ 2.419.200
Depreciação	R\$ 550.000
Custo Manutenção	R\$ 550.785
MO Operação	R\$ 7.200.000
Custos Variáveis	R\$ 1.376.963
Custo Energia	R\$ 3.024.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Iniciando pelas receitas anuais, que totalizam R\$ 44.553.794,00, podemos identificar diferentes fontes que contribuem para essa receita. A “Não Disposição em Aterro” gera uma economia ou receita de R\$ 7.358.400,00, destacando os benefícios financeiros de evitar o descarte em aterros.

Já a “Geração de Energia Elétrica” surge como a principal fonte de receita, somando R\$ 27.539.250,00, o que ressalta a eficiência energética do processo.

Outras fontes notáveis incluem a “Simplificação de Logística” e o “Crédito de Carbono”, totalizando R\$ 7.665.000,00 e R\$ 1.991.144,00, respectivamente.

Quanto ao CAPEX, que se refere ao investimento inicial, o valor total é de R\$ 110.000.000,00. Desse montante, R\$ 80.000.000,00 é destinado à UTE RSU, enquanto R\$ 30.000.000,00 é alocado para a energia solar. Esse desembolso inicial demonstra o compromisso substancial com a infraestrutura necessária.

Ao analisar os custos operacionais anuais (OPEX) de R\$ 15.120.948,00, é possível perceber componentes variados. A “Demanda Contratada” responde por R\$ 2.419.200,00, indicando os custos associados à garantia de fornecimento energético.

Seguem-se os custos de “Depreciação”, “Manutenção”, e “Mão de Obra (MO Operação)”, que indicam a desvalorização do equipamento, os gastos de manutenção e os custos de salários, respectivamente.

Já os “Custos Variáveis” e o “Custo da Energia” totalizam R\$ 1.376.963,00 e R\$ 3.024.000,00, respectivamente, ressaltando o gasto contínuo para manter as operações funcionando de forma otimizada.

Pode-se concluir que, apesar de existir um investimento inicial robusto, as receitas geradas, em especial pela geração de energia, justificam os desembolsos. Esta análise reforça a importância de um planejamento financeiro meticuloso para assegurar a viabilidade e a sustentabilidade deste projeto a longo prazo.

A tabela em questão traz informações cruciais para a análise de viabilidade econômica e técnica (EVTE) do processo de termodegradação do RSU (Resíduos Sólidos Urbanos).

O procedimento de termodegradação dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) é detalhadamente avaliado na tabela abaixo, que fornece dados essenciais para uma análise econômica e técnica (EVTE).

Tabela 62: Parâmetros EVTE Termodegradação

Parâmetros EVTE	
Fluxo de Caixa (ano)	35
Tx. Mínima Atrativ. (% a.a.) - SELIC	13,75%

Índice de Reajustes	
ENEL (% a.a.)	10,68
IPCA (% a.a.)	5,61

Indicadores de Resultado	
Payback	3 A 2 M
TIR (% a.a; a.m.)	39,20% ; 2,79%
VPL (R\$)	3.574.152.990

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Iniciando pela análise dos elementos-chave do EVTE, destaca-se o “Fluxo de Caixa”, projetado para um período de 35 anos, indicando uma perspectiva de longa duração para o empreendimento.

A “Taxa Mínima de Atratividade”, ancorada na taxa SELIC, está fixada em 13,75% anualmente. Esse percentual simboliza o rendimento mínimo antecipado que tornaria o projeto vantajoso frente a outros investimentos com riscos comparáveis.

No segmento dos “Índices de Reajustes”, dois fatores importantes são destacados. A ENEL, empresa de energia, tem uma taxa de reajuste de 10,68% ao ano, enquanto o IPCA, que representa a inflação, tem uma taxa de 5,61% ao ano. Ambas as taxas são fundamentais para entender os reajustes de preços e custos associados ao projeto ao longo de sua vida útil.

Ao examinar os “Indicadores de Resultado”, é possível perceber que o projeto tem um “Payback” de 3 anos e 2 meses, o que indica que o investimento inicial será recuperado aproximadamente neste período.

A TIR (Taxa Interna de Retorno) é um robusto 39,20% ao ano, ou 2,79% ao mês, demonstrando uma rentabilidade significativamente alta para o projeto.

Por último, o VPL (Valor Presente Líquido) de R\$ 3.574.152.990,00 sugere que, quando descontados os fluxos de caixa futuros pela taxa mínima de atratividade, o projeto ainda trará um valor significativo em termos presentes.

Portanto a tabela acima revela que o projeto de termodegradação do RSU apresenta um perfil financeiro sólido e atrativo. Com um rápido retorno do investimento (payback) e uma alta rentabilidade (TIR), juntamente com um VPL expressivo, o processo não só promete ser economicamente viável, mas também lucrativo a longo prazo.

A consideração das taxas de reajuste adiciona uma camada adicional de realismo à análise, garantindo que os futuros ajustes de preços e custos sejam levados em consideração.

A tabela a seguir apresentada nos fornece uma visão detalhada do fluxo de caixa esperado ao longo de 35 anos, o que permite compreender as projeções financeiras associadas a esse empreendimento.

Tabela 63: Fluxo de Caixa Termodegradação

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 35 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	D Ano	Fluxo Acumulado
0	-110.000.000	0	0	0	-110.000.000
1	0	44.553.794	-15.120.948	29.432.847	-80.567.154
2	0	49.310.924	-15.969.020	33.341.904	-47.225.250
3	0	54.575.985	-16.864.657	37.711.328	-9.513.922
4	0	60.403.211	-17.810.527	42.592.684	33.078.763
5	0	66.852.626	-18.809.447	48.043.179	81.121.942
6	0	73.990.663	-19.864.393	54.126.270	135.248.212
7	0	81.890.847	-20.978.506	60.912.341	196.160.553
8	0	90.634.556	-22.155.105	68.479.451	264.640.004
9	0	100.311.854	-23.397.695	76.914.159	341.554.163
10	0	111.022.424	-24.709.977	86.312.447	427.866.610
11	0	122.876.590	-26.095.859	96.780.731	524.647.341
12	0	135.996.458	-27.559.470	108.436.988	633.084.329
13	0	150.517.170	-29.105.169	121.412.001	754.496.330
14	0	166.588.298	-30.737.560	135.850.738	890.347.068
15	0	184.375.384	-32.461.505	151.913.879	1.042.260.947
16	0	204.061.646	-34.282.139	169.779.507	1.212.040.454
17	0	225.849.864	-36.204.885	189.644.979	1.401.685.433
18	0	249.964.469	-38.235.471	211.728.998	1.613.414.431
19	0	276.653.857	-40.379.944	236.273.913	1.849.688.344
20	0	306.192.943	-42.644.692	263.548.251	2.113.236.595
21	0	338.885.998	-45.036.460	293.849.538	2.407.086.133
22	0	375.069.780	-47.562.373	327.507.407	2.734.593.540

Tabela 63: Fluxo de Caixa Termodegradação (continuação)

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 35 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	D Ano	Fluxo Acumulado
23	0	415.117.003	-50.229.954	364.887.049	3.099.480.589
24	0	459.440.177	-53.047.149	406.393.028	3.505.873.617
25	0	508.495.857	-56.022.349	452.473.508	3.958.347.125
26	0	562.789.346	-59.164.416	503.624.930	4.461.972.055
27	0	622.879.899	-62.482.709	560.397.190	5.022.369.245
28	0	689.386.484	-65.987.112	623.399.372	5.645.768.617
29	0	762.994.159	-69.688.063	693.306.096	6.339.074.713
30	0	844.461.126	-73.596.585	770.864.541	7.109.939.254
31	0	934.626.543	-77.724.320	856.902.223	7.966.841.477
32	0	1.034.419.167	-82.083.563	952.335.604	8.919.177.081
33	0	1.144.866.922	-86.687.299	1.058.179.623	9.977.356.704
34	0	1.267.107.485	-91.549.240	1.175.558.245	11.152.914.949
35	0	1.402.400.006	-96.683.867	1.305.716.139	12.458.631.088

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Inicialmente, no ano zero que marca o lançamento do projeto, será necessário um investimento substancial de R\$ 110.000.000,00. Este investimento inicial resulta em um fluxo de caixa acumulado negativo.

No entanto, conforme avançam os anos subsequentes, observa-se um aumento constante nas receitas, superando as despesas.

A partir do terceiro ano, o projeto começa a apresentar um fluxo de caixa acumulado positivo, sinalizando um ponto de equilíbrio e, conseqüentemente, o início dos retornos do investimento inicial.

Este crescimento contínuo em receitas, que ultrapassam as despesas a cada ano, indica um aumento progressivo na eficiência operacional e lucratividade do projeto.

À medida que os anos avançam, a diferença entre receitas e despesas (D Ano) aumenta de forma significativa, refletindo a escalabilidade e potencial de retorno do processo de termodegradação.

Ao final do ano 35, o fluxo acumulado atinge o valor de R\$ 12.458.631.088,00, ressaltando o sucesso financeiro a longo prazo do projeto.

Em suma, a tabela de fluxo de caixa do EVTE nos fornece uma visão otimista do processo de termodegradação do RSU.

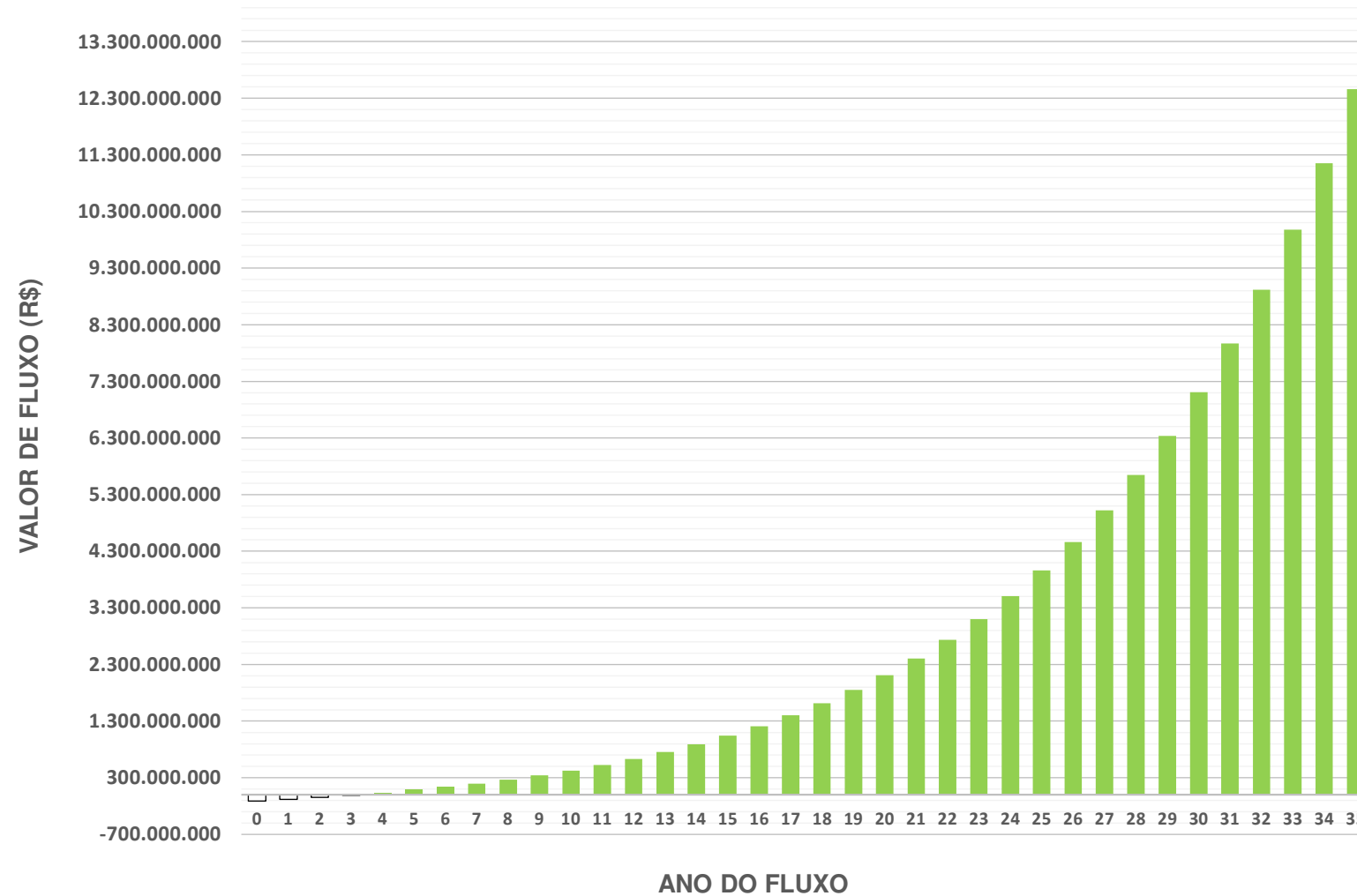
Apesar de um investimento inicial significativo, o projeto se mostra altamente rentável no longo prazo, com receitas crescendo consistentemente e superando as despesas a cada ano.

Esta análise sublinha a importância de se considerar a perspectiva de longo prazo ao avaliar a viabilidade de tais empreendimentos.

Por outro lado, o potencial da termodegradação do RSU como uma solução eficaz e lucrativa é evidenciado na figura a seguir.

Figura 93: Gráfico Fluxo de Caixa Termodegradação

FLUXO DE CAIXA - 35 ANOS - EVTE RSU Metrópole Rio de Janeiro - RJ - Brasil



Fonte: Simulador EVTE – ENGECONSULT, 2023.

8.7. EVTE BIOGÁS

O modelo de avaliação econômico-financeira baseou-se em um fluxo de caixa que contempla o investimento inicial, lucro líquido anual durante um período de amortização de quinze anos e, com base nestes valores, é possível realizar o cálculo do tempo de retorno do investimento (payback), valor presente líquido (VPL) e da taxa interna de retorno (TIR).

Estes parâmetros determinam o comportamento do fluxo de caixa e dos resultados do projeto durante sua vida útil, bem como os custos envolvidos (investimento, operacionais fixos e variáveis), taxa de juros de financiamento, percentual do investimento financiado, prazos de amortização (SALOMON, 2007).

Será apresentado um estudo com base no EVTE potencial da Planta de Biogás do Ecoparque São Gonçalo do grupo Orizon – Destinação de Resíduos, a partir dos dados operacionais e econômicos obtidos diretamente na Empresa.

O Ecoparque São Gonçalo é composto por um conjunto de seis motores com os seguintes dados operacionais:

- 6 Conjuntos motogeradores de 1.400 kW cada (potência nominal) e total de 8.400 kW;
- Motor convertido para ciclo Otto;
- Gera energia elétrica com biogás de teor de 51% em metano;
- Disponibilidade: 8760 h.

• Custos de Investimento

O custo do investimento inicial contempla todos os custos associados aos equipamentos que compõe o sistema de geração elétrica, bem como os serviços de instalação e montagem, transporte, frete e seguro.

O CAPEX adotado nesse EVTE está estimado e atualizado em US \$ 1.71,56/kW instalado ou R\$ 7.166,50/kW (NOV 2023).

• Custos de Operação

Para a determinação do custo de operação é necessário calcular os custos com mão de obra, com o uso de três operadores.

O custo com combustível faz parte do processo, o metano é gerado internamente ao aterro sanitário e, algo em torno de 5% é destinado para o acionamento dos motores dos geradores de energia elétrica.

• Custos de Manutenção

O custo de manutenção, engloba todos os gastos com peças, materiais e ferramentas necessárias para sua execução.

A determinação dos custos com manutenção foi realizada a partir do plano de manutenções definido pelo fabricante do equipamento. Este plano de manutenção considera apenas as manutenções preventivas e preditivas, enquanto os custos com manutenção corretiva foram estimados em 30% do custo com estas manutenções, visto que se trata de uma tecnologia adaptada para operação com biogás. O plano de manutenção completo elaborado pelo fabricante pode ser visto no Anexo 3.

Foi contabilizado quantas intervenções de cada tipo seriam necessárias ao longo de 10 anos de projeto. Multiplicando-se o custo de cada intervenção pela quantidade realizada no período mencionado mais o custo com a manutenção corretiva, chega-se ao montante de R\$ 34.510,60 anual. Dividindo o custo de manutenção pela geração de energia elétrica no período, obtém-se o valor de R\$18,03 /MWh (referente a 2007).

Atualizando os valores, tem-se:

Tabela 64: Atualização de Valores de Manutenção

Valores de Manutenção corrigidos	
Custo de Manutenção (R\$/MWh – 2007)	R\$ 18,03
1 US\$ (jan 2007)	R\$ 2,13
Custo de Manutenção (US\$/MWh – 2007)	US\$ 8,46
1 US\$ (nov 2023)	R\$ 4,87
Custo de Manutenção (R\$/MWh – 2023)	R\$ 41,22

Fonte: ENGECONSULT, 2023

• EVTE – Biogás Ecoparque de São Gonçalo

Para a avaliação econômica do sistema foram adotadas as seguintes premissas:

- Taxa mínima de atratividade (TMA): 12,25 % a.a; (taxa SELIC nov/23);
- Tempo de projeto de 15 anos (tempo de produção de Gás economicamente recuperável);
- Depreciação linear ao longo do projeto (7,5 % a.a);
- CAPEX à vista;
- 6 Conjuntos motogeradores de 1.400 kW cada (potência nominal) e total de 8.400 kW;
- Valor de venda de energia de 144,20 R\$/MWh, preço negociado para projetos de biomassa no leilão de fontes alternativas de energia elétrica A-3/2010 (EPE,2010) e reajustado para 2023;
- Atualização de valores:

Tabela 65: Atualização de Valores de Manutenção

Valores de Manutenção corrigidos	
Valor de venda de energia elétrica (R\$/MWh – 2010)	R\$ 144,20
1 US\$ (jan 2010)	R\$ 1,87
Valor de venda de energia elétrica (US\$/MWh – 2010)	\$ 77,11
1 US\$ (nov 2023)	R\$ 4,87
Valor de venda de energia elétrica (R\$/MWh – 2023)	R\$ 375,54

Fonte: ENGECONSULT, 2023

- Disponibilidade: 8760 h (24 h, 365 dias por ano);
- Energia elétrica gerada: 73.584 MWh/ano (6 geradores de potência nominal individual de 1.400 kW e, disponibilidade de geração de 8760 h);
- Operação com 3 colaboradores;
- Custo de manutenção: taxa de manutenção - 41,22 R\$/MWh gerado (NOV/2023), ou Custo Manutenção (R\$/ano) Energia Gerada (MWh/ano) x taxa de manutenção atualizada (R\$/MWh – NOV/2023);
- Não foi contabilizada a receita proveniente de créditos de carbono;
- A correção da inflação durante o período 15 anos, usou para as receitas a média decenal da concessionária Light.

• Resultados e Conclusões

A Tabela 66 oferece um panorama sobre o investimento necessário para implementar uma planta de biogás.

Tabela 66: CAPEX Biogás

CAPEX BIOGÁS	
R\$ UTE por t/h de RSU	R\$ 601.986
Capacidade (t/h)	11,667
CAPEX UTE RSU (R\$)	60.198.613
R\$ SOLAR por kWp	R\$ 6.000
Potência SOLAR (kWp)	0
CAPEX SOLAR (R\$)	0
TOTAL CAPEX (em R\$)	R\$ 60.198.613

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Já a Tabela 67 traz uma análise detalhada das receitas anuais relacionadas ao funcionamento da planta de biogás, que envolve o uso do gás metano para geração de energia.

Tabela 67: Receitas Biogás

RECEITAS ANUAIS - UTE	R\$ 27.633.507
Dados do Aterro Sanitário	São Gonçalo
Massa Aterro Sanitário (t/dia)	2400
Número de Geradores	6
Potência Nominal (kW)	1.400
Vazão Gás (m³/h)	2.034
Pot N/Vazão Gás (kW/m³/h)	4,13
Energia Gerada (MWh/ano)	73.584
Valor EE venda (R\$/MWh - 2023)	R\$375,54
Receitas (em R\$/ano)	R\$ 27.633.507

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Por sua vez, a Tabela 68 descreve os custos operacionais associados à planta de biogás, oferecendo uma visão panorâmica de cada um dos gastos e alocações de recursos.

Tabela 68: OPEX Biogás

OPEX (em R\$/ano)	R\$ 7.569.888
Demanda Contratada	R\$ -
Potência Contratada	5.500
Taxa Mensal Demanda (R\$/KW)	R\$ 32,00
Depreciação	R\$ 4.514.896
Taxa Depreciação Anual (% do CAPEX)	7,50
Custo Manutenção (anual)	R\$ 3.033.392
MO Operação (anual)	R\$ 216.000
Operação Mensal COM Encargos	R\$ 18.000
Operação Mensal SEM Encargos	R\$ 9.000
Salário Médio SEM Encargos	R\$ 3.000
Nº Colaboradores	3
Custos Variáveis	R\$ -
Insumos & Materiais Diversos	R\$ -
Imobilização de Cinzas	R\$ -
Impostos	R\$ -

Tabela 68: **OPEX** Biogás (continuação)

OPEX (em R\$/ano)	R\$ 7.569.888
Custo Energia	R\$ -
Consumo Potência Combustão (kW)	-
Consumo Potência Gaseificação (kW)	-
Consumo Potência Triagem (kW)	-
Nº horas de Operação	24
Custo da Energia (R\$/kWh)	0,50
Custo Total da Energia por dia	R\$ -
Custo Total da Energia por mês	R\$ -

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Tabela 69: **Receitas, CAPEX e OPEX** Biogás

Receitas Anuais	R\$ 60.198.613
Não Disposição em Aterro	R\$ 7.358.400
Geração Energia Elétrica	R\$ 27.539.250
Simplificação de Logística	R\$ 7.665.000
Crédito de Carbono	R\$ 1.991.144
TRIAGEM	R\$ -
CAPEX (em R\$)	R\$ 27.633.507
CAPEX UTE RSU (R\$)	R\$ 80.000.000
CAPEX SOLAR (R\$)	R\$ 30.000.000

OPEX (em R\$/ano)	R\$ 7.764.288
Demanda Contratada	R\$ 2.419.200
Depreciação	R\$ 550.000
Custo Manutenção	R\$ 550.785
MO Operação	R\$ 216.000
Custos Variáveis	R\$ 1.376.963
Custo Energia	R\$ 3.024.000

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Tabela 70: **Parâmetros EVTE** Biogás

Parâmetros EVTE	
Fluxo de Caixa (ano)	15
Tx. Mínima Atrativ. (% a.a.) - SELIC	12,25%

Índice de Reajustes	
ENEL (% a.a.)	8,85
IPCA (% a.a.)	5,61

Indicadores de Resultado	
Payback	2 A 9 M
TIR (% a.a; a.m.)	41,00% ; 2,90%
VPL (R\$)	4.087.358.003

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Nos “Indicadores de Resultado”, o Payback é estimado em 2 anos e 9 meses, indicando o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. A TIR, ou Taxa Interna de Retorno, está fixada em 41,00% ao ano e 2,90% ao mês, sugerindo um retorno bem acima da SELIC estipulada.

Tabela 71: Fluxo de Caixa Biogás

FLUXO DE CAIXA - EVTE - 15 ANOS					
ANO	CAPEX	RECEITAS (R\$)	DESPESAS	D Ano	Fluxo Acumulado
0	-60.198.613	-	-	-	-60.198.613
1	0	27.633.507	-7.764.288	19.869.219	-40.329.393
2	0	30.077.883	-8.199.755	21.878.128	-18.451.265
3	0	32.738.481	-8.659.646	24.078.835	5.627.570
4	0	35.634.427	-9.145.330	26.489.097	32.116.667
5	0	38.786.540	-9.658.254	29.128.286	61.244.953
6	0	42.217.479	-10.199.946	32.017.533	93.262.486
7	0	45.951.908	-10.772.019	35.179.889	128.442.375
8	0	50.016.674	-11.376.178	38.640.496	167.082.871
9	0	54.440.997	-12.014.221	42.426.776	209.509.647
10	0	59.256.682	-12.688.050	46.568.632	256.078.279
11	0	64.498.348	-13.399.671	51.098.677	307.176.956
12	0	70.203.675	-14.151.204	56.052.471	363.229.427
13	0	76.413.678	-14.944.887	61.468.791	424.698.218
14	0	83.172.999	-15.783.085	67.389.914	492.088.132
15	0	90.530.229	-16.668.294	73.861.935	565.950.067

Fonte: ENGECONSULT, 2023

O investimento inicial será de R\$ 60.198.613,00 no ano zero, resultando em um fluxo de caixa acumulado negativo. Porém, conforme avançam os anos, observa-se um aumento constante nas receitas, superando as despesas e a partir do terceiro ano, o projeto apresenta um fluxo de caixa acumulado positivo, sinalizando um ponto de equilíbrio e o início do retorno do investimento inicial.

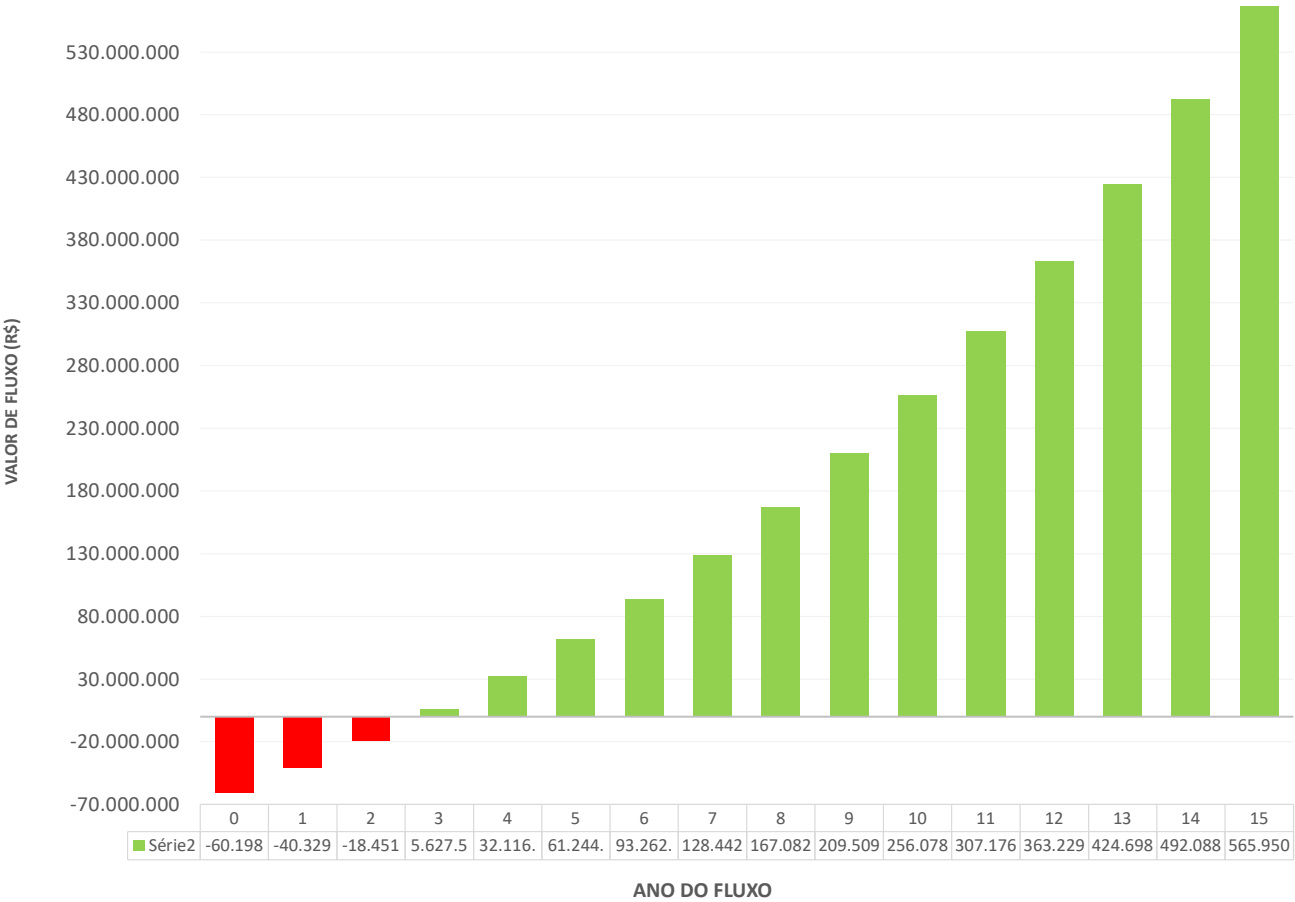
Este crescimento contínuo em receitas indica um aumento progressivo na eficiência operacional e lucratividade do projeto.

À medida que os anos avançam, a diferença entre receitas e despesas (D Ano) aumenta de forma significativa, refletindo a escalabilidade e potencial de retorno do processo de termodegradação. Ao final do ano 15,

o fluxo acumulado atinge o valor de R\$ 565.950.067,00, ressaltando o sucesso financeiro a longo prazo do projeto.

Em suma, o fluxo de caixa do EVTE nos fornece uma visão otimista da Planta de Biogás. Apesar de um investimento inicial significativo, o projeto se mostra rentável no longo prazo, com receitas crescendo consistentemente e superando as despesas.

Figura 94: Gráfico Fluxo de Caixa Biogás
FLUXO DE CAIXA - 15 ANOS - EVTE BIOGÁS
Metrópole Rio de Janeiro - RJ - Brasil



Fonte: Simulador EVTE – ENGECONSULT, 2023

8.8. CONCLUSÕES DO EVTE'S DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE RSU

Na Tabela 72, estão resumidos os principais parâmetros de análise comparativa dos processos propostos por esse PMetGIRS para o tratamento de RSU na RMRJ.

O processo de biogás não será considerado na análise, pois está vinculado ao uso dos aterros sanitários.

Indicadores de Aprovação do EVTE:

- Fluxo de Caixa: 35 anos;
- Taxa Mínima de Atratividade (TMA): Taxa SELIC (junho 2023) => 13,75%;

- Tempo de Retorno de Investimento (*Payback*): desejável menor do que 10 anos;
- Taxa de Interna de Retorno (TIR): $TIR > TMA$;
- Valor Presente Líquido (VPL): $VPL > 0$.

Os três processos foram considerados como viáveis, pois atenderam a todos os indicadores desse EVTE.

Por fim, a Tabela 73 apresenta um quadro resumo de todos os investimentos preliminares necessários para implementar o conjunto de unidades de tratamento de RSU para RMRJ.

Tabela 72: Resumo EVTE

Fontes de Receitas a Partir do RSU - Avaliações de Processos						
EVTE - RSU 35 anos - TMA: 13,75%	Triagem		Gaseificação		Combustão	
	Valor	% Participação	Valor	% Participação	Valor	% Participação
Receitas (em R\$/ano)	64.819.877		44.553.794		155.882.006	
Não Disposição em Aterro	0	0	7.358.400	16,52	21.078.750	13,52
Geração Energia Elétrica	3.011.250	4,65	27.539.250	61,81	90.611.250	58,13
Simplificação de Logística	0	0	7.665.000	17,20	37.640.625	24,15
Crédito de Carbono	217.719	0,34	1.991.144	4,47	6.551.381	4,20
TRIAGEM	61.590.908	95,02	0	0	0	0
OPEX (em R\$/ano)	14.014.025		15.120.948		56.739.375	
Demanda Contratada	2.112.000	15,07	2.419.200	16,00	9.792.000	17,26
Depreciação	2.002.000	14,27	550.000	3,64	18.000.000	31,72
Custo Manutenção	301.125	2,15	550.785	3,64	1.812.225	3,19

Tabela 72: Resumo EVTE (continuação)

Fontes de Receitas a Partir do RSU - Avaliações de Processos						
EVTE - RSU 35 anos - TMA: 13,75%	Triagem		Gaseificação		Combustão	
	Valor	% Participação	Valor	% Participação	Valor	% Participação
MO Operação	7.200.000	51,38	7.200.000	47,62	7.200.000	12,69
Custos Variáveis	240.900	1,72	1.376.963	9,11	6.975.150	12,29
Custo Energia	2.160.000	15,41	3.024.000	20,00	12.960.000	22,84
Capacidade (t/dia)	685		280		825	
CAPEX (R\$) - Usina + FV	70.000.000		110.000.000		630.000.000	
Payback (Anos Meses) - Referência: < 10 anos	1 A 4 M		3 A 2 M		4 A 10 M	
TIR (% a.a.) - Referência: TIR > TMA	84,54%		39,20%		27,15%	
VPL (R\$) - Referência: VPL > 0	6.451.021.567		3.574.152.990		10.450.001.154	

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Tabela 73: Resumo de Investimentos

Município	RSU (t/d)	CRD (t/d)	Recicláveis (t/d)	Nº Usina Combustão	Nº Usina Termo Deg	Nº Usina Triagem
Rio de Janeiro	8.180	5.013	3.166	6	1	12

CAPEX Total (R\$)	4.730.000.000
Receitas RSU (R\$/ano)	1.757.684.354

Tabela 73: Resumo de Investimentos (continuação)

RMRJ Sem o Rio	RSU (t/d)	CRD (t/d)	Recicláveis (t/d)	Nº Usina Combustão	Nº Usina Termo Deg	Nº Usina Triagem
RMRJ Sem Rio	8.746	5.361	3.386	4	9	13

CAPEX Total (R\$)	4.420.000.000
Receitas RSU (R\$/ano)	1.867.170.571

RMRJ TOTAL	RSU (t/d)	CRD (t/d)	Recicláveis (t/d)	Nº Usina Combustão	Nº Usina Termo Deg	Nº Usina Triagem
RMRJ Toda	16.926	10.374	6.552	10	10	25

CAPEX Total (R\$)	9.150.000.000
Receitas RSU (R\$/ano)	3.624.854.925

Fonte: ENGECONSULT, 2023

Para a implementação das 45 usinas dos três tipos de tratamento prevê-se um orçamento inicial de R\$ 9.150.000.000,00 (nove bilhões, cento e dezesseis milhões, trezentos e vinte e três mil e oitocentos e trinta e seis reais), nesse valor já está incluída a implantação de uma usina fotovoltaica por unidade de tratamento.

No primeiro ano de operação dessas 45 usinas, estima-se a arrecadação de receitas (de diversas fontes) de R\$ 3.624.854.925,00 (três bilhões, seiscentos e vinte e quatro milhões, oitocentos e cinquenta e quatro mil e novecentos e vinte e cinco reais).

Com o CAPEX total das usinas e a arrecadação do primeiro ano de operação pode-se avaliar, que o tempo de retorno para todo o investimento seja menor do que 10 anos.

Complementando o EVTEA destacam-se alguns dos benefícios ambientais alcançados pelos cenários propostos. Dentre eles:

- Recuperação de energia;
- Contribuição para algumas metas de ODS da ONU, como: 6 - Água limpa e saneamento; 7 - Energia acessível e limpa; 12 - Consumo e produção sustentáveis; e 17 - Parcerias em prol das metas;
- Desenvolvimento de tecnologias modernas e/ou inovadoras;
- Redução de emissões de GEE dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄);
- Recuperação financeira mediante a comercialização de créditos de carbono;
- Redução de dependência de outras fontes de energia (por ex. de origem fóssil);
- Potencialidade de converter o CH₄ para GNV.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO 1 – TECNOLOGIAS PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

- **Tecnologias de acondicionamento de resíduos**

Tabela 74: Tecnologias de Acondicionamento de Resíduos.

Tecnologias de acondicionamento de resíduos			
Código	Tecnologia	Código	Tecnologia
AC01	A granel	AC19	Contêiner
AC02	Caçamba fechada	AC20	Saco plástico de uma camada
AC03	Caçamba aberta	AC21	Saco plástico multicamadas
AC04	Tambor metálico com capacidade de 20 L a 199 L, com tampa, não removível	AC22	Saco de tecidos
AC05	Tambor metálico com capacidade de 20 L a 199 L, com tampa, removível	AC23	Gaiola metálica
AC06	Tambor plástico com capacidade de 20 L a 199 L, com tampa, não removível	AC24	Enfardado
AC07	Tambor plástico com capacidade de 20 L a 199 L, com tampa, removível	AC25	Cilindro
AC08	Tambor metálico 200 L com tampa, fechado	AC26	Caixa plástica
		AC27	Caixa de madeira
		AC28	Sobre paletes, sem embalagem
		AC29	Bombona plástica [IBC, Intermediate Bulk Container]

AC09	Tambor metálico 200 L, aberto	AC30	Bombona plástica com gaiola externa [IBC Composto]
AC10	Tambor plástico 200 L com tampa, fechado	AC31	Contentor móvel de plástico até 360 L (ABNT NBR 15911-2:2010)
AC11	Tambor plástico 200 L, aberto		
AC12	Tambor metálico 201 L a 450 L com tampa, fechado	AC32	Contentor móvel de plástico de 660 L a 1.000 L (ABNT NBR 15911-3:2010)
AC13	Tambor metálico 201 L a 450 L, aberto		
AC14	Tambor plástico 201 L a 450 L com tampa, fechado	AC33	Contentor móvel de plástico (ABNT NBR 15911-1:2010 Versão Corrigida:2011)
AC15	Tambor plástico 201 L a 450 L, aberto		
AC16	Tambor de fibra (madeira laminada, papel ou papelão) com tampa, fechado	AC34	Recipientes para RSS perfurantes ou cortantes (ABNT NBR 13853-1:2018)
AC17	Tambor de fibra (madeira laminada, papel ou papelão) aberto		
AC18	Tanque portátil	AC35	Tecnologia de acondicionamento não contemplada nos outros códigos (especificar)

Fonte: NBR 17100-1:2023 - Gerenciamento de resíduos. Parte 1: Requisitos gerais

- **Tecnologias de armazenagem de resíduos**

Tabela 75: Tecnologias de Armazenagem de Resíduos.

Tecnologias de armazenagem de resíduos			
Tipo de piso/superfície da área de armazenagem		Existência de sistema de contenção	
Código	Tecnologia	Código	Tecnologia
S01	Construída/pavimentada com impermeabilização	D01	Dique ou bacia de contenção dimensionado para contenção de vazamento
S02	Construída / pavimentada sem impermeabilização	D02	Dique ou bacia de Contenção parcial
		D03	Sem dique de contenção
S03	Solo com $K_a < 1,0 \times 10^{-7}$ cm/s	Existência de cobertura	
S04	Solo com $K_a > 1,0 \times 10^{-7}$ cm/s	Código	Tecnologia
S05	Em lagoa, sem impermeabilização	C01	Área coberta
S06	Em lagoa, com revestimento impermeabilizante	C02	Área descoberta
		Atendimento a normas	
S07	Em lagoa, em solo com $K_a < 1,0 \times 10^{-7}$ cm/s	N01	Conforme ABNT NBR 12235
Coeficiente de permeabilidade determinado conforme a ABNT NBR 14545		N02	Conforme ABNT NBR 11174
		N03	Conforme ABNT NBR 15112
		N04	Conforme ABNT NBR 15113
		N05	Outras normas (especificar)

Fonte: NBR 17100-I:2023 - Gerenciamento de resíduos. Parte I: Requisitos gerais.

- **Tecnologias de preparo/tratamento de resíduos para posterior destinação**

Tabela 76: Tecnologias de Preparo/Tratamento de Resíduos para Posterior Destinação

Tecnologias de preparo/tratamento de resíduos para posterior destinação			
Código	Tecnologia	Código	Tecnologia
TP01	Encapsulamento/fixação química / solidificação/vitrificação	TP10	Cominuição, trituração, moagem ou outro processo mecânico de redução de tamanho
TP02	Oxidação química		
TP03	Oxidação de cianetos	TP11	Secagem
TP04	Neutralização/inertização	TP12	Filtragem
TP05	Detoxificação	TP13	Triagem/classificação
TP06	Precipitação	TP14	Mistura controlada/formação de blend
TP07	Adsorção	TP15	Confinamento
TP08	Desmanche termoquímico	TP16	Tratamento biológico
TP09	Autoclavagem	TP17	Tratamento térmico
		TP18	Tecnologia de preparo não contemplada nos outros códigos (especificar)

Fonte: NBR 17100-I:2023 - Gerenciamento de resíduos. Parte I: Requisitos gerais

- **Tecnologias de destinação**

Tabela 77: Tecnologias de Destinação de Resíduos

Tecnologias de destinação de resíduos			
Código	Tecnologia	Código	Tecnologia
RU01	Reutilização como insumo ou matéria-prima, exceto para fins energéticos a	RC14	Reciclagem de papéis
		RC15	Reciclagem de plásticos
RU02	Reutilização direta como produto a	RC16	Reciclagem de metais
RU03	Recondicionamento ou remanufatura (peças, componentes etc.) para reutilização	RC17	Reciclagem de outros materiais ou componentes orgânicos
RC01	Regeneração de ácidos ou bases	RE01	Coprocessamento em fornos de cimento
RC02	Regeneração de resinas trocadoras aniônicas/catiônicas	RE02	Recuperação energética em caldeiras
RC03	Regeneração de carvão ativado	RE03	Recuperação energética em fornos industriais
RC04	Regeneração/recuperação de catalisadores	RE04	Recuperação energética em plantas de geração de energia
RC05	Regeneração/recuperação de componentes usados na redução da poluição	RE05	Conversão via pirólise
RC06	Reaproveitamento/regeneração de solventes	RE06	Conversão em gasogênio/metano
RC07	Rerrefino de óleo lubrificante usado		
RC08	Rerrefino de componentes a base de petróleo previamente utilizados	EL01	Incinerador hospitalar de RSS

RC09	Regeneração/descontaminação de óleos isolantes	EL02	Combustão (sem aproveitamento energético)
RC08	Rerrefino de componentes a base de petróleo previamente utilizados	EL03	Plasma térmico
RC09	Regeneração/descontaminação de óleos isolantes	EL04	Queima a céu aberto devidamente autorizada b
RC10	Fertirrigação/aplicação em solo agrícola/rochagem	DE01	Tecnologia de destinação ambientalmente adequada não contemplada nos outros códigos (especificar)
RC11	Compostagem/vermicompostagem		
RC12	Recuperação por eletrólise	EL05	Tecnologia de eliminação ambientalmente adequada não contemplada nos outros códigos (especificar)
RC13	Landfarming		
a Não se aplica a material, substância, objeto ou bem reutilizado internamente no próprio processo em que teve origem, portanto, sem configurar descarte e geração de resíduo.		b Condições excepcionais, como emergência sanitária	

Fonte: NBR 17100-1:2023 - Gerenciamento de resíduos. Parte 1: Requisitos gerais

• Tecnologias de disposição⁶

Tabela 78: Tecnologias de Disposição Final

Tecnologias de Disposição Final			
Código	Tecnologia	Código	Tecnologia
DI01	Aterro sanitário (para RSU)	DI03	Aterro industrial para resíduos não perigosos
DI02	Aterro industrial para resíduos perigosos	DI04	Tecnologia de disposição final não contemplada nos outros códigos (especificar)

Fonte: NBR 17100-1:2023 - Gerenciamento de resíduos. Parte 1: Requisitos gerais.

9.2. ANEXO 2 – CUSTO DOS EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E SERVIÇOS DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

US Dólar em janeiro de 2007: R\$ 2,13;
US Dólar em novembro de 2023: R\$ 4,87.

Descrição	Valor (R\$)
Equipamentos	392.725,00
Motor e acessórios	263.235,00
Gerador	46.000,00
Segurança (válvulas, sensores e acessórios)	83.490,00

⁶ As tecnologias descritas acima nesse item do PMetGIRS aparecem aqui apenas de forma introdutória e resumida e não se esgotam em si, bem como outros exemplos de tecnologias serão mais detalhados ao longo dos demais capítulos pertinentes desse prognóstico do PMetGIRS

Descrição	Valor (R\$)
Automação	183.480,00
Painel de controle elétrico manual e acessórios	83.050,00
Sistema de alimentação e ignição eletrônicas	100.430,00
Civil	58.208,00
Container 6 m	42.158,00
Obras civis	16.050,00
Instalação/ montagem	82.850,00
Serviços (projeto, mão de obra, supervisão, treinamento)	65.890,00
Transporte	4.800,00
Hospedagem	4.500,00
Alimentação	2.250,00
Mão-de-obra local	3.210,00
Guincho	2.200,00
Frete e Seguro	3.654,68
Frete e seguro	3.654,68
Total	720.918,68

Fonte: CENBIO (2007).

9.3. ANEXO 3 – PLANO DE MANUTENÇÃO ELABORADO PELO FABRICANTE DO GRUPO GERADOR

300 horas
Lubrificações dos mancais
Verificação do nível de água e óleo
Verificação da tensão das correias e realMto de parafusos e conexões
Limpeza do elemento filtrante de umidade
1.000 horas
Troca de óleo e filtro
Limpeza dos cabos de bateria
Análise físico-química do óleo
2.500 horas
Alinhar as polias do esticador de correias, booster e bomba d'água
5.000 horas
Troca das correias do booster e alternador
Troca das velas e cabos de ignição
Regulagem do jogo de válvulas
Análise de vibração e termografia
10.000 horas
Troca dos elementos filtrantes de ar

Troca das abraçadeiras e mangotes do sistema de refrigeração, admissão e biogás	
Verificação da estanqueidade do radiador e trocador de calor	
25.000 horas	
Substituição dos rolamentos, gaxetas, anéis de vedação e retentores	
Substituição dos anéis de vedação do Intercooler	
Troca das bobinas do sistema de ignição	
Troca do elemento filtrante de umidade	
Troca da água e fluido do sistema de refrig	
50.000 horas	
Verificar o desgaste das escovas e a folga dos rolamentos	
Substituição das baterias	
Substituição do sensor lambda	
Verificação do estado corrosão das tubulações (circuitos primário e secundário)	
Custo Manut (R\$/MWh - 2007)	R\$ 18,03
I US \$ (jan 2007)	R\$ 2,13
Custo Manut US\$/MWh - 2007	R\$ 8,46
I US \$ (nov 2023)	R\$ 4,87
Custo Manut (R\$/MWh - 2023)	R\$ 41,22

Fonte: Brasmetano

9.4. ANEXO 4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA RSU

Aterro Sanitário	Características do Processo	Aterro sanitário licenciado não é um tratamento, mas sim uma disposição de RSU. Trata-se da abertura de valas em terreno, com impermeabilização de solo, da distribuição e do espalhamento os resíduos recebidos e cobri-los com terra e argila do próprio terreno. É utilizado em todo mundo, como a principal forma de disposição final de RSU e, no Brasil, representa quase 90% das opções de destinação.
	Aspectos Positivos	Baixo investimento (CAPEX) para implementação e baixo custo para a operação e a manutenção (OPEX) de seus ativos;
		Tecnologia consolidada e usada mundialmente, há décadas;
		Recuperação energética, através da produção de eletricidade a partir de combustível (metano) em turbinas a gás (ou através da queima do biogás com produção de vapor em turbinas a vapor), associada à biodigestão da matéria orgânica em aterros sanitários licenciados ou em reatores industriais;
		Simplicidade de operações, sem necessidade de mão-de-obra intensiva e/ou especializada.
	Aspectos Negativos	Requer grandes áreas territoriais para a instalação, fora dos grandes centros urbanos;
		Devido às grandes distâncias entre a coleta e a disposição, o frete impacta no custo do tratamento, bem como pela geração de gases de efeito estufa pelo transporte rodoviário;
		Tecnologia com limitação de tempo operacional, definido pela área disponível para a construção das valas do aterro;
		Disposição do RSU em aterro sanitário licenciado exige o tratamento para o Gás do Lixo (GDL - mistura metano e dióxido de carbono originado pela digestão anaeróbica da matéria orgânica) gerado na pilha de enterrados. O metano e o dióxido de carbono são gases de efeito estufa, que devem ser colhidos e no mínimo queimados em uma tocha ou convertidos em energia numa usina termoeletrica;
		Já para a lixiviação do RSU enterrado pela água das chuvas, o aterro sanitário exige uma unidade de tratamento para efluentes líquidos (chorume), com razoável complexidade de processo;
		Processo associado aos aterros sanitários, captando o metano e dióxido de carbono (GDL - gás do lixo ou biogás) das pilhas de RSU enterrado; processo que apresenta muita perda de biogás para a atmosfera (cerca de 50% em aterros convencionais);
		Ao final do tempo útil do aterro, toda a área de disposição fica permanentemente inutilizada para um uso subsequente, exceto se passar por um processo complexo e caro de descontaminação;
		Não reduz a massa e o volume do RSU disposto no processo, trata-se de um armazenamento contido e oculto.

Usina de Triagem manual	Características do Processo	A triagem convencional é um processo de separação física e mecânica do RSU bruto, correias transportadoras de catação dotadas de separador de metais ferrosos e com triturador de resíduos ao fim da linha. Os recicláveis alimentam a economia circular e os processos de logística reversa, enquanto a matéria orgânica e os inertes exigem uma segunda etapa de tratamento que é o preparo do CDR (combustível derivado de resíduos) para futura conversão dos RSU em energia elétrica. Os inservíveis são encaminhados para aterro sanitário. As usinas de triagem de RSU devem se localizar o mais próximo possível dos centros urbanos de geração.
	Aspectos Positivos	Requer pequena área para instalação (6.000 a 30.000 m ²) em comparação aos aterros;
		Valorização monetária do RSU bruto, pela venda dos materiais segregados como recicláveis e os combustíveis derivados dos resíduos (CDR - matéria orgânica e inertes);
		Redução da massa e do volume do RSU bruto, em um primeiro processo na razão de 40% (remoção dos recicláveis do RSU bruto, impedindo que os recicláveis sejam encaminhados para os aterros);
		Com a instalação da usina de triagem próxima geração e à coleta municipal de limpeza urbana, os custos associados ao RSU são minorados;
		A usina de triagem convencional tem capacidade máxima para 500t/dia
		Geração de trabalho e empregos, com qualificação da mão-de-obra (qualificação de catadores).
	Aspectos Negativos	Custos de investimento, operação e manutenção maiores do que o aterro; Relação R\$ CAPEX Investimento / t RSU: 102.190; Relação R\$ OPEX Custo de tratamento / t RSU: 30,;
		Dificuldade com resíduos de baixo poder calorífico, altos teores de cloro ou muito úmidos (compensáveis pela tecnologia de tratamento);
		Necessidade de mão de obra com formação mínima, mas possui operação e manutenção mais complexas do que o aterro;
		O processo não recupera energia do RSU bruto. É recomendável que se adote uma fonte renovável de energia, como por exemplo a fotovoltaica em geração distribuída de 5 MWp, para reduzir os custos operacionais de processo;

Usina de Triagem Mecanizada	Características do Processo	A triagem Mecanizada também é um processo de separação física e mecânica do RSU bruto, além dos equipamentos da Usina Convencional, é dotada de peneiras rotativas, separadores óticos, separadores balísticos e separadores de metais não ferrosos por indução magnética.
	Aspectos Positivos	Se torna economicamente viável a partir de 350 t/dia
		Geração de trabalho e empregos, com qualificação da mão-de-obra (qualificação de catadores).
		A escala de execução da triagem é modular, ou seja, se adequa para municípios de 50.000 a 6.000.000 de habitantes - usina ECO Parque Pernambuco: 685 t/dia;
	Aspectos Negativos	Custos de investimento, operação e manutenção maiores do que o aterro;
		Dificuldade com resíduos de baixo poder calorífico, altos teores de cloro ou muito úmidos (compensáveis pela tecnologia de tratamento);
		Necessidade de mão de obra especializada além da mão de obra básica
Compostagem	Características do Processo	O processo não recupera energia do RSU bruto. É recomendável que se adote uma fonte renovável de energia, como por exemplo a fotovoltaica em geração distribuída de 5 MWp, para reduzir os custos operacionais de processo;
	Aspectos Positivos	A compostagem é uma técnica de imobilização da matéria orgânica segregada do RSU em terra, formando um condicionador natural de solo (composto) para o uso em agricultura. A cura do composto dura, em média, 30 dias e deve ser feita antes de sua utilização.
		Composto natural produzido a partir da recuperação da matéria orgânica dos RSU, reduzindo o volume a ser enterrado nos aterros sanitários licenciados;
		Processo de fabricação simples, sem necessidade de cuidados especiais de produção, com baixo custo associado;
		Não exige mão-de-obra especializada, podendo promover a inclusão de catadores como produtores;
	Aspectos Negativos	Prática incorporada à agricultura familiar, através da compostagem doméstica.
		A compostagem exige tempo de cura para a utilização do composto, o que aumenta a área do terreno onde ele é produzido;
		Frete entre a área urbana (onde o composto é gerado) e as áreas rurais onera o custo de produção.

Biodigestão	Características do Processo	A biodigestão ou digestão anaeróbica é a decomposição da matéria orgânica, animal e/ou vegetal, por bactérias em ambientes isentos ou muito deficientes em oxigênio. Essa decomposição (metanogênese) leva a geração de metano e dióxido de carbono dentro de um ambiente fechado, que pode ser uma vala coberta de um aterro sanitário ou um reator (vaso industrial de processo). Como o metano e o dióxido de carbono são gases geradores de efeito estufa, a corrente efluente da biodigestão deve ser captada e tratada, preferencialmente queimando o combustível (metano) em uma turbina a gás para gerar energia elétrica.
	Aspectos Positivos	Recuperação energética, através da produção de eletricidade a partir de combustível (metano) em turbinas a gás (ou através da queima do biogás com produção de vapor em turbinas a vapor), associada à biodigestão da matéria orgânica em aterros sanitários licenciados ou em reatores industriais;
		Também como produto, em biodigestores industriais, a biodigestão gera adubo orgânico do RSU sólido digerido.
	Aspectos Negativos	Processo associado aos aterros sanitários, captando o metano e dióxido de carbono (GDL - gás do lixo ou biogás) das pilhas de RSU enterrado; processo que apresenta muita perda de biogás para a atmosfera (cerca de 50% em aterros convencionais;
		A escala de recuperação economicamente viável de GDL exige a alimentação diária de RSU fresco e, o ciclo útil de geração de energia do aterro funciona do ano 2 de operação do aterro até ao preenchimento total do terreno igual a 80%;
		GDL deve ser purificado em unidade industrial antes de ser encaminhado à geração de energia. Do metano (combustível) devem ser removidos: umidade (vapor d'água), dióxido de carbono - não combustível e compostos de enxofre - corrosivos;

Compostagem Acelerada (ou digestão aeróbia acelerada)	Características do Processo	A compostagem acelerada é um método que utiliza equipamentos eletromecânicos, a fim de acelerar o início do processo biológico, a partir da manutenção de um ambiente controlado. A compostagem acelerada é vista como uma solução inovadora e eficiente, pois potencializa o processo da decomposição da matéria orgânica de forma não prejudicial ao meio. Além disso, é de fácil aplicação e ocupa um espaço reduzido, proporcional a escala do tratamento. O processo consiste em acelerar a biodigestão dos resíduos orgânicos, através da trituração dos resíduos, mistura do RSU triturado com serragem, aquecimento a 85 °C no interior do equipamento eletromecânico, revolvimento e aeração mecânica, adição de resíduos vegetais para balanceamento da relação carbono / nitrogênio e secagem e resfriamento natural em terreno aberto.
	Aspectos Positivos	Adubo natural produzido a partir da recuperação da matéria orgânica dos RSU, reduzindo o volume a ser enterrado nos aterros sanitários licenciados;
		Processo de fabricação simples, sem requerimentos especiais de produção, com baixo custo associado;
		Não exige mão-de-obra especializada, podendo incluir os catadores como produtores;
		Trata-se de uma boa prática para contribuir com a substituição de fertilizantes por adubo natural;
		Prática incorporada à agricultura familiar, como fertilizante de baixo custo.
	Aspectos Negativos	A técnica não possui escala de tratamento e, exige áreas para a secagem final da compostagem;
		Frete entre a área urbana (onde o composto é gerado) e as áreas rurais onera o custo de produção.

Gaseificação	Características do Processo	A gaseificação é um processo de tratamento térmico, onde o RSU bruto é queimado em atmosfera pobre em oxigênio. Os resíduos são fundidos e, posteriormente gaseificados, formando uma mistura gasosa de monóxido de carbono e hidrogênio, denominada gás de síntese. Na sequência, o gás de síntese é queimado a 1.800°C, com os gases de combustão sendo encaminhados à seção de recuperação de energia da usina. Por fim, os gases exaustos do processo são tratados e filtrados, de tal forma que para o meio ambiente é liberada apenas uma corrente rica em vapor d'água. É uma tecnologia largamente utilizada no Japão, que é o país que mais recupera energia dos RSU. As usinas de gaseificação devem ser localizadas o mais próximo possível das usinas de triagem.
	Aspectos Positivos	Redução da massa e volume de RSU em até 97%;
		3% de cinzas residuais podem ser imobilizadas em asfalto de pavimentação de ruas, ao invés de dispor em aterro;
		Requer pequena área para instalação (6.000 a 30.000 m²) em comparação aos aterros;
		Ausência relativa de ruídos e odores;
		Menores distâncias entre geração e tratamento: redução das emissões de veículos e impacto positivo sobre o tráfego local;
		Menores emissões de gases de efeito estufa;
		Geração de trabalho e empregos, com qualificação da mão-de-obra (qualificação de catadores);
		Recuperação de energia elétrica a partir do RSU podendo ser associada à geração fotovoltaica, para incrementar o resultado energético da solução de tratamento;
		Destruição térmica (1.800°C) de bactérias, vírus e produtos perigosos, inclusive dioxinas e furanos;
		Capacidade de tratamento: 280 t/dia, município até 300.000 habitantes.
	Aspectos Negativos	Custos de investimento, operação e manutenção maiores do que o aterro e que os de biodigestão;
		É interessante o uso de uma energia auxiliar sustentável (solar), para favorecer o balanço de energia do tratamento;
		Dificuldade com resíduos de baixo poder calorífico, altos teores de cloro ou muito úmidos (compensáveis pela tecnologia de tratamento);
		Necessidade de mão de obra com formação mínima;
		Operação e manutenção mais complexas do que o aterro;
		Relação R\$ CAPEX Investimento/t RSU: 23.114; Relação R\$ OPEX Custo de tratamento/t RSU: 83.

Pirólise	Características do Processo	A pirólise é um processo de decomposição térmica, onde o RSU bruto é queimado em atmosfera paupérrima em oxigênio (máximo 10 % v/v). Dentro de um reator pirolítico identificamos três zonas distintas: zona de secagem: onde os resíduos que irão alimentar o reator passam por duas etapas a pré-secagem e a secagem, nesta zona as temperaturas variam de 100° a 200°C (vale a pena ressaltar que esta etapa é de suma importância, pois a umidade pode interagir negativamente no resultado final do processo); zona de pirólise: onde ocorrerão as reações endotérmicas, sendo elas a volatilização, oxidação e a fusão, as temperaturas nesta fase variam de 300° a 1600° C, é onde são coletados os produtos (alcoóis, óleo combustível, alcatrão, etc); zona de resfriamento: nesta fase os resíduos gerados pelo processo são coletados no final do processo como cinzas e bio-óleo. O material pirolisado pode ser dividido em três grupos: • Gases, compostos por hidrogênio, metano e monóxido de carbono; • Combustível líquido, composto por hidrocarbonetos, álcoois e ácidos orgânicos de elevada densidade e baixo teor de enxofre; • Resíduo sólido, constituído, por carbono quase puro (char) e ainda, por vidros, metais e outros materiais inertes (escória).
	Aspectos Positivos	Redução da massa e volume de RSU em até 95 %;
		# 5 % de cinzas residuais podem ser imobilizadas em asfalto de pavimentação de ruas, ao invés de dispor em aterro;
		Requer pequena área para instalação (6.000 a 30.000 m²) em comparação aos aterros;
		Ausência relativa de ruídos e odores;
		Menores distâncias entre geração e tratamento: redução das emissões de veículos e impacto positivo sobre o tráfego local;
		Menores emissões de gases de efeito estufa;
		Geração de trabalho e empregos, com qualificação da mão-de-obra (qualificação de catadores)
	Aspectos Negativos	Recuperação de energia elétrica a partir do RSU e associar no telhado da usina com geração fotovoltaica, para incrementar o resultado energético da solução de tratamento;
		Destruição térmica (1.600 °C) de bactérias, vírus e produtos perigosos, inclusive dioxinas e furanos.
		Custos de investimento, operação e manutenção maiores do que o aterro sanitário;
		É interessante o uso de uma energia auxiliar sustentável (solar), para favorecer o balanço de energia do tratamento;
		Dificuldade com resíduos de baixo poder calorífico, altos teores de cloro ou muito úmidos (compensáveis pela tecnologia de tratamento);
		Necessidade de mão de obra com formação mínima;
		Operação e manutenção mais complexas do que o aterro.
		Funciona melhor com resíduos homogêneos, como casca de coco e bagaço de cana e sofre com resíduos que possuem composição variável, como a umidade e a matéria orgânica dos RSU.

Arco de Plasma	Características do Processo	O plasma é um processo térmico, onde o RSU bruto é queimado em atmosfera pobre em oxigênio. O plasma é gerado pela ionização de um gás, através de um arco voltaico desenvolvido a partir de alta tensão. Os resíduos são fundidos e, posteriormente gaseificados, formando uma mistura gasosa de monóxido de carbono e hidrogênio, denominada gás de síntese. Na sequência, o gás de síntese é queimado a 5.000°C, com os gases de combustão sendo encaminhados a seção de recuperação de energia da usina. Por fim, os gases exaustos do processo são tratados e filtrados, de tal forma que para o meio ambiente é liberado uma corrente rica em vapor d'água. É uma tecnologia de pouca aplicação comercial, normalmente ligada a destruição de produtos perigosos, em pequena escala.
	Aspectos Positivos	Temperatura de arco de plasma atinge a mais de 5.000°C;
		A alta temperatura garante a destruição de produtos perigosos, mesmo as dioxinas e os furanos;
		Capacidade de redução de massa e de volume dos RSU por esse processo é de 99%;
		Os resíduos de tratamento do RSU por plasma são minerais e metais vitrificados, inertes e atóxicos.
	Aspectos Negativos	Custos de investimento, operação e manutenção maiores do que o aterro, que os de biodigestão e que os de gaseificação;
		Processo usa energia de forma ultra intensiva;
		Reatores a plasma são de pequena capacidade de tratamento (, mais adequados para tratamento de produtos perigosos, que exijam altas temperaturas para destruição;
		Existem poucas unidades comerciais em operação no mundo, mais particularmente nos EUA, nenhuma unidade comercial na RMRJ operando com RSU.

Recuperação Energética por Combustão	Características do Processo	A combustão é um processo de tratamento térmico, onde o RSU bruto é queimado em atmosfera rica (20% de excesso) em oxigênio. Na sequência, os gases de combustão a 1.200°C são encaminhados à seção de recuperação de energia da usina. Por fim, os gases exaustos do processo são tratados e filtrados, de tal forma que para o meio ambiente é liberada uma corrente rica em vapor d'água. É uma tecnologia largamente utilizada na Europa e no EUA, com centenas de usinas instaladas e operadas há várias décadas. No Brasil em Barueri (SP), encontra-se em montagem uma usina de capacidade para 825 t/dia de RSU. As usinas de recuperação energética devem ser localizadas o mais próximo possível das usinas de triagem.
	Aspectos Positivos	Redução da massa e volume de RSU em até 92%;
		8% de cinzas residuais podem ser imobilizadas em asfalto de pavimentação de ruas, ao invés de dispor em aterro;
		Requer pequena área para instalação (6.000 a 30.000 m²) em comparação aos aterros;
		Ausência relativa de ruídos e odores;
		Menores distâncias entre geração e tratamento: redução das emissões de veículos e impacto positivo sobre o tráfego local;
		Menores emissões de gases de efeito estufa;
		Geração de trabalho e empregos, com qualificação da mão-de-obra (qualificação de catadores);
		Recuperação de energia elétrica a partir do RSU e associar no telhado da usina com geração fotovoltaica, para incrementar o resultado energético da solução de tratamento;
		Destruição térmica (1.800°C) de bactérias, vírus e produtos perigosos, inclusive dioxinas e furanos;
		Capacidade de tratamento: 265 t/dia, município até 300.000 habitantes;
		Capacidade de tratamento: modular, na faixa de 825 t/dia (municípios com 800.000 habitantes).
		Custos de investimento, operação e manutenção similares aos do arco de plasma e maiores do que o aterro, que os de biodigestão e que os de gaseificação;
		É interessante o uso de uma energia auxiliar sustentável (solar), para favorecer o balanço de energia do tratamento;
		Dificuldade com resíduos de baixo poder calorífico, altos teores de cloro ou muito úmidos (compensáveis pela tecnologia de tratamento);
		Necessidade de mão de obra com formação mínima;
	Aspectos Negativos	Operação e manutenção mais complexas do que o aterro;
		Relação R\$ CAPEX Investimento/t RSU: 139.609;
		Relação R\$ OPEX Custo de tratamento/t RSU: 169.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTINO, L.; **Iniciativas sustentáveis são replicadas em condomínios em Jacarepaguá.** Jornal O Globo, Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/iniciativas-sustentaveis-sao-replicadas-em-condominios-de-jacarepagua-21535695>>;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 1992;

BIZERRIL, M. X. A.; FARIA, D. S.; **Percepção de professores sobre a educação ambiental no Ensino Fundamental.** Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos, Brasília, v. 82, nº 200/201/202, p. 57-69, jan./dez. 2001;

BASSANEZE, S.; **Gestão de resíduos nos shoppings.** Revista Shopping Centers, São Paulo. 2020. Disponível em:

<<https://revistashoppingcenters.com.br/esg/gestao-de-residuos-nos-shoppings/>>;

BRASIL. **[Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm> Acesso em: 24 set. 2023;

BRASIL. **Programa Nacional de Educação Ambiental – ProNEA;** documento básico. Ministério do Meio Ambiente. Diretoria de Educação Ambiental. Ministério da Educação. Coordenação Geral de Educação Ambiental. 2 ed. Brasília, 2004;

BRASIL. **Tratado de Educação Ambiental.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/sdl/ea/Tratea.cfm>. Acesso em 23 set 2023;

BRASIL, **Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: Meio ambiente e saúde.** Brasília, MEC/ SEEF, 1997;

BRASIL. Lei nº 4.281, de 25 de junho de 2002. Regulamenta a Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que institui a **Política Nacional de Educação Ambiental**, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 jun. 2002. Seção I, p. 13;

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Seção I, p. 1;

BRASIL. **Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias.** Brasília: MEC/SEB. p. 135., 2006. Disponível em: .Acesso em: 07 de junho de 2013;

BRASIL. **Lei nº 6.938/81, da Política Nacional de Meio Ambiente.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,aplica%C3%A7%C3%A3o%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>. Acesso em 24 set. 2016;

BRASIL. **Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: meio ambiente, saúde.** Brasília: MEC/SEF, 1997;

BRASMETANO – **Brasmetano. Moto geradores a biogás.** Disponível em <http://www.brasmetano.com.br/>. Acesso em: 10/09/2012.

BROM, L. G.; BALIAN, J. E. A. **Análise de investimentos e capital de giro: Conceitos e aplicações.** São Paulo: Saraiva, 2007;

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITCKE H. B. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial.** 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000;

Carabin, P., Palumbo, E. and Alexakis, T.; **Two-Stage Plasma Gasification of Waste.** Proceedings of the 23rd International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Phoenix, AZ, USA, 14 de maio de 2004;

CENTRO de Educação Ambiental. In: **Centro de Educação Ambiental.** Rio de Janeiro: Secretaria Municipal do Ambiente e Clima (SMAC). Disponível em: <https://carioca.rio/servicos/educacao-ambiental-no-municipio-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 24 set. 2023;

Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO). **Projeto Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto – ENERG-BIOG.** Relatório Técnico Final. São Paulo, 2005.

Cernuschi, S., Giugliano, M., Grosso, M., Aloigi, E., and Miglio, R.; **PCDD/F and Trace Metals Mass Balance in a MSW Incineration Full Scale Plant.** Proceedings of 19th International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Portland, Oregon, Maio de 2000;

CHIZZOTTI, A.; **Pesquisa em ciências humanas e sociais.** 4ª ed. São Paulo: Cortez, 2000;

Chronopoulos, C., Chevalier, P., Picard, I., Kaldas, A., Carabin, P., Holcroft, G., Swensen, B.; **Plasma Arc Waste Destruction System – One Year**

of Maritime Experience. Proceedings of the IT3 2005 conference, Galveston, Texas, Maio de 2005;

COMLURB, **Educação Ambiental no município do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro 18 jul. 2022. Disponível em: <https://carioca.rio/servicos/educacao-ambiental-no-municipio-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 24 set. 2023;

DIAS, G. F. **Atividades interdisciplinares de educação ambiental.** São Paulo: Global, 1994;

DIAS, G. Freire. **Educação Ambiental: princípios e práticas.** 9a ed. São Paulo: Gaia, 2004;

EDUCAÇÃO, Ambiental no município do Rio de Janeiro. **Educação Ambiental no município do Rio de Janeiro.** Disponível em: <https://carioca.rio/servicos/educacao-ambiental-no-municipio-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 24 set. 2023;

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, **Plasma Pirólise.** Disponível em <https://paginas.fe.up.pt/~jotace/gtresiduos/plasmapirólise.htm> Acesso em 10 ago. 2023;

Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos / Fundação Estadual do Meio Ambiente;** Fundação Israel Pinheiro. – Belo Horizonte: FEAM, 2010;

FREZATTI, F. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento.** São Paulo: Atlas, 2008;

Global Plasma Systems Corp. **Waste Disposal Using Plasma Arc Technology. USA, 2018;**

GODINHO, I.; **O que o Shopping Eldorado tem a ensinar sobre lixo e engajamento.** Diário do Comércio, São Paulo. 2017. Disponível

em: <<https://dcomercio.com.br/publicacao/s/o-que-o-shopping-eldorado-tem-a-ensinar-sobre-lixo-e-engajamento>>;

IPT/BNDES. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277871261_Guia_de_elaboracao_de_planos_de_intervencao_para_o_gerenciamento_de_areas_contaminadas>;

JUCON, S.; **Digestão anaeróbia seca apresenta vantagens no tratamento de resíduos sólidos urbanos**. Revista Meio Ambiente Industrial, 2023. Disponível em: <<https://rmai.com.br/2023/03/14/estudo-aponta-vantagens-de-tecnologia-no-tratamento-de-residuos-solidos-urbanos/>>;

KEELLING, R. **Gestão de projetos: uma abordagem global**. São Paulo: Saraiva, 2002;

LAPPONI, J. C. **Projetos de investimento: construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel**. São Paulo: Laponi Treinamento e Editora, 2000;

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Guia para a elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011, p.118;

MENDONÇA, A.K.S. **Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos**. Repositório UFSC, 2019;

MENEZES, L. C. M. **Gestão de projetos**. São Paulo: Atlas, 2003.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009;

OLIVEIRA, V. M. O.; SANTOS, M. E. P. **A prática da Educação Ambiental no Ensino de Jovens e Adultos (EJA)**. IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão. Jepex 2009;

PAIVA, J.M.F. **Resíduos Sólidos Urbanos como Fonte de Energia**. Revista Virtual de Química, v.24, 2022;

PARANHOS, R. D.; SHUVART, M. **A relação entre Educação Ambiental e a Educação de Jovens e Adultos sob a perspectiva da trajetória dos educadores**. Contexto & Educação, v. 28, nº 91, set./dez. 2013;

Portal Saneamento Básico. **Dois blocos da concessão do saneamento no RJ podem gerar benefícios acima dos R\$ 37 bi em 30 anos com a expansão dos serviços e gerar mais de 36 mil empregos**. 2022. Disponível em: <<https://portalsaneamentobasico.com.br/esgoto/concessoes-rio-universalizacao-saneamento>>;

Programa Cidades sustentáveis, **Guia Para a Implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos nos Municípios Brasileiros de Forma Efetiva e Inclusiva**. Disponível em <<https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/Publicacoes/Residuos.pdf>> Acesso em 05 ago. 2023

ProteGEER. **Roteiro para encerramento de vazadouros**. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/protegeer/06.RoteiroparaEncerramentodeLixoes.pdf>>;

RIO DE JANEIRO. Resolução CONEMA nº 82, de 26 de julho de 2018. Dispõem sobre a aprovação do **Programa Estadual de Educação Ambiental – ProEEARJ** e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro: seção I, Rio de Janeiro, ano 44, n. 139, p. 16-17, 01 ago. 2018;

SANTOS, J. G., et al. **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade: um estudo com alunos do ensino fundamental**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/geografia/eco->>. Acesso em: 25 de jan de 2014;

SEAS. **Programa de Saneamento Ambiental (PSAM)**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <<https://www.seas.rj.gov.br/Programa-de-Saneamento-Ambiental>>. Acesso em: 27 set. 2023;

SILVA, V. A.; CEZÁRIO, E. **PENSANDO a educação ambiental de maneira crítica**: Centro de Educação Ambiental: Pensando a educação ambiental de maneira crítica. Rio de Janeiro, 26 abr. 2023. Disponível em: <<https://conexao.ufrj.br/2023/04/pensando-a-educacao-ambiental-de-maneira-critica/>>. Acesso em: 24 set. 2023;

SOUZA, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. 5. ed. São Paulo: Atlas 2004;

UNGARETTI, M., et al. **ESG: Um guia de bolso das principais regulações no Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://conteudos.xpi.com.br/esg/esg-um-guia-de-bolso-das-principais-regulacoes-no-brasil/>>;

VILHENA, A.; **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 3.ed. São Paulo: CEMPRE, 2010;

