



REVISÃO
0

(A) Preliminar	(D) Para cotação	(G) Conforme construído
(B) Para aprovação	(E) Para construção	(H) Cancelado
(C) Para conhecimento	(F) Conforme comprado	

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
2/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0**ÍNDICE**

1. INTRODUÇÃO	3
2. NORMAS, PUBLICAÇÕES TÉCNICAS E UNIDADES	3
3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	3
4. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA	3
5. BARREIRA PRINCIPAL	4
5.1. CÁLCULO DA ESTABILIDADE	5
5.1.1. Fluxo de detritos (parte transbordante):.....	6
5.1.2. Cheia (parte transbordante):.....	8
5.1.3. Cheia com preenchimento de sólidos (parte transbordante):.....	11
5.1.4. Fluxo de detritos (parte não transbordante):.....	13
6. CALHA DE DISSIPAÇÃO	16
7. PAREDE VERTICAL	19
8. CONCLUSÃO	21

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste documento é apresentar os procedimentos realizados na análise e dimensionamento da estrutura da barreira SABO impermeável em Nova Friburgo.

2. NORMAS, PUBLICAÇÕES TÉCNICAS E UNIDADES

As seguintes normas foram utilizadas no dimensionamento da estrutura:

- NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 6122 – Projeto e execução de fundações;
- NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os seguintes documentos de referência foram utilizados para desenvolvimento da verificação:

- Manual Beta Finalizado.doc;
- Manual Plano de obras Capítulo 1-8.doc;

4. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura da barreira SABO impermeável é constituída de 3 componentes: barreira principal, calha de dissipação e parede vertical.

A barreira principal é constituída de concreto massa com seção trapezoidal com inclinação de 1:2,5 a montante e 1:5 a jusante. Acima do corpo da estrutura existe uma seção retangular de 4,0m de altura e 3,0m de largura. Na região do vertedouro a barreira apresenta 12,0m de altura e 2,0m de ficha. Essa estrutura tem o objetivo de conter o fluxo de detritos e impacto de blocos proveniente das encostas.

A calha de dissipação é constituída por uma seção U com laje e paredes com espessura de 80cm. Ela apresenta comprimento total de 20,0m e declividade de 5% com sentido a jusante. Essa estrutura tem o objetivo de dissipar a energia da água advinda do vertedouro da barreira principal, evitando a erosão do leito.

A parede vertical é a estrutura mais a jusante da barreira e é instalada para evitar a erosão pontual da extremidade da calha de dissipação. Ela é composta por uma seção retangular de 3,0m de altura por 2,0m de largura na parte superior e um uma seção trapezoidal com altura variável com face a jusante com inclinação de 1:5.

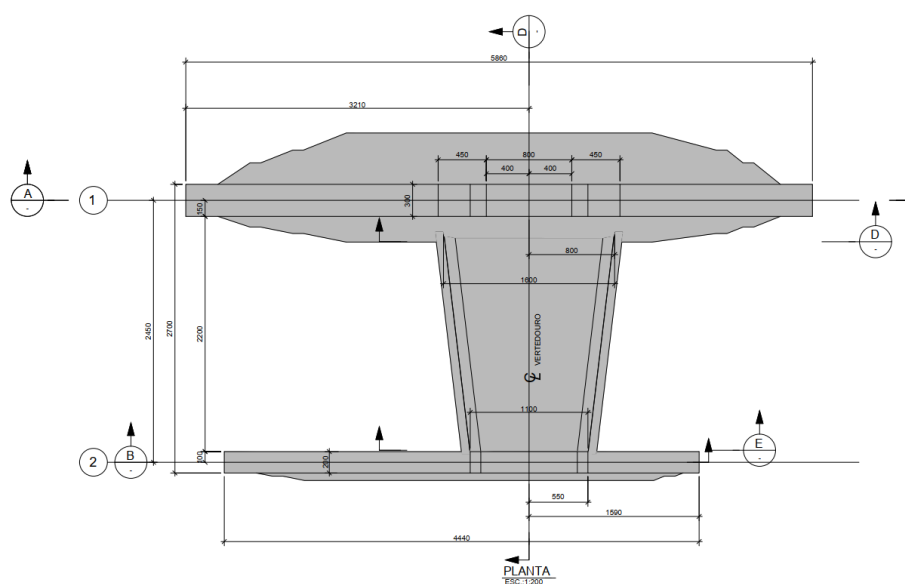


Figura 1: Arranjo geral em planta da barreira.

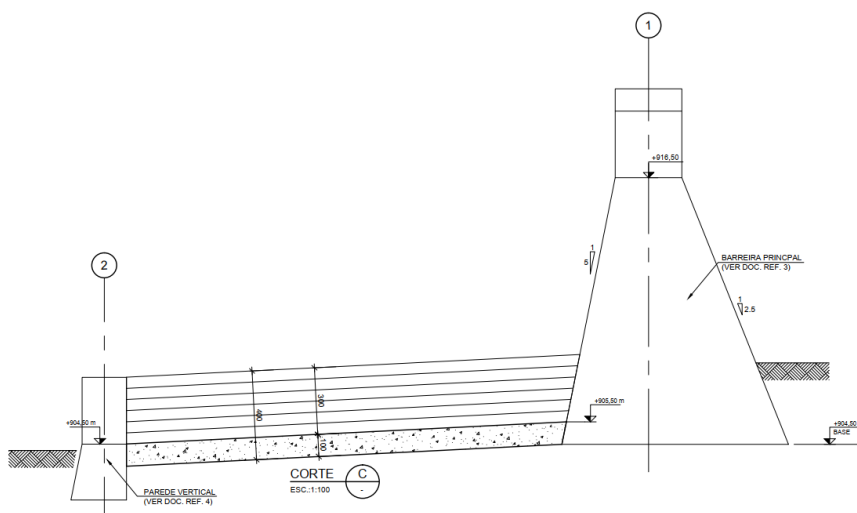


Figura 2: Arranjo geral em corte da barreira.

5. BARREIRA PRINCIPAL

A geometria da barreira principal utilizada nos cálculos encontra-se nas imagens abaixo:

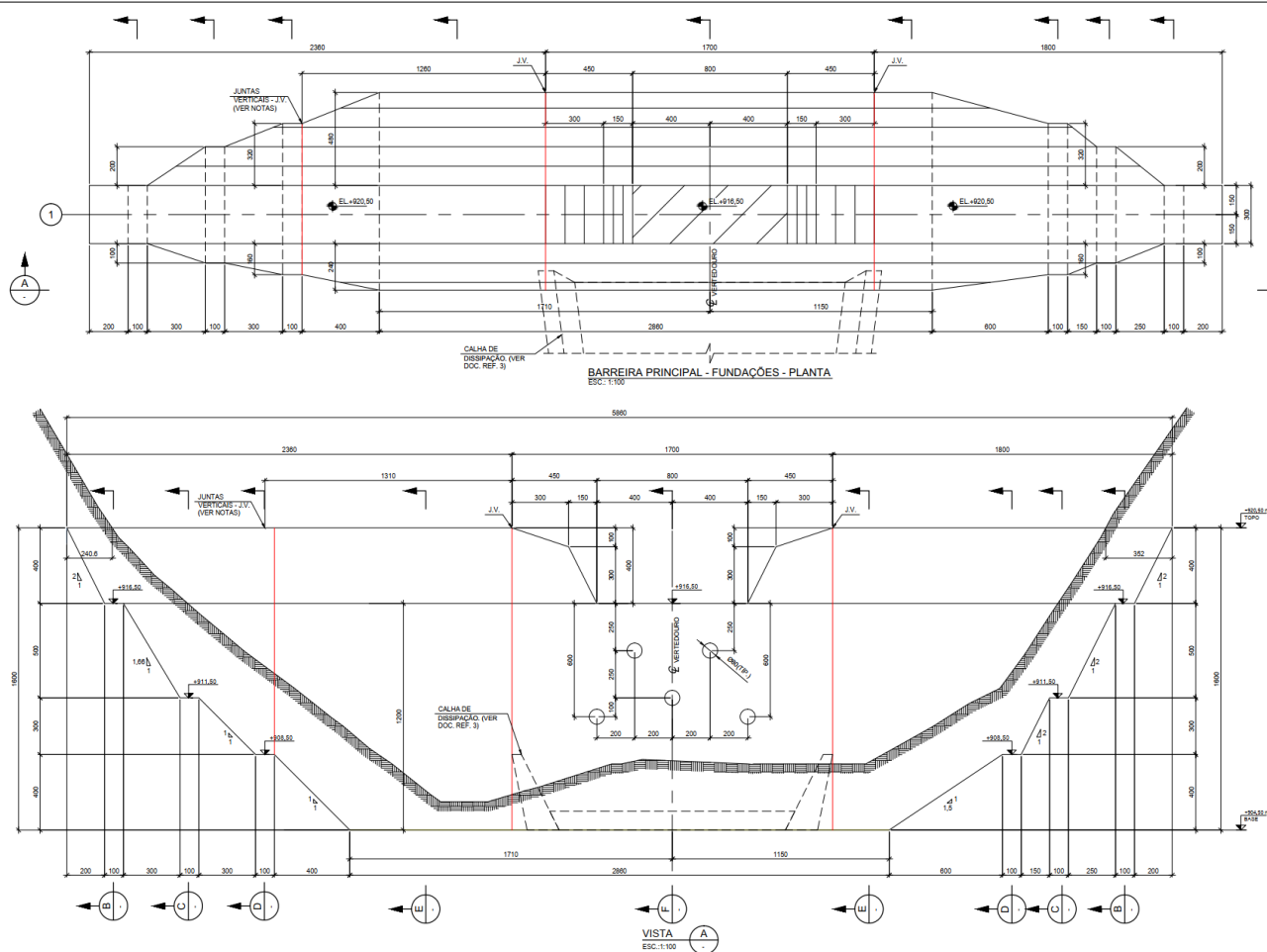


Figura 3: Desenhos da barreira principal

5.1. CÁLCULO DA ESTABILIDADE

O cálculo da estabilidade de barreira principal considerará 3 situações diferentes: O caso de fluxo de detritos na parte extravasante; o caso para volume de cheia e volume de cheia com preenchimento de sólidos.

Dessa forma, serão calculadas as forças verticais e horizontais, os momentos de tombamento e estabilizantes para concluir as verificações de estabilidade ao tombamento, deslizamento e tensão de suporte nas fundações.

Os parâmetros utilizados no cálculo descrito apresentam os seguintes valores:

- Peso específico do concreto: $23,0 \text{ kN/m}^3$

- Peso específico da água com sedimentos: $12,0\text{kN/m}^3$
- Peso específico submerso dos sedimentos no fluxo de detritos: $8,0\text{kN/m}^3$
- Peso específico do fluxo de detritos: $19,31\text{kN/m}^3$
- Ângulo de atrito do solo: 35°

5.1.1. Fluxo de detritos (parte transbordante):

As parcelas de força vertical e seus braços de alavanca encontram-se resumidos na tabela abaixo:

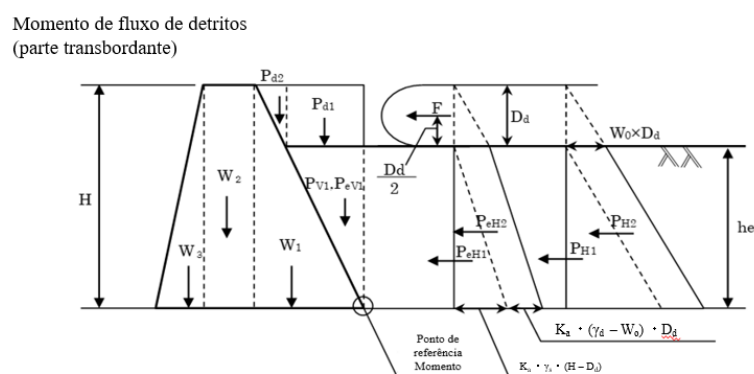


Figura 4: Esquema de forças atuantes para o caso de fluxo de detritos na parte transbordante

Descrição da parcela	Força (kN/m)	Braço de alavanca (m)
Peso próprio da barreira – seção a jusante (W1)	331,20	8,60
Peso próprio da barreira – seção central (W2)	828,00	6,30
Peso próprio da barreira – seção a montante (W3)	662,40	3,20
Pressão hidrostática (PV1)	324,62	1,55
Pressão de deposição de detritos (PeV1)	221,82	1,55
Peso do fluxo de detritos 1 (Pd1)	33,24	2,33
Peso do fluxo de detritos 2 (Pd2)	0,53	4,70

As parcelas de força horizontais e seus braços de alavanca encontram-se resumidos na tabela abaixo:

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
7/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0

Descrição da parcela	Força (kN/m)	Braço de alavanca (m)
Pressão de deposição 1 (PeH1)	150,28	3,88
Pressão de deposição 2 (PeH2)	9,56	5,82
Pressão hidrostática 1 (PH1)	811,54	3,88
Pressão hidrostática 2 (PH2)	51,64	5,82
Fluxo de detrito (PF)	6,13	11,82

Os somatórios de forças e momentos encontram-se resumidos abaixo:

- O somatório de forças **verticais** calculado foi: 2.401,80 kN/m
- O somatório de forças **horizontais** calculado foi 1.029,15kN/m
- O somatório de **momentos estabilizantes** foi 13.386,86kNm/m
- O somatório de **momentos de tombamento** foi 4.156,92kNm/m

Os cálculos de estabilidade encontram-se resumidos abaixo:

- Segurança ao **tombamento**:

$$FS_{2.3} := \frac{M_{Estabilizante.2}}{M_{Tombamento.2}} = 3.22$$

$$e_{0.2} := \frac{M_{Estabilizante.2} - M_{Tombamento.2}}{V_{total.2}} = 3.84 \text{ m}$$

$$e_{f.2} := \frac{B_{base}}{2} - e_{0.2} = 1.26 \text{ m}$$

$$\frac{B_{base}}{6} = 1.70 \text{ m}$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

- Segurança ao **deslizamento**:

A favor da segurança, desprezou-se a coesão entre a barreira e a fundação.

$$FS_{2.4} := \frac{\tan(\phi) \cdot V_{total.2} + c \cdot B_{base}}{H_{total.2}} = 1.63$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

➤ Capacidade de **suporte da fundação**:

$$\sigma_{jusante.2} := \frac{V_{total.2}}{B_{base}} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_{f.2}}{B_{base}} \right) = 409.59 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{montante.2} := \frac{V_{total.2}}{B_{base}} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_{f.2}}{B_{base}} \right) = 61.35 \text{ kPa}$$

Portanto a tensão na fundação a jusante e a montante estão abaixo da capacidade resistente do solo.

5.1.2. Cheia (parte transbordante):

As parcelas de força vertical e seus braços de alavanca encontram-se resumidos na tabela abaixo:

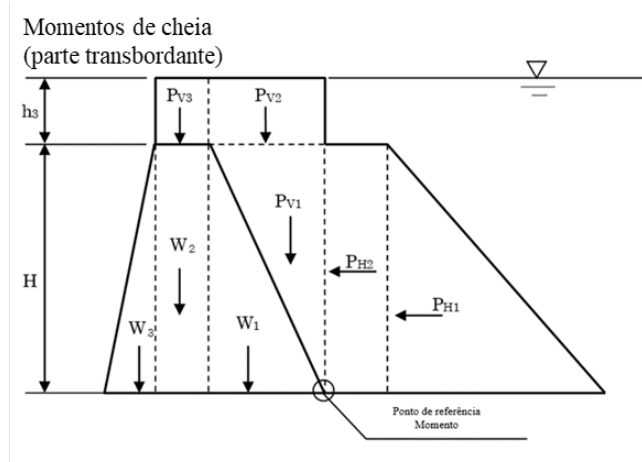


Figura 5 Esquema de forças atuantes para o caso de cheia na parte transbordante

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
9/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0

Descrição da parcela	Força (kN/m)	Braço de alavanca (m)
Peso próprio da barreira – seção a jusante (W1)	331,20	8,60
Peso próprio da barreira – seção central (W2)	828,00	6,30
Peso próprio da barreira – seção a montante (W3)	662,40	3,20
Pressão hidrostática 1 (PV1)	324,62	1,55
Pressão hidrostática 2 (PV2)	46,08	2,40
Pressão hidrostática 3 (PV3)	345,60	1,60

As parcelas de força horizontais e seus braços de alavanca encontram-se resumidos na tabela abaixo:

Descrição da parcela	Força (kN/m)	Braço de alavanca (m)
Pressão hidrostática 1 (PH1)	864,00	4,00
Pressão hidrostática 2 (PH2)	115,20	6,00

Os somatórios de forças e momentos encontram-se resumidos abaixo:

- O somatório de forças **verticais** calculado foi: 2.242,08 kN/m
- O somatório de forças **horizontais** calculado foi 979,20kN/m
- O somatório de forças **momentos estabilizantes** foi 11.839,82kNm/m
- O somatório de **momentos de tombamento** foi 4.147,20kNm/m

Os cálculos de estabilidade encontram-se resumidos abaixo:

- Segurança ao **tombamento**:

$$FS_{3.3} := \frac{M_{Estabilizante.3}}{M_{Tombamento.3}} = 2.85$$

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
10/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0

$$e_{0.3} := \left| \frac{M_{Estabilizante.3} - M_{Tombamento.3}}{V_{total.3}} \right| = 3.43 \text{ m}$$

$$e_{f.3} := \frac{B_{base}}{2} - e_{0.3} = 1.67 \text{ m}$$

$$\frac{B_{base}}{6} = 1.70 \text{ m}$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

➤ Segurança ao **deslizamento**:

A favor da segurança, desprezou-se a coesão entre a barreira e a fundação.

$$FS_{3.4} := \frac{\tan(\phi) \cdot V_{total.3} + c \cdot B_{base}}{H_{total.3}} = 1.60$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

➤ Capacidade de suporte da fundação:

$$\sigma_{jusante.3} := \frac{V_{total.3}}{B_{base}} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_{f.3}}{B_{base}} \right) = 435.61 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{montante.3} := \frac{V_{total.3}}{B_{base}} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_{f.3}}{B_{base}} \right) = 4.01 \text{ kPa}$$

Portanto a tensão na fundação a jusante e a montante estão abaixo da capacidade resistente do solo.

5.1.3. Cheia com preenchimento de sólidos (parte transbordante):

As parcelas de força vertical e seus braços de alavanca encontram-se resumidos na tabela abaixo:

Momentos de preenchimento de sólidos (parte transbordante)

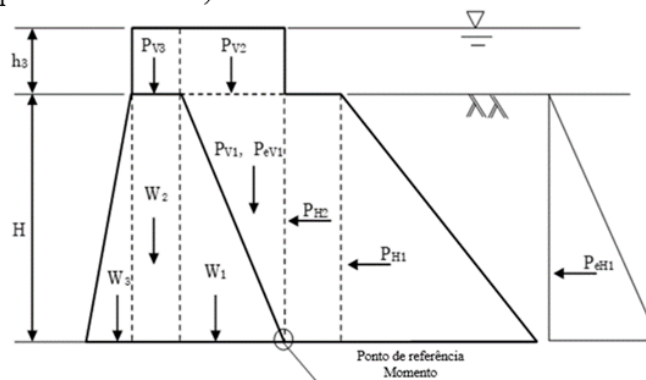


Figura 6: Esquema de forças atuantes para o caso de cheia com preenchimento de sólidos na parte transbordante.

Descrição da parcela	Força (kN/m)	Braço de alavanca (m)
Peso próprio da barreira – seção a jusante (W1)	331,20	8,60
Peso próprio da barreira – seção central (W2)	828,00	6,30
Peso próprio da barreira – seção a montante (W3)	662,40	3,20
Pressão hidrostática 1 (PV1)	28,8	6,30
Pressão hidrostática 2 (PV2)	46,08	2,40
Pressão hidrostática 3 (PV3)	345,60	1,60
Pressão de deposição de detritos (PeV1)	236,16	1,60

As parcelas de força horizontais e seus braços de alavanca encontram-se resumidos na tabela abaixo:

Descrição da parcela	Força (kN/m)	Braço de alavanca (m)
Pressão hidrostática 1 (PH1)	864,00	4,00
Pressão hidrostática 2 (PH2)	115,20	6,00
Pressão de deposição 1 (PeH1)	159,99	4,00

Os somatórios de forças e momentos encontram-se resumidos abaixo:

- O somatório de forças **verticais** calculado foi: 2.478,17kN/m
- O somatório de forças **horizontais** calculado foi 1.139,19kN/m
- O somatório de **momentos estabilizantes** foi 13.870,80kNm/m
- O somatório de **momentos de tombamento** foi 4.787,17kNm/m

Os cálculos de estabilidade encontram-se resumidos abaixo:

- Segurança ao **tombamento**:

$$FS_{4.3} := \frac{M_{Estabilizante.A}}{M_{Tombamento.A}} = 2.90$$

$$e_{0.4} := \left| \frac{M_{Estabilizante.A} - M_{Tombamento.A}}{V_{total.A}} \right| = 3.67 \text{ m}$$

$$e_{f.4} := \frac{B_{base}}{2} - e_{0.4} = 1.43 \text{ m}$$

$$\frac{B_{base}}{6} = 1.70 \text{ m}$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

- Segurança ao **deslizamento**:

A favor da segurança, desprezou-se a coesão entre a barreira e a fundação.

$$FS_{4.4} := \frac{\tan(\phi) \cdot V_{total.A} + c \cdot B_{base}}{H_{total.A}} = 1.52$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

➤ Capacidade de suporte da fundação:

$$\sigma_{jusante.A} := \frac{V_{total.A}}{B_{base}} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_{f.A}}{B_{base}} \right) = 448.00 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{montante.A} := \frac{V_{total.A}}{B_{base}} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_{f.A}}{B_{base}} \right) = 37.92 \text{ kPa}$$

Portanto a tensão na fundação a jusante e a montante estão abaixo da capacidade resistente do solo.

5.1.4. Fluxo de detritos (parte não transbordante):

As parcelas de força vertical e seus braços de alavanca encontram-se resumidos na tabela abaixo:

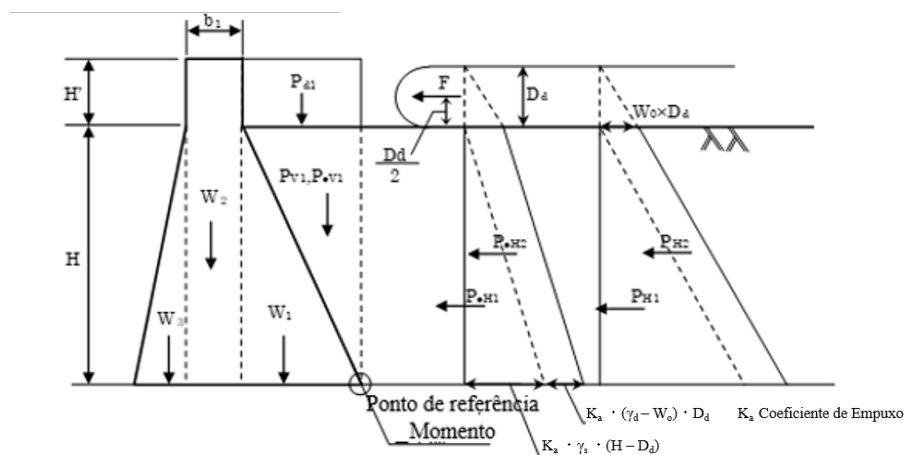


Figura 7: Esquema de forças atuantes para o caso de fluxo de detritos na parte não transbordante.

Descrição	Força (kN/m)	Braço de alavanca (m)
Peso próprio da barreira – seção a jusante (W1)	331,20	8,60
Peso próprio da barreira – seção central (W2)	828,00	6,30
Peso próprio da barreira – seção a montante (W3)	662,40	3,20
Peso próprio da barreira – asa (W4)	207,00	6,30

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
14/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0

Pressão hidrostática (PV1)	345,60	1,60
Pressão de deposição de detritos (PeV1)	236,16	1,60
Peso do fluxo de detritos 1 (Pd1)	34,29	2,40

As parcelas de força horizontais e seus braços de alavanca encontram-se resumidos na tabela abaixo:

Descrição da parcela	Força (kN/m)	Braço de alavanca (m)
Pressão de deposição 1 (PeH1)	159,99	4,00
Pressão de deposição 2 (PeH2)	9,87	6,00
Pressão hidrostática 1 (PH1)	864,00	4,00
Pressão hidrostática 2 (PH2)	53,28	6,00
Fluxo de detrito (PF)	6,13	12,19

Os somatórios de forças e momentos encontram-se resumidos abaixo:

- O somatório de forças **verticais** calculado foi: 2.644,65kN/m
- O somatório de forças **horizontais** calculado foi 1.093,27kN/m
- O somatório de **momentos estabilizantes** foi 14.473,85kNm/m
- O somatório de **momentos de tombamento** foi 4.549,51kNm/m

Os cálculos de estabilidade encontram-se resumidos abaixo:

- Segurança ao **tombamento**:

$$FS_{5.3} := \frac{M_{Estabilizante.5}}{M_{Tombamento.5}} = 3.18$$

$$e_{0.5} := \left| \frac{M_{Estabilizante.5} - M_{Tombamento.5}}{V_{total.5}} \right| = 3.75 \text{ m}$$

$$e_{f.5} := \frac{B_{base}}{2} - e_{0.5} = 1.35 \text{ m}$$

$$\frac{B_{base}}{6} = 1.70 \text{ m}$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
15/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0➤ Segurança ao **deslizamento**:

A favor da segurança, desprezou-se a coesão entre a barreira e a fundação.

$$FS_{5.4} := \frac{\tan(\phi) \cdot V_{total.5} + c \cdot B_{base}}{H_{total.5}} = 1.69$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

➤ Capacidade de suporte da fundação:

$$\sigma_{jusante.5} := \frac{V_{total.5}}{B_{base}} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_{f.5}}{B_{base}} \right) = 464.78 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{montante.5} := \frac{V_{total.5}}{B_{base}} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_{f.5}}{B_{base}} \right) = 53.78 \text{ kPa}$$

Portanto a tensão na fundação a jusante e a montante estão abaixo da capacidade resistente do solo.

6. CALHA DE DISSIPAÇÃO

A geometria da calha de dissipação utilizada nos cálculos encontra-se nas imagens abaixo:

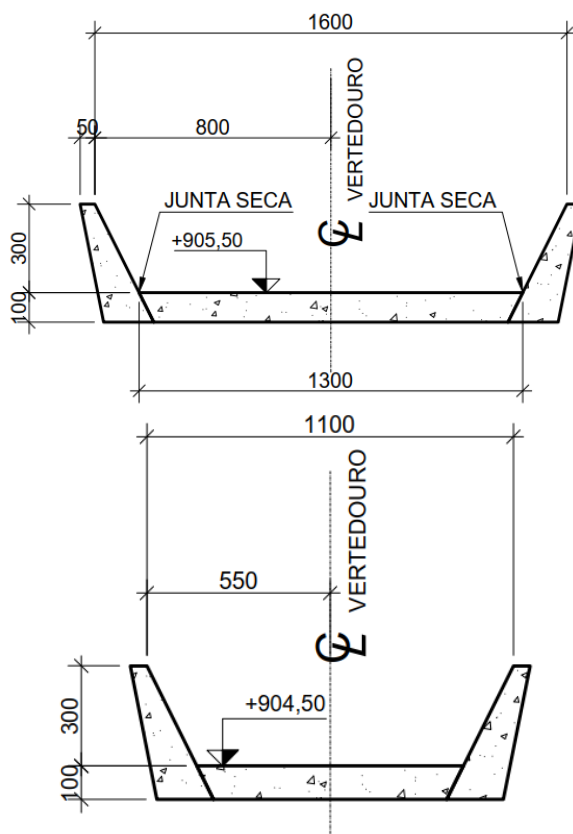


Figura 8: Desenhos da calha de dissipação.

A favor da segurança foram consideradas as seguintes situações:

- Calha cheia de água sem empuxo de terra.
- Empuxo de terra sem nenhum empuxo de água.

O resumo do cálculo da estabilidade das paredes laterais encontra-se a seguir:

- O somatório de forças **verticais** calculado foi: 101,20kN/m
- O somatório de forças **horizontais** calculado foi 54,00kN/m
- O somatório de **momentos estabilizantes** foi 166,98kNm/m
- O somatório de **momentos de tombamento** foi 54,00kNm/m

Os cálculos de estabilidade encontram-se resumidos abaixo:

- Segurança ao **tombamento**:

$$FS_2 := \frac{M_{Estabilizante}}{M_{Tombamento.Agua}} = 3.092$$

$$e_0 := \frac{M_{Estabilizante} - M_{Tombamento.Agua}}{W} = 1.116 \text{ m}$$

$$e_f := e_0 - \frac{170 \text{ cm}}{2} = 0.266 \text{ m}$$

$$\frac{170 \text{ cm}}{6} = 0.283 \text{ m}$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

- Segurança ao **deslizamento**:

A favor da segurança, desprezou-se a coesão entre a barreira e a fundação.

$$FS_{2A} := \frac{\tan(\phi) \cdot W}{P_H} = 1.312$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
18/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0➤ Capacidade de **suporte da fundação**:

$$\sigma_{jusante.2} := \frac{W}{170 \text{ cm}} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_f}{B_{base}} \right) = 68.858 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{montante.2} := \frac{W}{170 \text{ cm}} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_f}{170 \text{ cm}} \right) = 3.557 \text{ kPa}$$

Portanto a tensão na fundação a jusante e a montante estão abaixo da capacidade resistente do solo.

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
19/21

Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001

REVISÃO
0

7. PAREDE VERTICAL

A geometria da parede vertical utilizada nos cálculos encontra-se nas imagens abaixo:

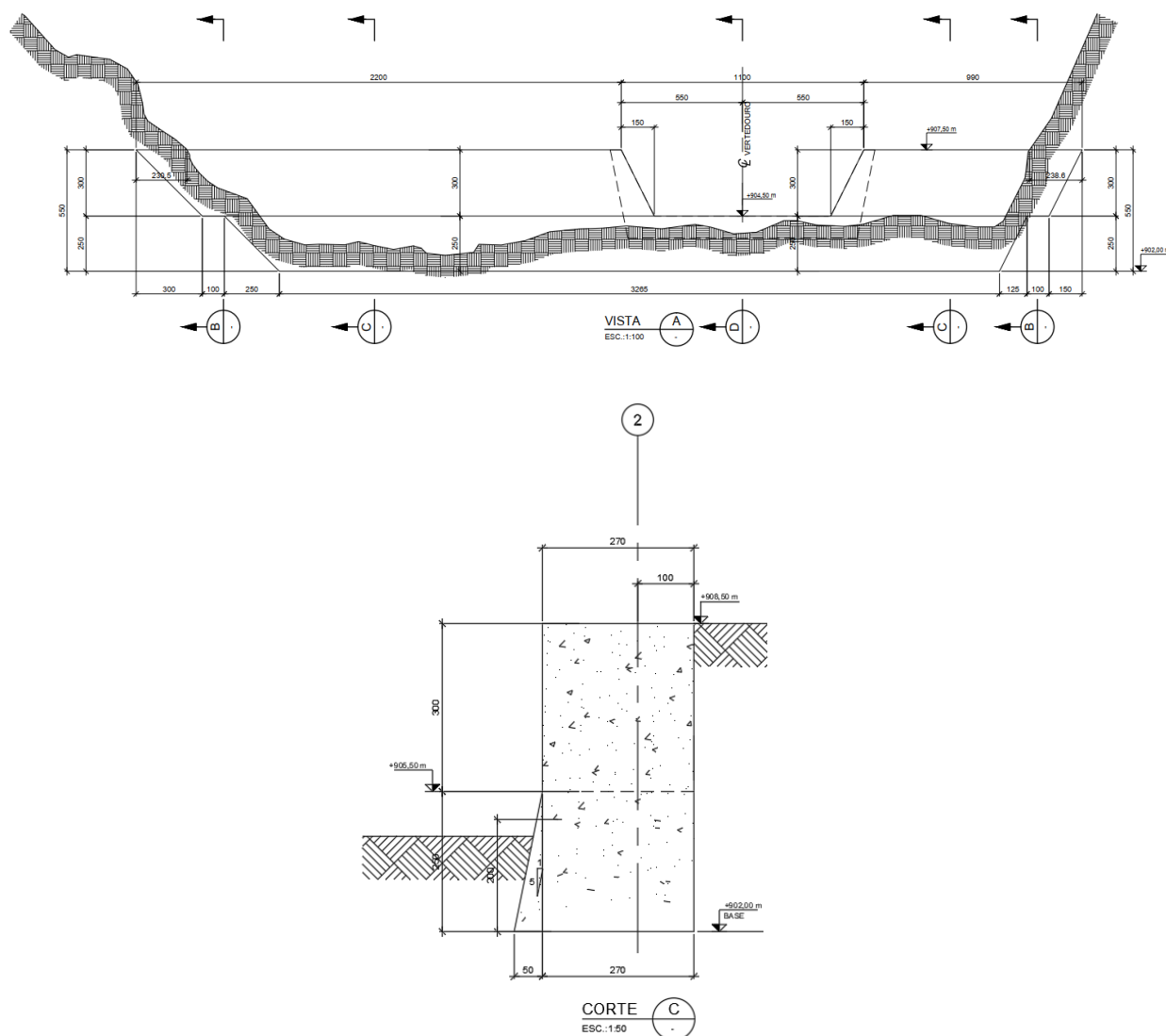


Figura 9 - Desenhos da parede vertical.

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
20/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0

A favor da segurança foi desconsiderado o empuxo de terra na parte enterrada a jusante.

- O somatório de forças **verticais** calculado foi: 367,21kN/m
- O somatório de forças **horizontais** calculado foi 73,78kN/m
- O somatório de **momentos estabilizantes** foi 538,03kNm/m
- O somatório de **momentos de tombamento** foi 135,26kNm/m

Os cálculos de estabilidade encontram-se resumidos abaixo:

- Segurança ao **tombamento**:

$$FS_2 := \frac{M_{Estabilizante}}{M_{Tombamento}} = 3.963$$

$$e_0 := \frac{M_{Estabilizante} - M_{Tombamento}}{F_V} = 1.091 \text{ m}$$

$$e_f := \frac{B}{2} - e_0 = 0.509 \text{ m}$$

$$\frac{B}{6} = 0.533 \text{ m}$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

- Segurança ao **deslizamento**:

A favor da segurança, desprezou-se a coesão entre a barreira e a fundação.

$$FS_{2A} := \frac{\tan(\phi) \cdot F_V}{P_T} = 3.485$$

Portanto a estrutura apresenta segurança ao tombamento superior ao estabelecido pela norma.

Memorial de cálculo da barreira impermeável em Nova Friburgo

Nº CLIENTE.:

PÁGINA
21/21Nº TECTON.:
CP03-4-CO-MC-0001REVISÃO
0➤ Capacidade de **suporte da fundação**:

$$\sigma_{jusante.2} := \frac{F_V}{B} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_f}{B} \right) = 224.186 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{montante.2} := \frac{F_V}{B} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_f}{B} \right) = 5.32 \text{ kPa}$$

Portanto a tensão na fundação a jusante e a montante estão abaixo da capacidade resistente do solo.

8. CONCLUSÃO

Portanto, a estrutura da barreira SABO em Nova Friburgo atende aos requisitos de segurança estabelecidos pelas normas em questão.

Augusto Cláudio Paiva e Silva
Engenheiro Civil
CREA/RJ 1972100418