



NOVACAP

COMPANHIA URBANIZADORA DA
NOVA CAPITAL DO BRASIL

Projeto Executivo – Barragem relativo aos lançamentos finais já existentes e propostos do Sistema de Drenagem Pluvial da cidade de Taguatinga, RA III – DF

BARRAGEM 02 – ESTUDO GEOTÉCNICO

TP 067/2009 – ASCAL/PRES

Brasília - DF
AGOSTO / 2010

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	ELEMENTOS DE REFERÊNCIA.....	6
3.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	6
4.	PARÂMETROS ADOTADOS	9
5.	RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE	10
5.1	SEÇÃO DE ALTURA MÁXIMA DO BARRAMENTO.....	11
a.	Análise de estabilidade para a Barragem 2 (fase final de construção).....	11
b.	Análise de estabilidade para a barragem 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo)	12
c.	Análise de estabilidade para o barramento DP4 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório)	15
5.2	SEÇÃO PRÓXIMA AS OMBREIRAS DO BARRAMENTO.....	17
a.	Análise de estabilidade para o barramento DP4 (fase final de construção) ..	17
b.	Análise de estabilidade para o barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo)	19
c.	Análise de estabilidade para o barramento DP4 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório)	21
6.	ANÁLISE DE RECALQUES	24
a.	Análise de recalques para a barragem 2 e galeria de concreto.....	24
7.	CAPACIDADE DE CARGA E CARGA ADMISSÍVEL	26
8.	FLUXO E PERCOLAÇÃO	28
9.	CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS	29
10.	ANEXO A.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seção transversal considerada para os estudos geotécnicos realizados. ..	8
Figura 2: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase final de construção).....	11
Figura 3: Superfície crítica de ruptura – FS _{min} do talude de montante da barragem 2 (fase final de construção).	12
Figura 4: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de jusante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase de operação com reservatório em nível máximo)	13
Figura 5: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase de operação com reservatório em nível máximo).	13
Figura 6: Superfície crítica de ruptura – FS _{min} do talude de jusante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo).....	14
Figura 7: Superfície crítica de ruptura – FS _{min} do talude de montante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo).....	14
Figura 8: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório).....	15
Figura 9: Superfície crítica de ruptura – FS _{min} do talude de montante do barramento 2 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório).....	16
Figura 10: Superfície crítica de ruptura – FS _{min} do talude de montante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo), considerando a substituição parcial do Solo A.	17
Figura 11: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase final de construção).	18
Figura 12: Superfície crítica de ruptura – FS _{min} do talude de montante do barramento 2 (fase final de construção).	18

Figura 13: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de jusante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase de operação com reservatório em nível máximo)	19
Figura 14: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase de operação com reservatório em nível máximo).	19
Figura 15: Superfície crítica de ruptura – FS_{min} do talude de jusante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo).....	20
Figura 16: Superfície crítica de ruptura – FS_{min} do talude de montante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo).	20
Figura 17: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de jusante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório).....	21
Figura 18: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório)	22
Figura 19: Superfície crítica de ruptura – FS_{min} do talude de jusante do barramento 2 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório).....	22
Figura 20: Superfície crítica de ruptura – FS_{min} do talude de montante do barramento 2 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório).....	23
Figura 21: Superfície crítica de ruptura – FS_{min} do talude de montante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo), considerando a substituição parcial do Solo A.	24
Figura 22: Dados de entrada para a verificação de recalques da barragem 2.....	25
Figura 23: Linha freática resultante das análises de percolação da barragem 2.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros adotados para fase de fim de construção	9
Tabela 2: Parâmetros adotados para fase de operação e de rebaixamento rápido de N.A.	9
Tabela 3: Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.	10
Tabela 4: Recalques elásticos, por adensamento e total barragem 2.....	25
Tabela 5: Deformações cisalhantes da barragem 2.....	26
Tabela 6: Fatores de capacidade de carga.....	27
Tabela 7: Capacidade de carga e carga admissível do solo de fundação da barragem 2 e da galeria de concreto.....	27
Tabela 8: Parâmetros adotados nas análises de fluxo e percolação através da barragem 2.....	28

1. INTRODUÇÃO

Este relatório tem por objetivo apresentar os resultados dos estudos geotécnicos de estabilidade, de recalques, de capacidade de carga e de percolação de água para a Barragem 2. A barragem em questão tem a finalidade de contenção de enchentes no município de Taguatinga-DF.

2. ELEMENTOS DE REFERÊNCIA

Utilizaram-se como ferramentas de auxílio no desenvolvimento do presente documento o levantamento planialtimétrico da área de interesse, os estudos hidrológicos e hidráulicos contendo a cota máxima de inundação, a área alagada e a localização do eixo longitudinal da barragem, informações coletas durante vistoria técnica realizado por engenheiro especializado e as sondagens a percussão realizadas ao longo do trecho em questão (SP-17 a SP-23) pela empresa DANILLO OLIVIER Sondagens, Fundações Especiais, Consultoria, Cálculo e Reforço Estrutural.

3. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O projeto visa melhorar as condições de drenagem e promover o controle de cheias por meio de um barramento construído com solo compactado. Esta barragem tem a finalidade controlar cheias e transformar uma vazão de pico, que ocorreria na seção do rio se o barramento não fosse construído (vazão afluente), em uma vazão atenuada (vazão efluente), que poderá escoar através das seções a jusante, sem maiores conseqüências para a região.

O local pretendido para a implantação da obra trata-se de uma várzea com taludes inclinados junto as ombreiras da barragem. A jusante do local da implantação do eixo da barragem, à aproximadamente 150,0 metros, estão localizadas uma linha do metro e uma via rodoviária. Estas obras existentes apresentam problemas de alagamento durante as cheias do rio.

Para a implantação da Barragem 2 é pretendido a construção de uma barragem de terra homogênea. A barragem apresenta altura máxima de 4,5 metros e extensão

aproximada de 100,0 metros. Os taludes de jusante e montante foram previamente dimensionado com inclinação 2,5:1 (h:v) e a crista com 6,0 m de largura.

A geometria final da barragem será objeto de análises de estabilidade, recalques, capacidade de carga da fundação e percolação no presente documento, além da realização de verificações adicionais considerando às diferentes etapas construtivas.

Na região de interesse foram executadas sondagens a percussão, com medidas de SPT, para avaliar as características de resistência do solo. Essas investigações foram realizadas pela empresa DANILLO OLIVIER Sondagens, Fundações Especiais, Consultoria, Cálculo e Reforço Estrutural e os boletins são apresentadas no Anexo A deste documento.

As sondagens realizadas ao longo do trecho onde será realizada a construção da Barragem 2 permitiram visualizar que o solo local apresenta intensa heterogeneidade em relação a resistência a penetração. É possível notar a presença de solo mole ($N = 2$ golpes), em toda a extensão de estudo. Normalmente esta camada encontra-se próxima a superfície do terreno natural, e se estende por uma profundidade variável de 2 a 5 m, abaixo desta camada verifica-se a existência de material argiloso com N_{spt} crescente com a profundidade (valores entre 4 e 15). Nos últimos metros das sondagens é possível observar a presença de material argila / areia com N_{spt} variando entre 20 e 50. O nível de água encontra-se próximo a superfície do terreno natural.

A seguir apresenta-se a seção transversal considerada nas análises de estabilidade, de recalques, de capacidade de carga, e de percolação e que foi baseada no projeto geométrico.

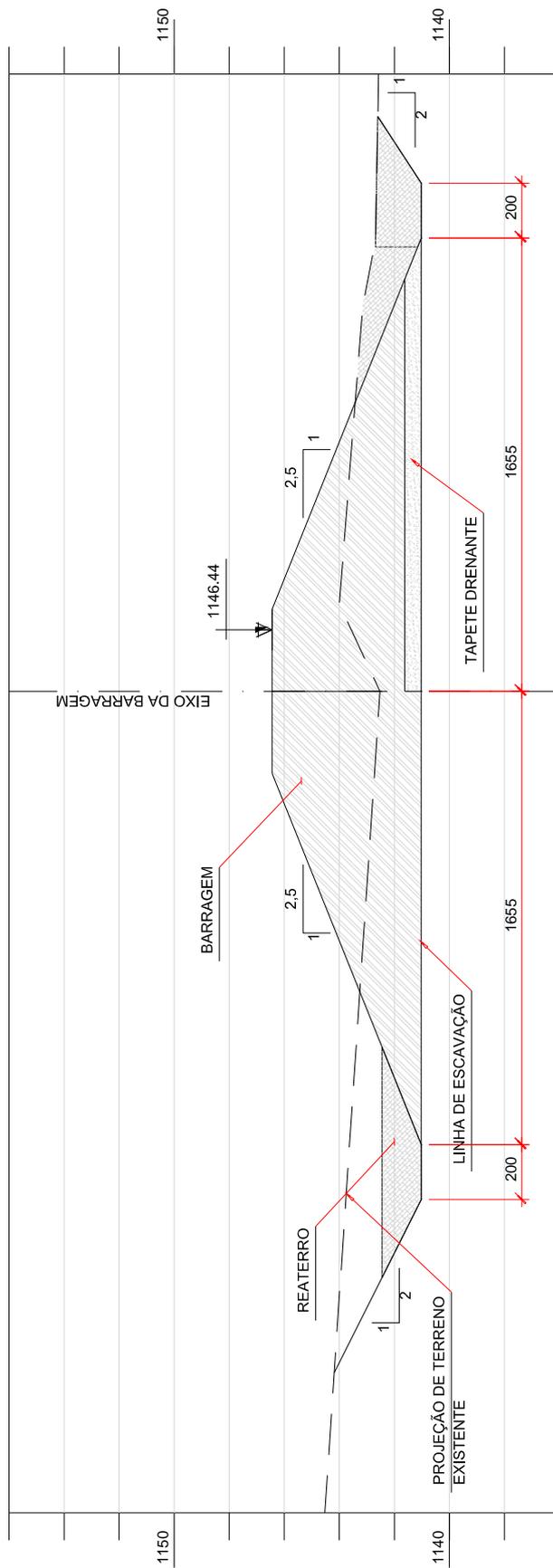


Figura 1: Seção transversal considerada para os estudos geotécnicos realizados.

4. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos. Os pesos específicos dos solos, os parâmetros efetivos de resistência e os parâmetros elásticos para os cálculos de estabilidade e recalques imediatos, adotados para a Barragem 2 são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Parâmetros adotados para fase de fim de construção

Solo	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	E_s (kN/m ²)	ν
A	16	15	0	3.500	0.34
B	16	20	0	4.600	0.33
C	18	0	28	15.000	0.31
D	21	0	32	27.000	0.27
Aterro	18	10	30	18.000	0.30

Legenda: c – Coesão efetiva; ϕ – - Ângulo de atrito efetivo do solo; γ – Peso específico natural; E_s – Módulo de elasticidade; ν – coeficiente de Poisson.

Tabela 2: Parâmetros adotados para fase de operação e de rebaixamento rápido de N.A.

Solo	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	E_s (kN/m ³)	ν
A	16	0	25	8.200	0.32
B	18	0	28	15.000	0.31
C	21	0	32	27.000	0.27
Aterro	18	10	30	18.000	0.30

Legenda: c – Coesão efetiva; ϕ – - Ângulo de atrito do solo; γ – Peso específico natural; E_s – Módulo de elasticidade; ν – coeficiente de Poisson.

No Solo A da seção do barramento ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir os parâmetros geotécnicos de interesse para a estimativa dos recalques. A Tabela 3 apresenta os valores adotados.

Tabela 3: Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

Solo	$C_c/1+e_0$	$C_r/1+e_0$
A	0,180	0,018

Legenda: C_c – índice de compressão do solo; C_r - índice de recompressão do solo; e_0 – Índice de vazios inicial.

5. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Para o processamento das análises utilizou-se o software Slope/W for slope stability analysis, elaborado pela Geo-Slope International, Alberta, Canadá, que analisa simultaneamente os métodos de Fellenius, Bishop e Janbu. As análises foram realizadas considerando superfícies circulares de ruptura.

As análises geotécnicas de estabilidade foram processadas para as seções consideradas mais críticas em relação ao escorregamento, neste caso, a seção de altura máxima localizada na região central do barramento e para as seções próximas as ombreiras. Para estas análises as seguintes situações foram consideradas: a) fase final de construção; b) fase de operação com o reservatório em nível máximo; e c) rebaixamento rápido do nível de água do reservatório. A seguir serão apresentados os resultados obtidos para cada seção transversal analisada.

Os fatores de segurança (F.S) adotados neste projeto seguem as recomendações do ICOLD (International Commission of Large Dams) conforme descrito a seguir. Para a fase final de construção o valor de referencia para o F.S é igual ou superior a 1.3. Para a fase final de construção de 1.5. E para o caso de rebaixamento rápido de N.A de 1.3. Neste estudo, face a finalidade do projeto, que é de contenção de cheias, adotou-se um valor de $F.S \geq 1.5$, uma vez que a barragem estará sujeita a constantes variações de N.A.

Destaca-se ainda, que na realização das analises, foi adotado uma sobrecarga, refletindo o trafego de veículos sobre a barragem 2, com o valor de 20 kPa.

5.1 SEÇÃO DE ALTURA MÁXIMA DO BARRAMENTO

a. Análise de estabilidade para a Barragem 2 (fase final de construção)

A Figura 2 apresenta a geometria, os horizontes de solo e as malhas de centros e raios dos círculos de ruptura utilizados no processo de cálculo computacional referente à barragem 2 na fase final de construção. Devido à simetria do problema, nesta fase, serão apresentadas apenas as análises do talude de montante do barramento.

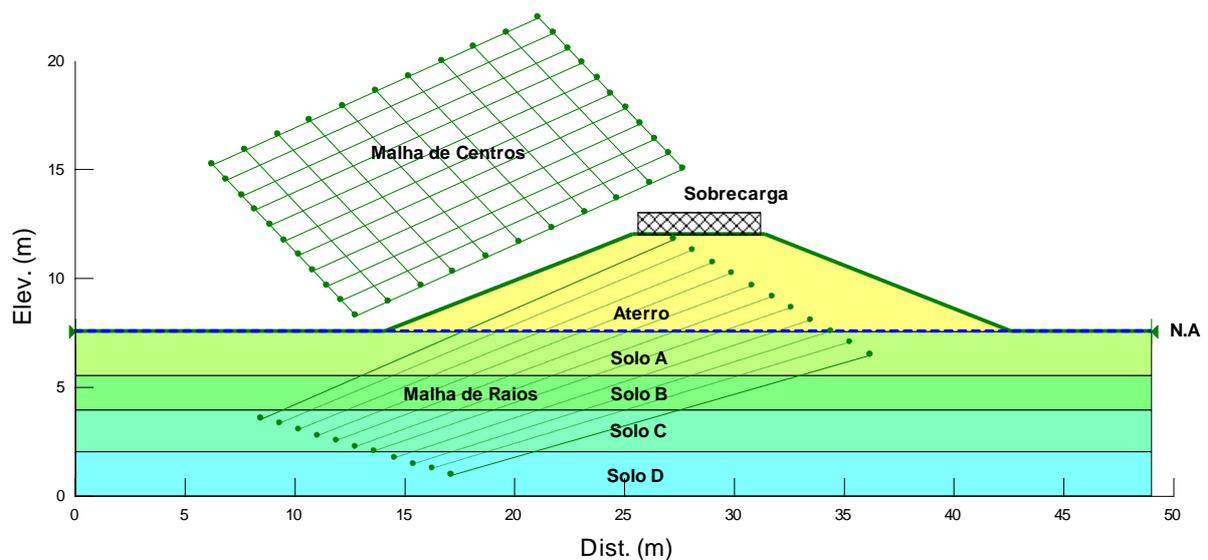


Figura 2: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase final de construção).

Foram verificadas 4096 superfícies potenciais de ruptura, das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura no barramento 2 para o talude de montante pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentada na Figura 3.

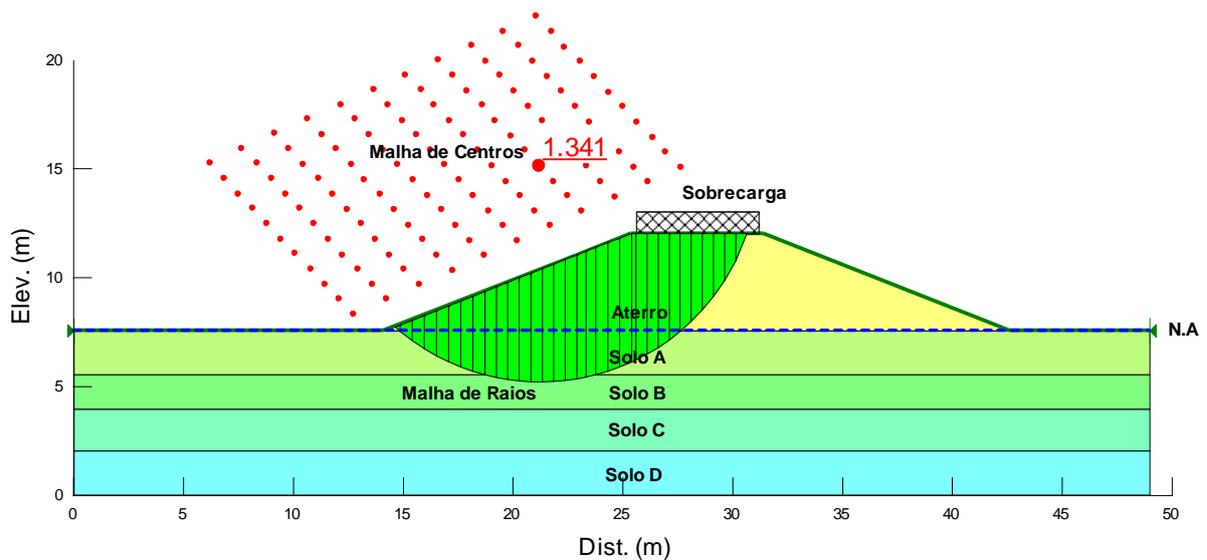


Figura 3: Superfície crítica de ruptura – FSmin do talude de montante da barragem 2 (fase final de construção).

A partir da Figura 3 observa-se que o fator de segurança (FS) obtido nesta análise foi de 1,341, para os taludes de jusante e montante, satisfazendo o critério de estabilidade do talude ($FS \geq 1,30$).

Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

b. Análise de estabilidade para a barragem 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo)

As Figuras 4 e 5 apresentam a geometria, os horizontes de solo e as malhas de centros e raios dos círculos de ruptura utilizados no processo de cálculo computacional referente a barragem 2 em fase de operação com reservatório em nível máximo.

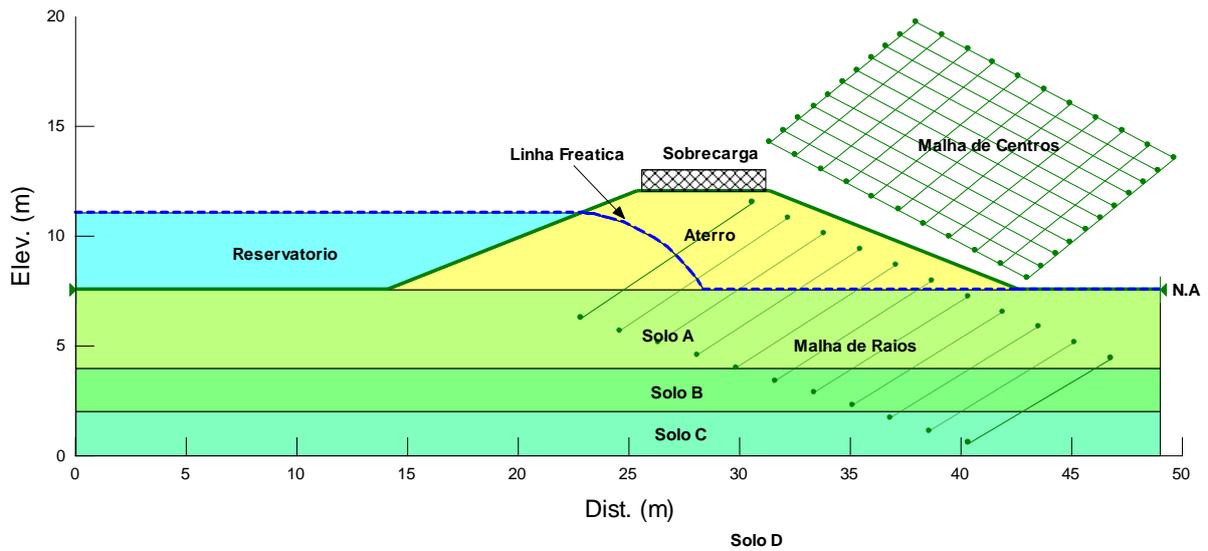


Figura 4: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de jusante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase de operação com reservatório em nível máximo)

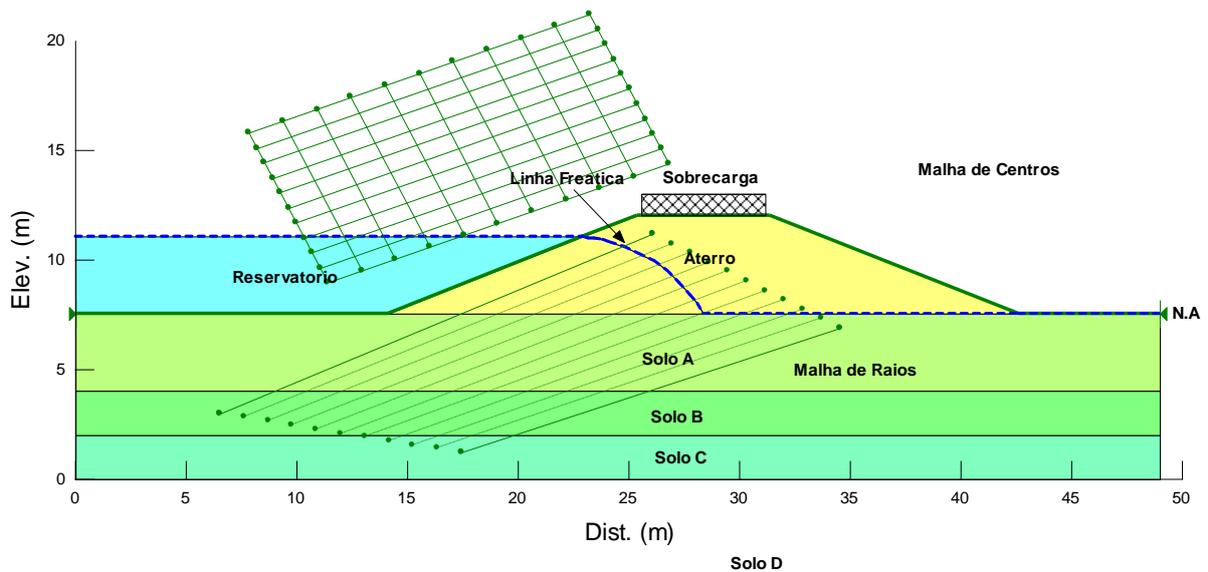


Figura 5: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase de operação com reservatório em nível máximo).

Foram verificadas 4096 superfícies potenciais de ruptura, das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura no barramento 2 para os taludes de jusante e montante pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentadas nas Figuras 6 e 7.

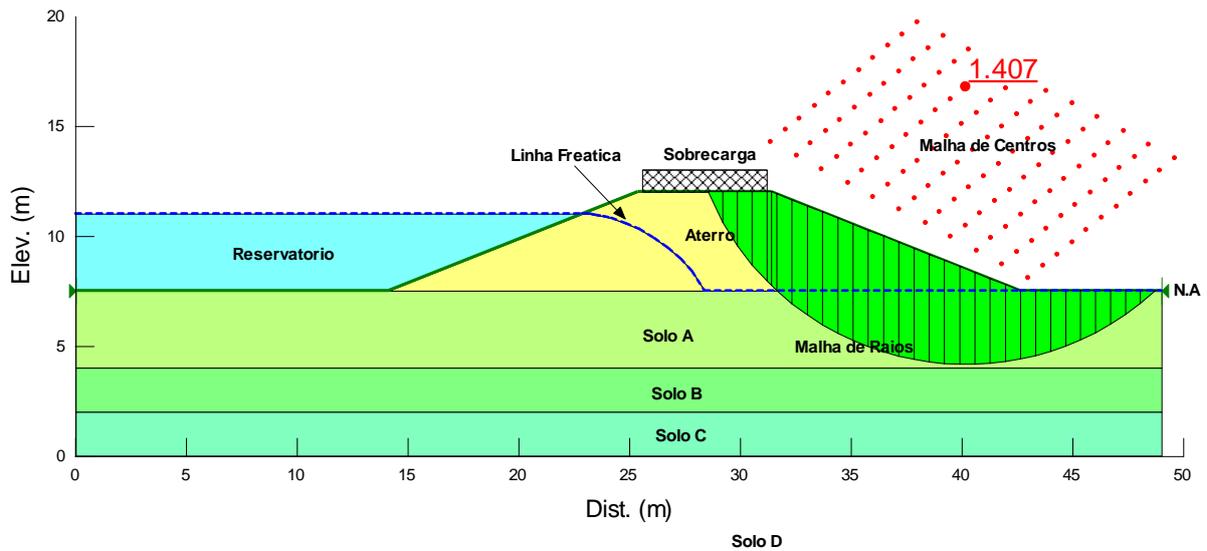


Figura 6: Superfície crítica de ruptura – FSmin do talude de jusante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo).

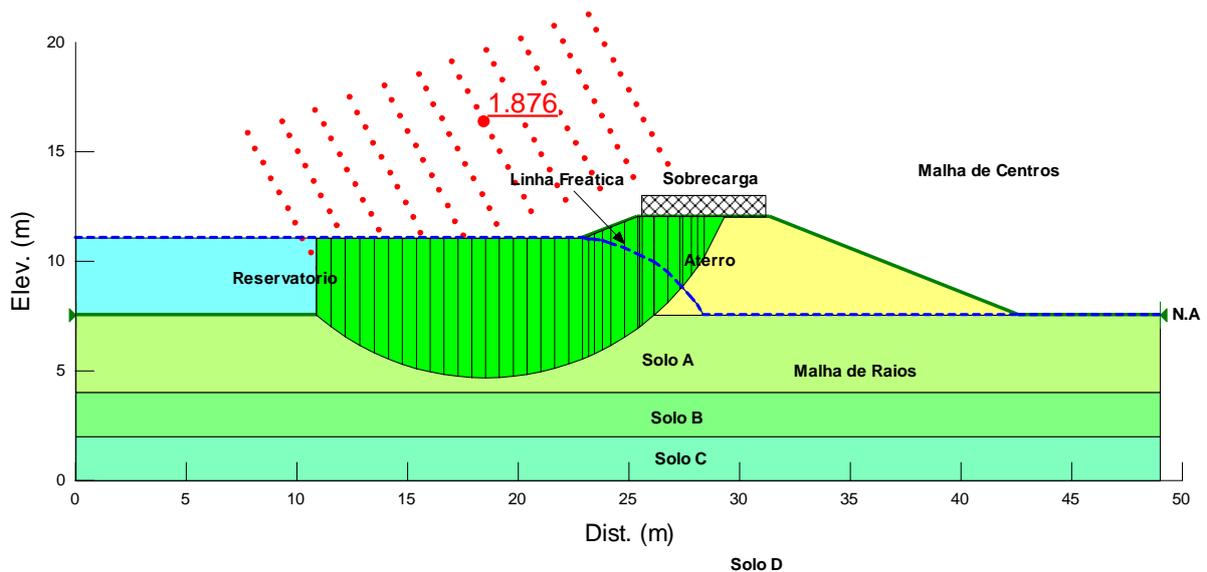


Figura 7: Superfície crítica de ruptura – FSmin do talude de montante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo).

A partir das Figuras 6 e 7 observa-se que os fatores de segurança (FS) obtidos nestas análises foram de 1,407 e 1,876, respectivamente, para os taludes de jusante e montante, o que não satisfaz o critério de estabilidade ($FS \geq 1,50$).

Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade insatisfatória para o talude de jusante.

c. Análise de estabilidade para o barramento DP4 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório)

A Figura 8 apresenta a geometria, os horizontes de solo e as malhas de centro e raio dos círculos de ruptura utilizados no processo de cálculo computacional referente ao barramento 2 para uma situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório.

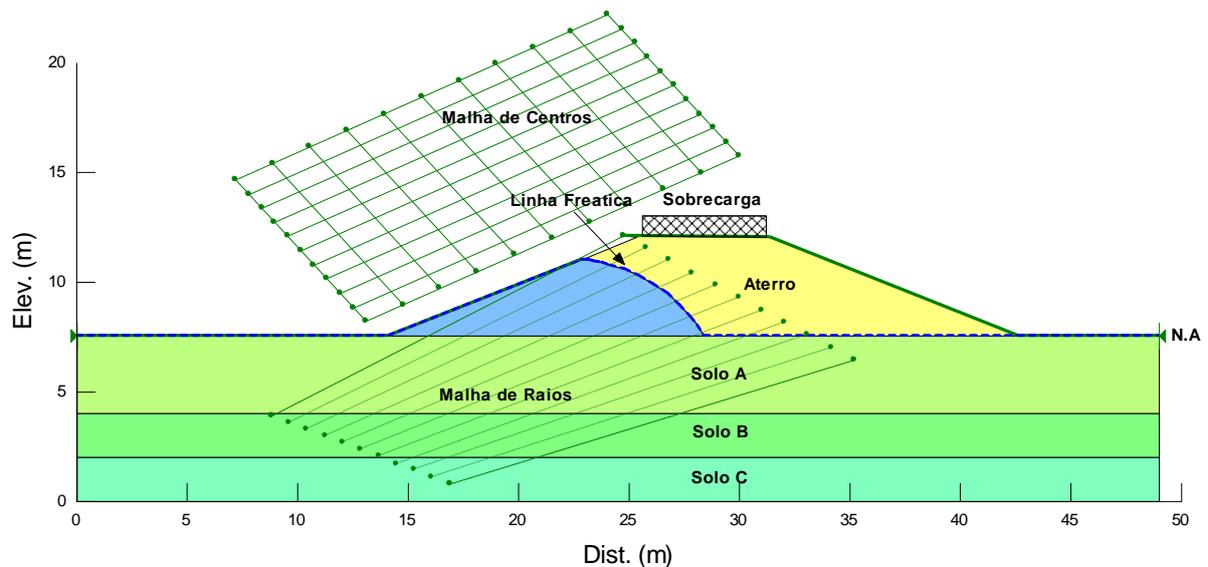


Figura 8: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório)

Foram verificadas 4096 superfícies potenciais de ruptura, das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura na barragem 2 para o talude de montante pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentada na Figura 9.

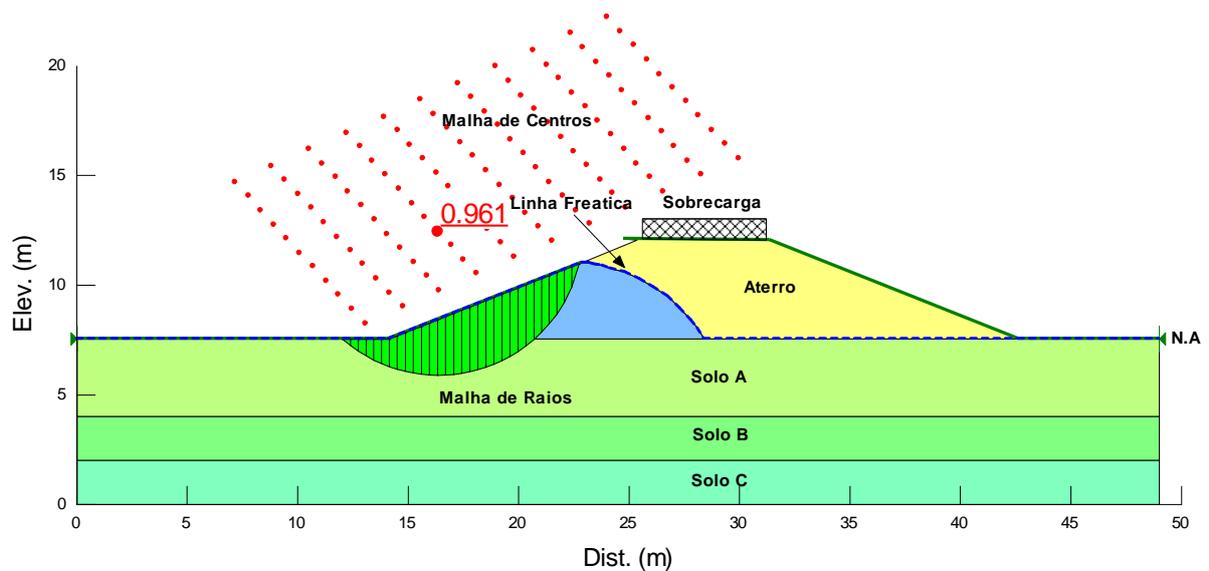


Figura 9: Superfície crítica de ruptura – FS_{\min} do talude de montante do barramento 2 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório).

A partir da Figura 9 observa-se que o fator de segurança (FS) obtido nesta análise foi de 0.961 para o talude de montante, não satisfazendo o critério de estabilidade do talude ($FS \geq 1,50$).

Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade insatisfatória.

Como medida estabilizadora, sugere-se a remoção parcial da camada de solo mole (A) e sua substituição por material de melhor qualidade (mesmo que a do aterro do barramento). Para uma primeira aproximação a altura estimada de substituição é de 1.5 m.

A Figura 10 apresenta os resultados da análise de estabilidade, para o talude de montante do barramento (instável conforme apresentado nas análises anteriores), considerando-se a substituição parcial do Solo A.

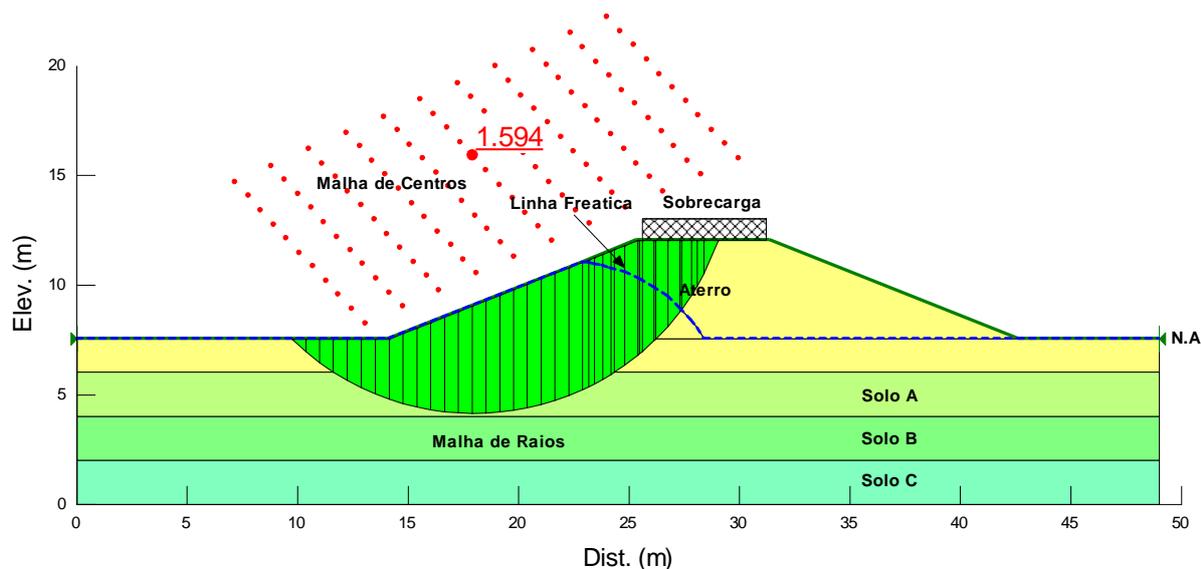


Figura 10: Superfície crítica de ruptura – FS_{\min} do talude de montante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo), considerando a substituição parcial do Solo A.

A partir da Figura 10 observa-se que o fator de segurança (FS) obtido nesta análise foi de 1,594, para o talude de jusante, satisfazendo o critério de estabilidade do talude ($FS \geq 1,50$).

Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória, considerando-se a substituição de 1,5m da camada de solo A.

5.2 SEÇÃO PRÓXIMA AS OMBREIRAS DO BARRAMENTO

a. Análise de estabilidade para o barramento DP4 (fase final de construção)

A Figura 11 apresenta a geometria, os horizontes de solo e as malhas de centros e raios dos círculos de ruptura utilizados no processo de cálculo computacional referente a barragem 2 na fase final de construção. Devido a simetria do problema, nesta fase, serão apresentadas apenas as análises do talude de montante da barragem. Destaca-se ainda, que o Solo nomeado como AB, é um solo intermediário entre o Solo A e B, apresentado na seção anterior. Este solo apresenta os mesmo parâmetros (peso específico e ângulo de atrito) do solo A e B com exceção do valor de sua coesão, que em função de ser crescente com a profundidade, foi tomado com o valor de 17,5 kPa.

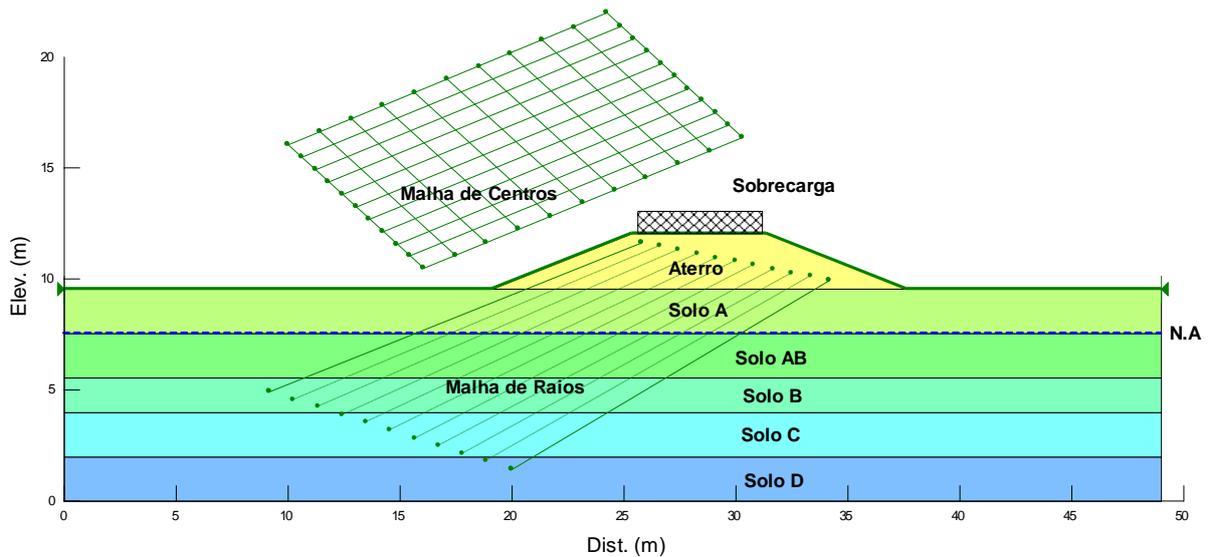


Figura 11: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase final de construção).

Foram verificadas 4096 superfícies potenciais de ruptura, das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura no barramento 2 para os taludes de jusante e montante pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentada na Figura 12.

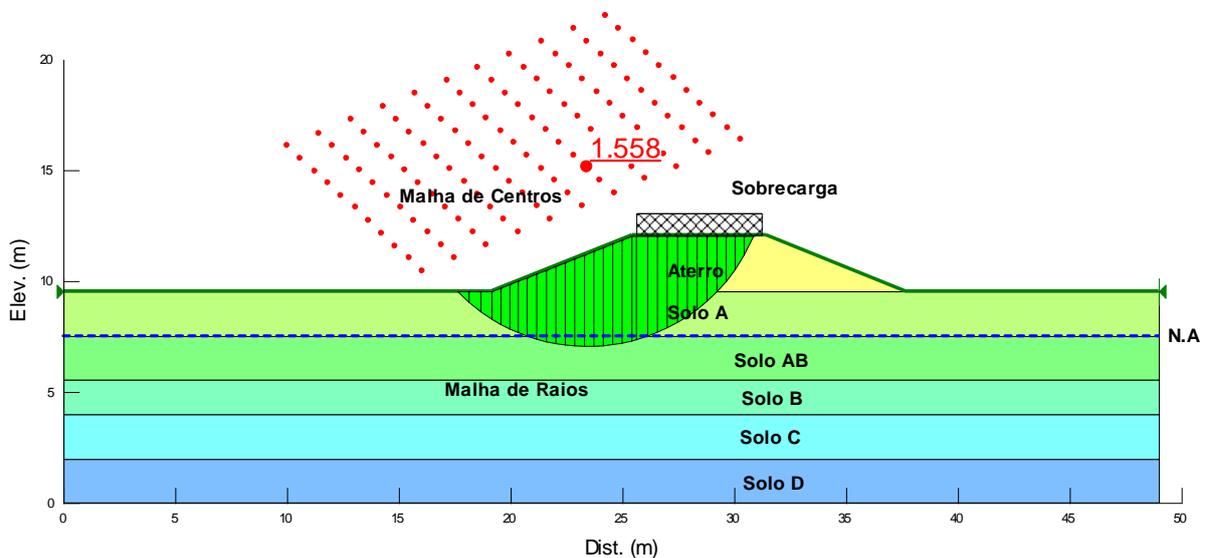


Figura 12: Superfície crítica de ruptura – FS_{\min} do talude de montante do barramento 2 (fase final de construção).

A partir da Figura 12 observa-se que o fator de segurança (FS) obtido nesta análise foi de 1,558, para os taludes de jusante e montante, satisfazendo o critério de estabilidade do talude ($FS \geq 1,30$).

Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória

b. Análise de estabilidade para o barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo)

As Figuras 13 e 14 apresentam a geometria, os horizontes de solo e as malhas de centros e raios dos círculos de ruptura utilizados no processo de cálculo computacional referente ao barramento 2 em fase de operação com reservatório em nível máximo.

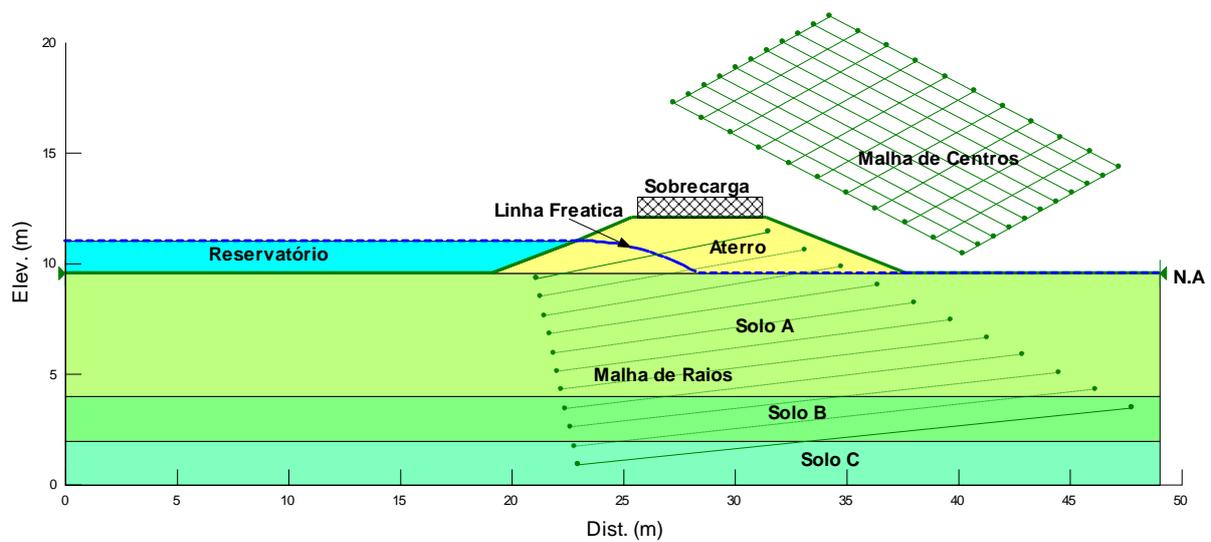


Figura 13: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de jusante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase de operação com reservatório em nível máximo)

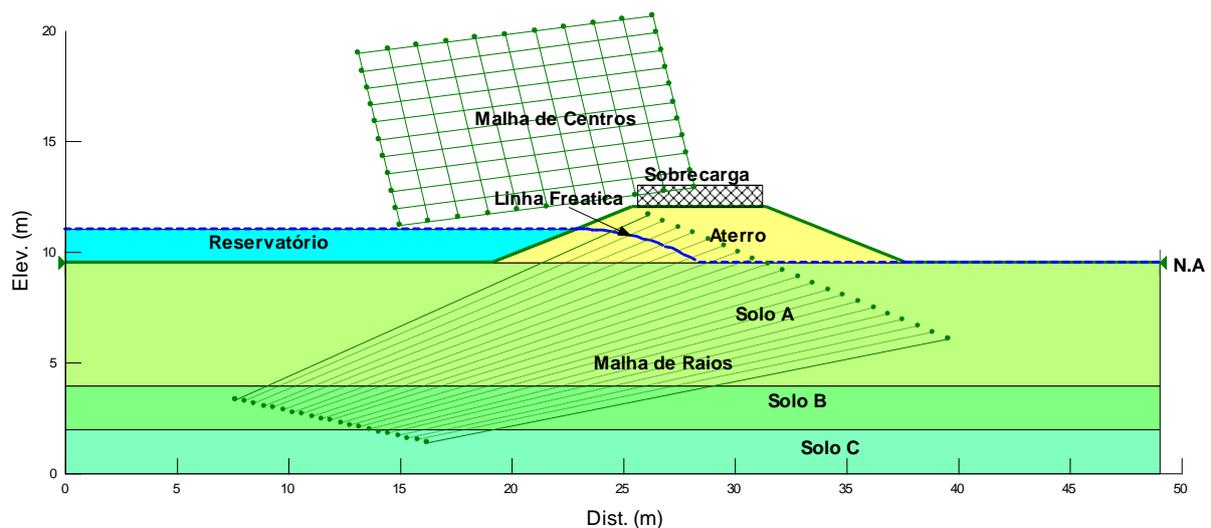


Figura 14: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (fase de operação com reservatório em nível máximo).

Foram verificadas 4096 superfícies potenciais de ruptura, das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura no barramento 2 para os taludes de jusante e montante pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentadas nas Figuras 15 e 16.

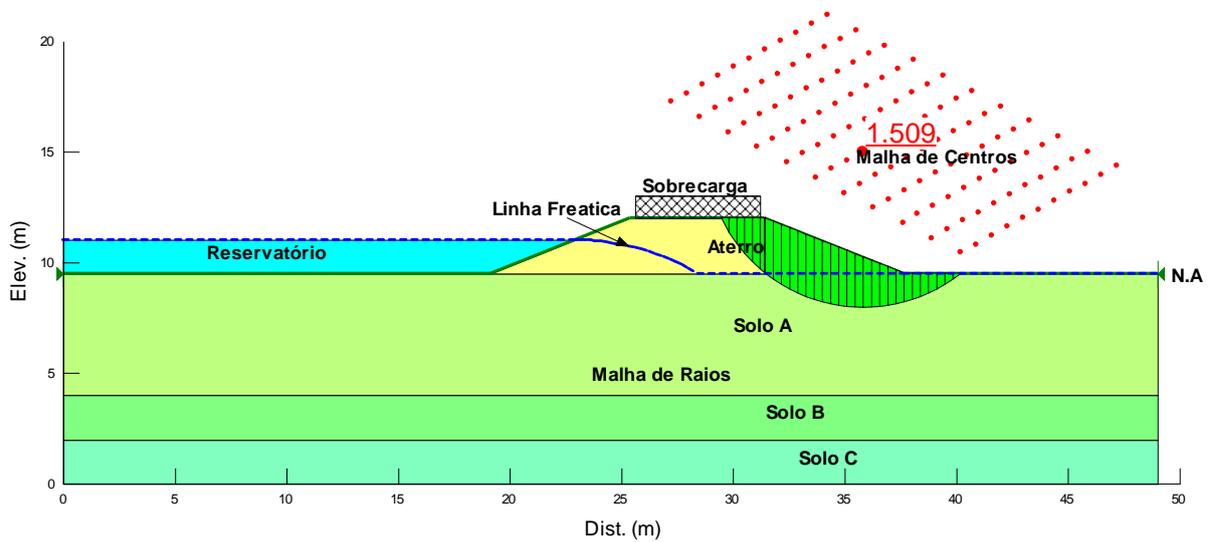


Figura 15: Superfície crítica de ruptura – FSmin do talude de jusante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo).

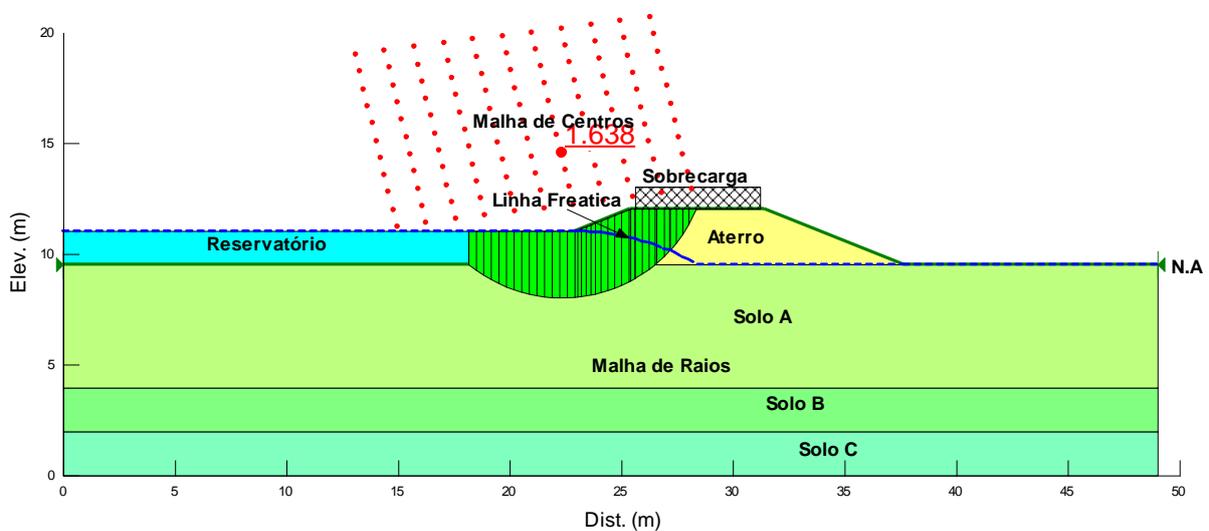


Figura 16: Superfície crítica de ruptura – FSmin do talude de montante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo).

A partir das Figuras 15 e 16 observa-se que os fatores de segurança (FS) obtidos nestas análises foram de 1,509 e 1,638, respectivamente, para os taludes de jusante e montante, satisfazendo o critério de estabilidade do talude ($FS \geq 1,50$).

Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

c. Análise de estabilidade para o barramento DP4 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório)

As Figuras 17 e 18 apresentam a geometria, os horizontes de solo e as malhas de centros e raios dos círculos de ruptura utilizados no processo de cálculo computacional referente ao barramento 2 para uma situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório.

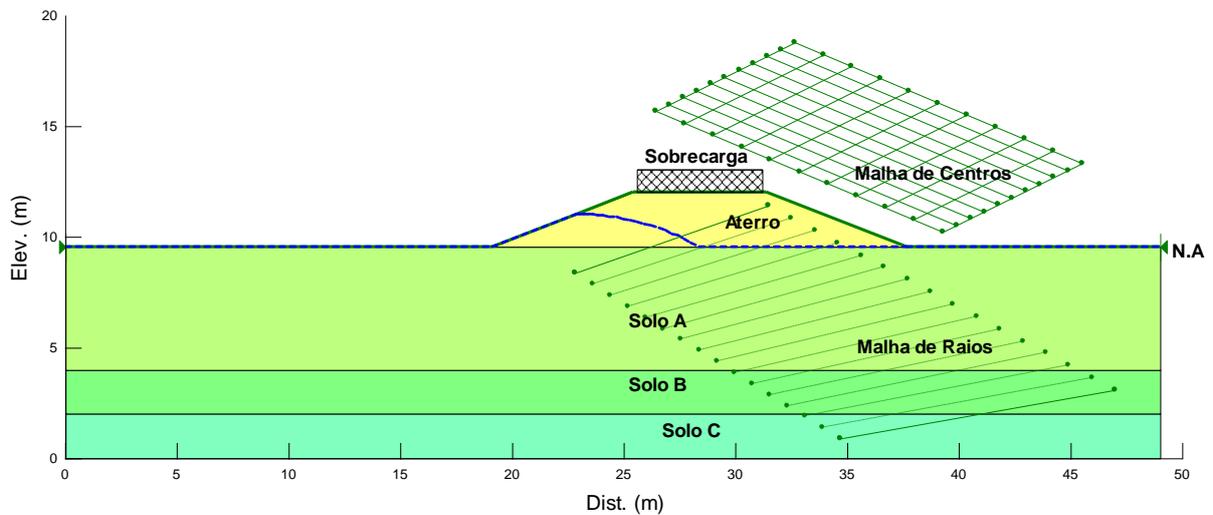


Figura 17: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de jusante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório)

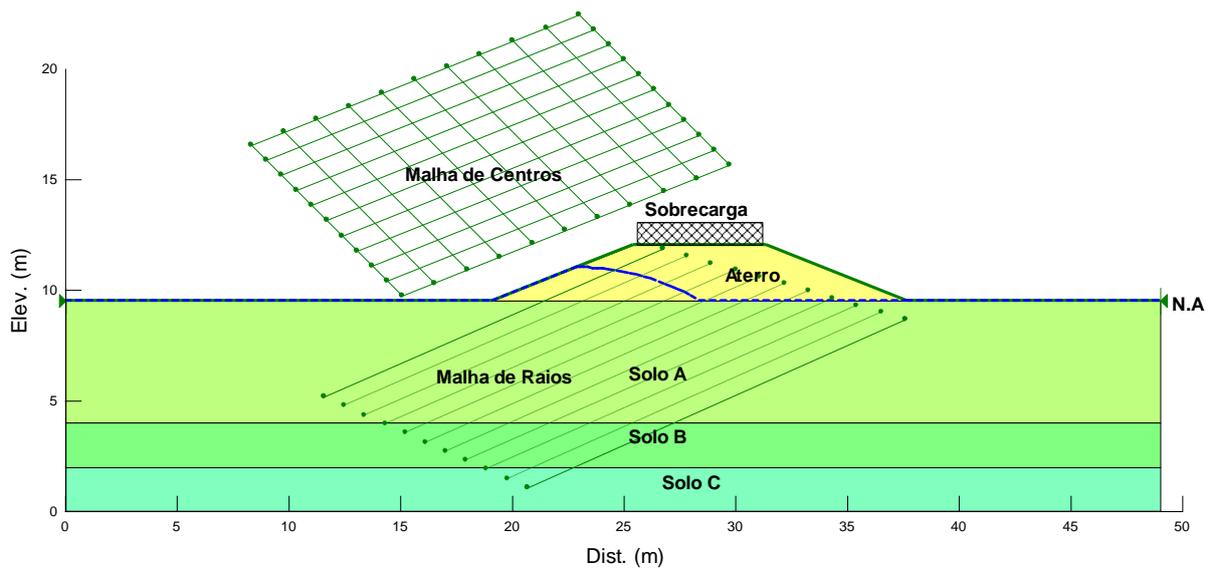


Figura 18: Dados de entrada para a verificação da estabilidade do talude de montante do barramento 2 por meio da utilização do Slope W (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório)

Foram verificadas 4096 superfícies potenciais de ruptura, das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura no barramento 2 para os taludes de jusante e montante pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentadas nas Figuras 19 e 20.

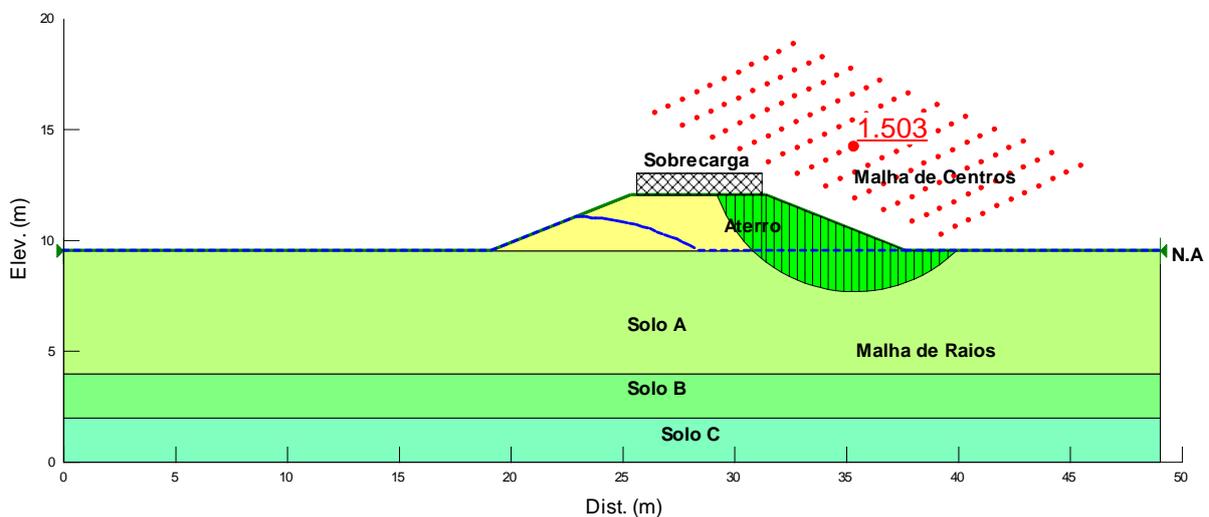


Figura 19: Superfície crítica de ruptura – FS_{min} do talude de jusante do barramento 2 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório).

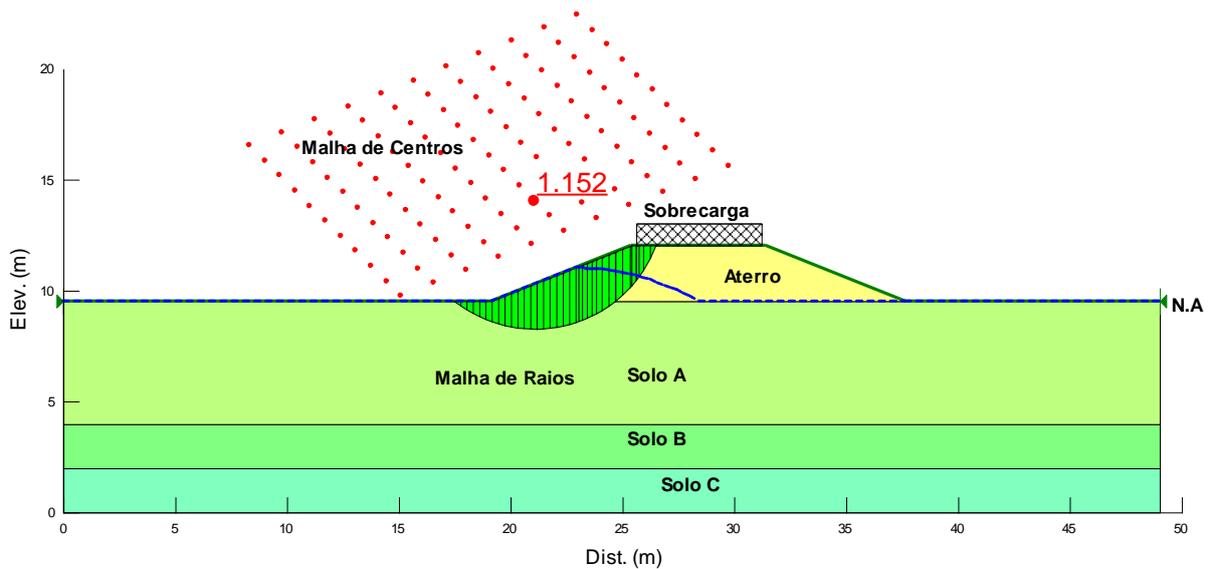


Figura 20: Superfície crítica de ruptura – FS_{\min} do talude de montante do barramento 2 (situação de rebaixamento rápido do nível de água do reservatório).

A partir das Figuras 19 e 20 observa-se que os fatores de segurança (FS) obtidos nestas análises foram de 1,503 e 1.152, respectivamente, para os taludes de jusante e montante, não satisfazendo o critério de estabilidade do talude ($FS \geq 1,50$).

Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade insatisfatória. Desta forma, assim como para a análise da fase final de construção e fase de operação (seção de altura máxima do barramento) sugere-se a substituição parcial da camada de solo A, por material de melhor qualidade (aterro do barramento), por uma profundidade de 1,5 m.

A Figura 21 apresenta os resultados da análise de estabilidade, para o talude de montante do barramento (instável conforme apresentado nas análises anteriores), considerando-se a substituição parcial do Solo A.

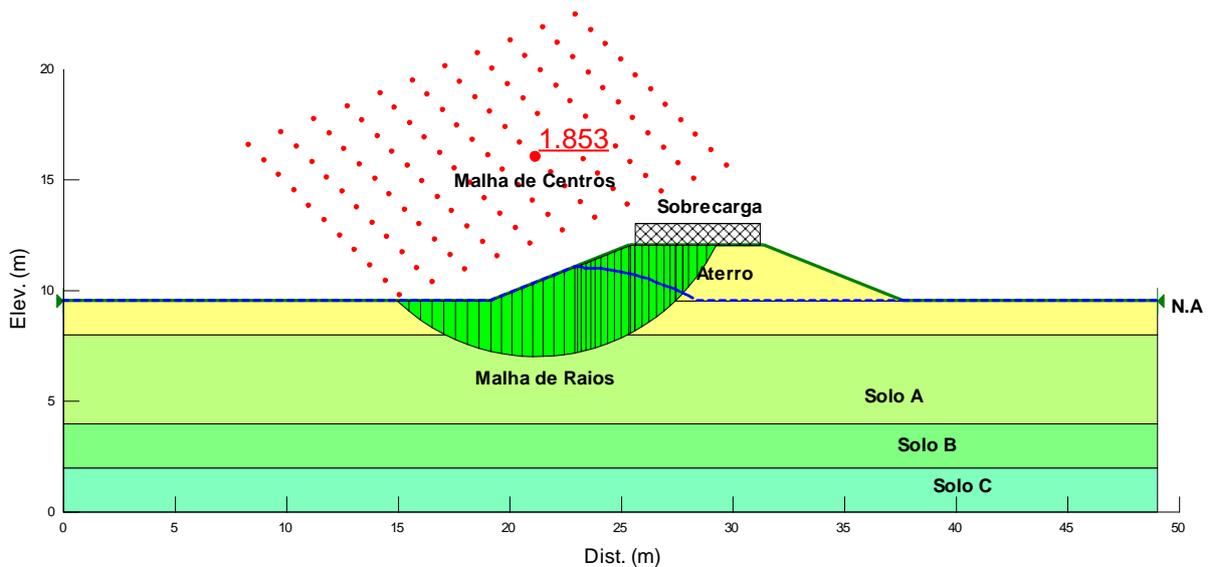


Figura 21: Superfície crítica de ruptura – FS_{\min} do talude de montante do barramento 2 (fase de operação com reservatório em nível máximo), considerando a substituição parcial do Solo A.

A partir da Figura 21 observa-se que o fator de segurança (FS) obtido nesta análise foi de 1,853, para o talude de jusante, satisfazendo o critério de estabilidade do talude ($FS \geq 1,50$).

Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória, considerando-se a substituição de 1,5m da camada de solo A.

6. ANÁLISE DE RECALQUES

Os parâmetros geotécnicos adotados nas análises de recalques fundamentaram-se nos resultados de sondagens à percussão, aplicando-se as equações da Teoria da Elasticidade para os recalques imediatos e a Teoria do Adensamento de Terzaghi para os recalques por adensamento das camadas de argila saturada. Para os cálculos foi utilizado o programa computacional Sigma W elaborado pela Geo-Slope International, Alberta, Canadá que realiza análises com por meio do Método de Elementos Finitos.

a. Análise de recalques para a barragem 2 e galeria de concreto

A Figura 22 apresenta a locação dos pontos das linhas verticais A, B, C e D onde foram analisados os recalques na seção longitudinal da barragem 2. Estes pontos estão localizados sob o maciço terroso da barragem (ombreira esquerda), sob a

galeria de concreto pré-moldado, sob a seção central da barragem 2 e sob a ombreira direita da barragem, respectivamente. Deste modo, verificou-se, através dos recalques diferenciais possíveis perdas d'água decorrentes de movimentação excessiva entre o maciço e as paredes da galeria. Além disso, analisou-se a possível formação de trincas transversais decorrentes da movimentação excessiva entre a porção central da barragem e de suas ombreiras.

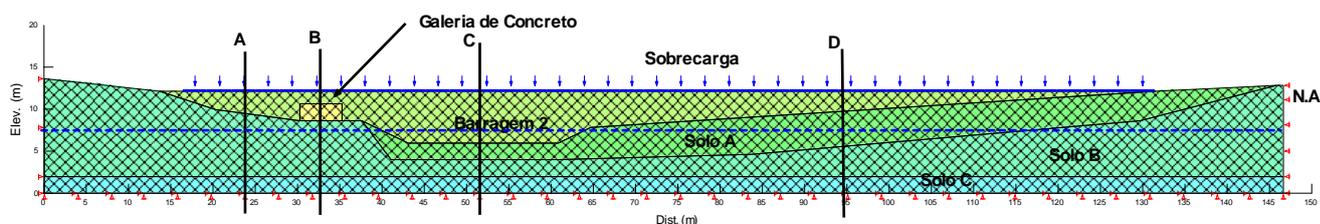


Figura 22: Dados de entrada para a verificação de recalques da barragem 2.

A Tabela 4 apresenta os recalques elásticos, por adensamento e totais ao longo da seção crítica nas quatro linhas verticais 1 a 2 que atravessam o barragem 2.

Tabela 4: Recalques elásticos, por adensamento e total barragem 2.

Ombreira Esquerda (A)			Galeria de Concreto (B)		
Elástico	Adensamento	Total	Elástico	Adensamento	Total
ΔH	ΔH	ΔH	ΔH	ΔH	ΔH
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
15	20	35	18	30	48

Seção Central (C)			Ombreira Direita (D)		
Elástico	Adensamento	Total	Elástico	Adensamento	Total
ΔH	ΔH	ΔH	ΔH	ΔH	ΔH
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
17	100	117	99	12	111

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4, foram calculadas as deformações cisalhantes para os pontos estudados. Estas deformações refletem os recalques

diferenciais que ocorrerão na barragem e, a princípio, não deve ser superior a 2%. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nesta análise.

Tabela 5: Deformações cisalhantes da barragem 2.

Ponto Inicial	Ponto Final	Deformação Cisalhante (%)
A	B	0.15
B	C	0.36
C	D	0.014

Portanto conclui-se que os recalques diferenciais obtidos nestas análises não oferecem risco a barragem 2.

7. CAPACIDADE DE CARGA E CARGA ADMISSÍVEL

Foram verificadas a capacidade de carga (σ_r) e a carga admissível (σ_a) para o terreno de fundação da barragem 2 e da galeria de concreto a serem implantados. A capacidade de carga foi verificada por meio da equação de Terzaghi e a carga admissível é o resultado da capacidade de carga dividido por um fator de segurança (FS = 3).

$$\sigma_r = c \cdot N_c + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (\text{Para a barragem})$$

$$\sigma_r = c \cdot N_c + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + q \cdot N_q \quad (\text{Para a galeria de concreto})$$

Em que, N_c , N_q e N_γ são fatores de capacidade de carga referentes à coesão, à sobrecarga e ao peso do solo, respectivamente; c é a coesão do solo; q é a sobrecarga; γ é o peso específico do solo subjacente e; B é a dimensão da base da barragem e da galeria de concreto.

Na análise da capacidade de carga e da carga admissível do solo de fundação do aterro tomou-se como referência as seções transversais da barragem 2 e da galeria de concreto. Para os cálculos foram considerados os parâmetros apresentados nas Tabelas 1 e 2. Os fatores de capacidade de carga determinados segundo Vesic (1975), são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Fatores de capacidade de carga.

Seção	Nc	N _γ	N _q
Barragem 2	22.25	12.54	11.85
Galeria de Concreto	25.80	16.72	14.72

O cálculo da carga admissível foi realizado também por meio da equação empírica que considera o índice de resistência à penetração N_{SPT} correspondente ao bulbo de tensões, conforme a seguinte equação.

$$\sigma_a = \frac{N}{50} + q \text{ (MPa)}$$

A tensão vertical atuante na base do barramento foi estimada considerando o peso próprio do barramento como uma sapata corrida de largura igual a 30 metros. Já para a galeria de concreto foi considerada uma sapata corrida de largura igual 5,0 metros embutida em 3,5m no interior do barramento.

A Tabela 7 apresenta os resultados da capacidade de carga e da carga admissível do solo de fundação da barragem 2 e da galeria de concreto a serem implantados.

Tabela 7: Capacidade de carga e carga admissível do solo de fundação da barragem 2 e da galeria de concreto.

Seção	(Tezaghi)		(Eq. Empírica)
	σ _r (kPa)	σ _a (kPa)	σ _a (kPa)
Barragem	3464,7	1154,9	120,0
Galeria de Concreto	2000,00	666,66	230,0

Dos resultados apresentados na Tabela 7 observa-se que a carga admissível para a barragem 2 é superior à tensão total de 110 kPa atuante na base do aterro a ser construído. O mesmo se verifica para a galeria de concreto que apresenta tensão total de 70 kPa atuante na base da galeria. Portanto, o sistema apresenta segurança satisfatória quanto à ruptura do solo de fundação.

8. FLUXO E PERCOLAÇÃO

Analisou-se, para a barragem 2, o fluxo e a percolação de água através do maciço da barragem e da fundação. Para os cálculos foi utilizado o programa computacional Seep/W elaborado pela Geo-Slope International, Alberta, Canadá que realiza análises por meio do Método de Elementos Finitos. Para os cálculos foram empregados os parâmetros apresentados na Tabela 8.

Para estas análises considerou-se como dispositivo interno de drenagem da barragem, a construção de um tapete horizontal permeável (construído com areia), com a finalidade de manter o espaldar de jusante da barragem não saturado, e evitar a possível ocorrência de “piping” no maciço terroso.

Para o dimensionamento deste tapete permeável considerou-se a carga hidráulica envolvida no problema, as permeabilidades de cada material e a geometria do problema. A partir destes parâmetros, determinou-se que, para o barramento 2 será necessária a construção de um tapete permeável, com 15m de extensão e espessura de 0,60m.

Tabela 8: Parâmetros adotados nas análises de fluxo e percolação através da barragem 2.

Camada	K (Coeficiente de Permeabilidade) (m/s)
Solo A	$8,4 \times 10^{-9}$
Solo B	$1,0 \times 10^{-7}$
Solo C	$4,8 \times 10^{-7}$
Areia	$1,0 \times 10^{-4}$
Barragem	$2,0 \times 10^{-8}$

A Figura 23 apresentada a seguir, mostra a disposição das camadas de solo, a posição do nível d'água (N.A) e a linha freática encontrada nas análises executadas.

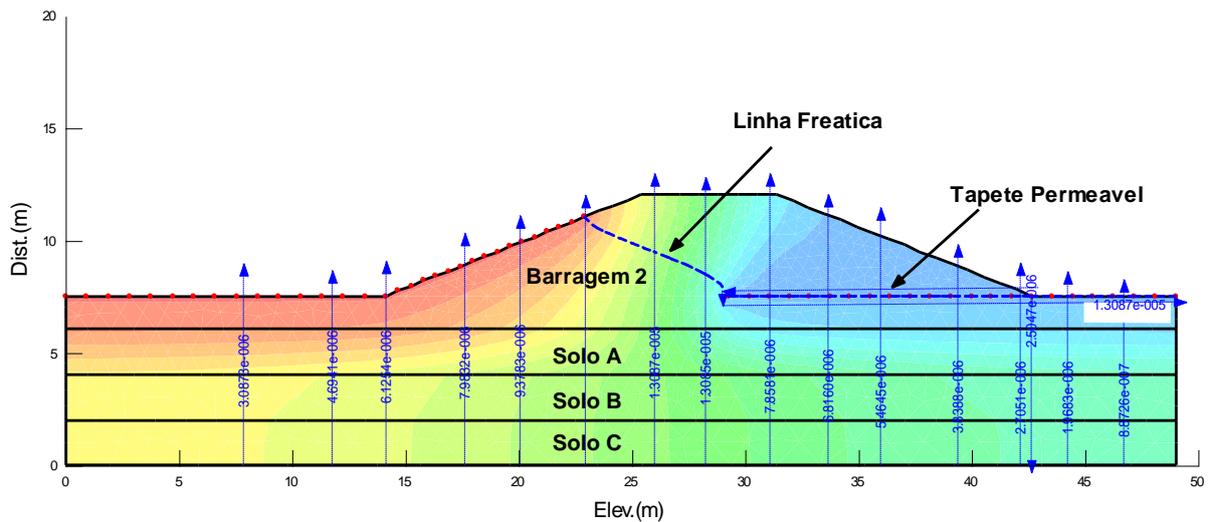


Figura 23: Linha freática resultante das análises de percolação da barragem 2.

A partir da Figura 23 é possível verificar que a linha freática encontra-se dentro do maciço terroso sem atingir o talude de jusante. Tal fato maximiza a estabilidade daquele talude, assim como, minimiza a possibilidade de ocorrência de erosão interna (“piping”). Por fim, por meio das análises numéricas, foi possível estimar a vazão que através da barragem e sua fundação com um valor aproximado de $1,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

9. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Neste relatório foram apresentadas as verificações de estabilidade da barragem contra a ruptura global, os recalques e deformações cisalhantes, a capacidade de carga, a carga admissível e o fluxo e percolação de água baseada nas seções transversais apresentadas em projeto executivo.

Os resultados de estabilidade mostraram que será necessário realizar escavação e substituição parcial do terreno de fundação da barragem com profundidade de 1,5m.

Se forem observadas, durante as escavações, materiais e/ou condições impróprias aos serviços e diferentes das adotadas em projeto, deverá ser chamada a atenção da Fiscalização para tal ocorrência, antes que se dê continuidade aos serviços. A Fiscalização deverá investigar prontamente a situação e, se concluir que o material ou condição é inaceitável, informará o Empreiteiro para as devidas providências.

As análises de recalque diferencial mostraram que os recalques que ocorrerão conduzem a deformações cisalhantes dentro dos padrões aceitáveis para este tipo de estrutura.

Quanto à capacidade de carga e carga admissível do solo de fundação do barramento e da galeria de concreto, o sistema apresenta segurança satisfatória.

Em relação ao fluxo e percolação de água verificou-se que o tapete drenante de areia, com espessura de 0,60m, atende os requisitos de drenagem da barragem. A vazão esperada através da barragem e de sua fundação é da ordem de $1,3 \times 10^{-5}$ m³/s.

Como medida preventiva de proteção do talude de jusante do barramento, sugere-se o plantio de revestimento vegetal ao longo de toda sua extensão.

Na ocasião da execução da obra, deve-se recorrer a métodos localizados de desvios e rebaixamento do lençol freático, tais como ensecadeiras, drenos longitudinais e transversais (“espinhas de peixe”), de forma a garantir o processo de compactação do solo em condições secas.

É indispensável o acompanhamento de todas as fases da obra por engenheiro especializado em geotecnia, que deverá fornecer orientações executivas e proceder às devidas liberações em Livro Diário de Obras.

10.ANEXO A

Boletins de sondagens

<p style="text-align: center;">DANILLO OLIVIER <small>CREA 10.687 - D/DF</small> SONDAGENS, FUNDAÇÕES ESPECIAIS, CONSULTORIA, CÁLCULO E REFORÇO ESTRUTURAL <small>QS 07 RUA 800 LOTE 01, ÁGUAS CLARAS • TAGUATINGA / DF TEL.: 356-0315 CEL.: 9555-5596 e-mail: danielo@lg.com.br</small></p>									
<small>Cliente:</small> Extrema Construção Ltda,					<small>Nº Furo:</small> SP17		<small>Ref.:</small> 1157/08		<small>Folha:</small> 22/42
<small>Local:</small> Taguatinga / DF					<small>Data Inicio:</small> 03/07/2008			<small>Data término:</small> 03/07/2008	
Profund. N (30cm)	Inicial	Final	Nível D'água	Índice de Resistência à Penetração				Perfil do Terreno	Classificação Expedita do Solo
				10	20	30	40		
1	-	-							
2	2	2	▽						ARGILA MARROM MUITO MOLE
3	2	2						2,45 m	
4	2	2						3,45 m	ARGILA MUITO ARENOSA COM PEDREGULHO MARROM MUITO MOLE
5	2	2							
6	2	2							ARGILA ARENOSA PRETA DE MUITO MOLE A MOLE
7	2	3							
8	4	4						7,45 m	
9	6	7						8,45 m	AREIA POUCO SILTOSA CINZA POUCO COMPACTA
10	28	37							AREIA POUCO SILTOSA CINZA DE COMPCATA A MUITO COMPACTA
11	48	55						10,45 m	
12	-	-							
13	-	-							
14	-	-							
15	-	-							
16	-	-							
17	-	-							
18	-	-							
19	-	-							
20	-	-							

<small>RN:</small> -	<small>Eng. Responsável</small> _____ Danilo Gustavo Teixeira Olivier <small>CREA 10,687 - D/DF</small>	<small>Limite da Sondagem:</small> 10,45 m	<small>NA Inicial:</small> 1,25 m <small>NA Final (24h):</small> 1,30 m
-------------------------	--	---	--

DANILLO OLIVIER

CREA 10.697 - D/DF

SONDAGENS, FUNDAÇÕES ESPECIAIS, CONSULTORIA, CÁLCULO E REFORÇO ESTRUTURAL

QS 07 RUA 800 LOTE 01, AGUAS CLARAS - TAGUATINGA / DF TEL.: 356-0315 CEL.: 9555-5596 e-mail: dno@merq.com.br

Cliente: Extrema Construção Ltda.	Nº Furo: SP18	Ref.: 1157/08	Folha: 23/42
Local: Taguatinga / DF	Data início: 03/07/2008	Data término: 03/07/2008	

Profund. N (30cm)	Inicial	N (30cm) final	Nível D'água	Índice de Resistência à Penetração				Perfil do Terreno	Classificação Expedita do Solo
				10	20	30	40		
1	-	-						2,45 m	AREIA ARGILOSA COM PEDREGULHO MARROM FOFA
2	3	2							5,45 m
3	4	4						8,45 m	
4	2	2							9,45 m
5	2	2						11,45 m	
6	2	2							
7	2	3							
8	10	10							
9	10	11							
10	26	39							
11	49	53							
12	51	57							
13	-	-							
14	-	-							
15	-	-							
16	-	-							
17	-	-							
18	-	-							
19	-	-							
20	-	-							

RN: -	Eng. Responsável: <u>Danillo Gustavo Teixeira Olivier</u> CREA 10,687 - D/DF	Limite da Sondagem: 11,45 m	NA Inicial: 1,75 m NA final (24h): 1,80 m
-------	---	------------------------------------	--

DANILLO OLIVIER

CREA 10.687 - D/DF

SONDAGENS, FUNDAÇÕES ESPECIAIS, CONSULTORIA, CÁLCULO E REFORÇO ESTRUTURAL

QS 07 RUA 800 LOTE 01, ÁGUAS CLARAS - TAGUATINGA / DF TEL.: 356-0315 CEL.: 9555-5596 e-mail: danielo@lg.com.br

Cliente: Extrema Construção Ltda,	Nº Furo: SP19	Ref.: 1157/08	Folha: 24/42
Local: Taguatinga / DF	Data Início: 03/07/2008	Data Término: 03/07/2008	

Profund. N (30cm) Inicial	N (30cm) final	Nível D'água	Índice de Resistência à Penetração				Perfil do Terreno	Classificação Expedita do Solo
			10	20	30	40		
1	-	-						ARGILA MUITO ARENOSA COM PEDREGULHO VERMELHA MÉDIA
2	5	6						
3	7	7						ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA BEGE VARIEGADA DE MÉDIA A RIJA
4	5	7						
5	8	8						
6	7	7						
7	12	11						
8	14	17						
9	21	21						
10	25	24						
11	25	30						
12	-	-						
13	-	-						
14	-	-						
15	-	-						
16	-	-						
17	-	-						
18	-	-						
19	-	-						
20	-	-						

RN: -	Eng. Responsável: <u>Danillo Gustavo Teixeira Olivier</u> CREA 10.687 - D/DF	Limite da Sondagem: 10,45 m	NA Inicial: 1,55 m NA Final (24h): 1,65 m
-------	---	------------------------------------	--

DANILLO OLIVIER

CREA 10.687 - D/DF

SONDAGENS, FUNDAÇÕES ESPECIAIS, CONSULTORIA, CÁLCULO E REFORÇO ESTRUTURAL

QS 07 RUA 800 LOTE 01, AGUAS CLARAS - TAGUATINGA / DF TEL.: 356-0315 CEL.: 9555-9596 e-mail: danielo@lg.com.br

Cliente: Extrema Construção Ltda,	Nº Furo: SP20	Ref.: 1157/08	Folha: 25/42
Local: Taguatinga / DF	Data Início: 03/07/2008	Data término: 03/07/2008	

Profund.	N (30cm) Inicial	N (30cm) Final	Nível D'água	Índice de Resistência à Penetração				Perfil do Terreno	Classificação Expedita do Solo
				10	20	30	40		
1	-	-						1,00 m	ARGILA ARENOSA COM PEDREGULHO MARROM
2	2	2							ARGILA BRANCA MUITO MOLE
3	2	2							
4	2	2						4,00 m	
5	4	4						5,00 m	ARGILA BRANCA MOLE
6	10	10						6,00 m	ARGILA BRANCA MÉDIA
7	9	11							ARGILA BRANCA RIJA
8	14	15						8,00 m	
9	20	23							ARGILA BRANCA DURA
10	33	38							
11	53	56						10,45 m	
12	-	-							
13	-	-							
14	-	-							
15	-	-							
16	-	-							
17	-	-							
18	-	-							
19	-	-							
20	-	-							

RN: -	Eng. Responsável: <u>Danillo Gustavo Teixeira Olivier</u>	Limite da Sondagem: 10,45 m	NA Inicial: 1,55 m
Cota: -	CREA 10.687 - D/DF		NA Final (24h): 1,60 m

DANILLO OLIVIER

CREA 10.667 - D/DF

SONDAGENS, FUNDAÇÕES ESPECIAIS, CONSULTORIA, CÁLCULO E REFORÇO ESTRUTURAL

QS 07 RUA 800 LOTE 01, ÁGUAS CLARAS - TAGUATINGA / DF TEL.: 356-0315 CEL.: 9555-5596 e-mail: danielo@ig.com.br

Cliente: Extrema Construção Ltda.	Nº Furo: SP21	Ref.: 1157/08	Falha: 26/42
Local: Taguatinga / DF	Data Início: 03/07/2008	Data Término: 03/07/2008	

Profund.	N (30cm) Inicial	N (30cm) Final	Nível Drágua	Índice de Resistência à Penetração				Perfil do Terreno	Classificação Expedita do Solo
				10	20	30	40		
1	-	-							ARGILA ARENOSA MARROM DE MOLE A MÉDIA
2	3	4							
3	4	4							5,45 m
4	7	7							8,00 m
5	3	2							9,38 m
6	2	2							
7	6	8							
8	12	18							
9	31	39							
10	54	59/23							
11	-	-							
12	-	-							
13	-	-							
14	-	-							
15	-	-							
16	-	-							
17	-	-							
18	-	-							
19	-	-							
20	-	-							

RN: -	Eng. Responsável: <u>Danillo Gustavo Teixeira Olivier</u> CREA 10.667 - D/DF	Limite da Sondagem: 9,38 m	NA Inicial: 1,18 m NA Final (24h): 1,10 m
-------	---	-----------------------------------	--

DANILLO OLIVIER

CREA 10.687 - D/DF

SONDAGENS, FUNDAÇÕES ESPECIAIS, CONSULTORIA, CÁLCULO E REFORÇO ESTRUTURAL

QS 07 RUA 800 LOTE 01, ÁGUAS CLARAS - TAGUATINGA / DF TEL.: 356-0315 CEL.: 9555-5596 e-mail: daniel@merglg.com.br

Cliente: Extrema Construção Ltda,	Nº Furo: SP22	Ref.: 1157/08	Folha: 27/42
Local: Taguatinga / DF	Data início: 03/07/2008	Data término: 03/07/2008	

Profund. N (30cm) Inicial	N (30cm) final	Nível D'água	Índice de Resistência à Penetração				Perfil do Terreno	Classificação Expedita do Solo
			10	20	30	40		
1	-	-					1,00 m	ARGILA ARENOSA MARROM
2	2	2					2,00 m	ARGILA MUITO ARENOSA PRETA MUITO MOLE
3	3	4						ARGILA POUCO ARENOSA BRANCA DE MOLE A MÉDIA
4	6	7						
5	4	5						
6	6	6						
7	7	7						
8	8	8					8,00 m	
9	4	3						ARGILA POUCO ARENOSA BRANCA DE MOLE A RJA
10	6	9						
11	9	8						
12	11	11					11,45 m	
13	-	-						
14	-	-						
15	-	-						
16	-	-						
17	-	-						
18	-	-						
19	-	-						
20	-	-						

RN: -	Eng. Responsável: <u>Danillo Gustavo Teixeira Olivier</u> CREA 10,687 - D/DF	Limite da Sondagem: 11,45 m	NA Inicial: 1,60 m NA final (24h): 1,70 m
Cota: -			

DANILLO OLIVIER

CREA 10.687 - D/DF

SONDAGENS, FUNDAÇÕES ESPECIAIS, CONSULTORIA, CÁLCULO E REFORÇO ESTRUTURAL

QS 07 RUA 800 LOTE 01, ÁGUAS CLARAS - TAGUATINGA / DF TEL.: 356-0315 CEL.: 9555-5596 e-mail: danielo@lg.com.br

Cliente: Extrema Construção Ltda,	Nº Furo: SP23	Ref.: 1157/08	Folha: 28/42
Local: Taguatinga / DF	Data Início: 13/07/2008	Data Término: 13/07/2008	

Profund. N (30cm) Inicial	N (30cm) final	Nível D'água	Índice de Resistência à Penetração				Perfil do Terreno	Classificação Expedita do Solo
			10	20	30	40		
1	-	-						ARGILA ARENOSA VERMELHA VARIEGADA COM PEDREGULHO MUITO MOLE
2	1	1						
3	1	1						
4	1	2						
5	2	3				5,00 m		
6	4	4				6,00 m	ARGILA ARENOSA VERMELHA MOLE	
7	4	4				7,00 m	ARGILA ARENOSA MARROM MOLE	
8	3	4				8,00 m	ARGILA SILTOSA BRANCA MOLE	
9	2	3					ARGILA SILTOSA BEGE MOLE	
10	4	4				10,00 m		
11	11	8					ARGILA SILTOSA BEGE MÉDIA	
12	6	6				11,45 m		
13	-	-						
14	-	-						
15	-	-						
16	-	-						
17	-	-						
18	-	-						
19	-	-						
20	-	-						

RN: -	Eng. Responsável: <u>Danillo Gustavo Teixeira Olivier</u> CREA 10.687 - D/DF	Limite da Sondagem: 11,45 m	NA Inicial: 5,80 m NA Final (24h): 5,80 m
-------	---	-----------------------------	--