

## Anexo IX



**Autopista  
Fluminense**  
Grupo OHL

Código:  
MD-04-01/RJ-123-6-G19/003

Rev.:  
0

Emissão:  
30/04/11

Folha:  
1/101

Lote:  
04

Rodovia:  
BR-101/RJ – MÁRIO COVAS

Firma Projetista:  
CANHEDO BEPPU

Trecho:  
DIV. ES/RJ - PONTE RIO NITERÓI

Concessionária:  
AUTOPISTA FLUMINENSE

Objeto: Parecer Geotécnico de Estabilidade e Recalques  
km 143 ao km 153

ANTT:

Documentos de Referência:

Documentos Resultantes:

Observação:

Rev.	Data	Firma Projetista	Concessionária	ANTT
0	30/04/2011	F.S.T. Beppu - Crea 0600942604		

FIRMA PROJETISTA: CANHEDO BEPPU ENG. ASSOC. LTDA

Nº INTERNO: CBE- MD-04-01/RJ-123-4-G19/003

Rev.

2

## 1 APRESENTAÇÃO

A **Canhedo Beppu Engenheiros Associados Ltda.**, apresenta à **OHL Brasil** este documento, desenvolvido dentro do escopo do projeto executivo de duplicação da Rodovia BR-101 / RJ, no segmento situado entre a divisa do ES/RJ e a Ponte Rio Niterói, do km 143,4 ao km 153,0.

O presente relatório desenvolvido em parceria com a **Engedat Consultoria e Projetos Ltda** apresenta os resultados dos estudos geotécnicos de estabilidade e recalques para as obras de terraplenagem entre os kms 143+000 e 153+000.

## 2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As análises geotécnicas de estabilidade foram realizadas para as seções transversais consideradas críticas em relação à estabilidade, baseadas no projeto geométrico.

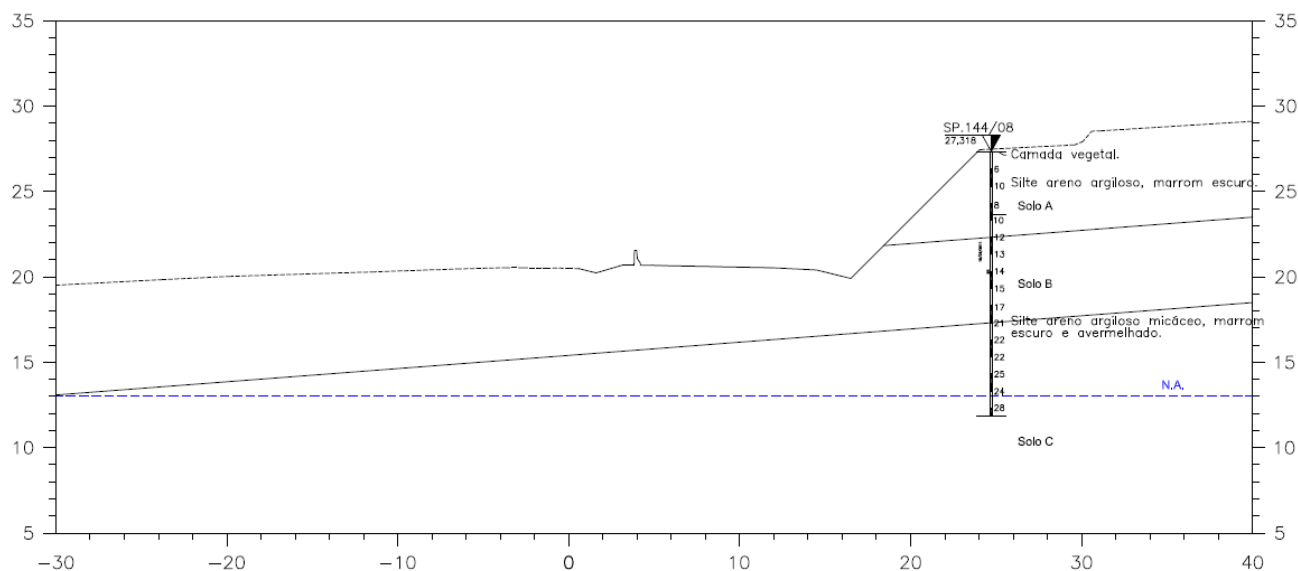
Próximos aos locais analisados foram executadas sondagens a percussão, com medidas de  $N_{SPT}$ , para avaliar as características de resistência do solo e sondagens a trado com a realização de ensaios laboratoriais. Essas investigações foram realizadas pela empresa Sonda Solo Engenharia e Mecânica dos Solos Ltda e são apresentadas em relatório específico.

Serão apresentadas as análises para cada seção estudada, com a descrição dos parâmetros adotados e resultados da verificação da estabilidade. Para a verificação da estabilidade utilizou-se o software Slope/W do pacote Geostudio 2004 da Geo-Slope International, Alberta, Canadá, utilizando para tanto o método de Bishop Simplificado. As análises foram realizadas considerando superfícies circulares de ruptura. Os resultados obtidos a partir das análises de estabilidade foram comparados com os fatores de segurança recomendados pela NBR 11682 - Estabilidade de Taludes. Para a situação em questão, rodovia de acesso à cidade de grande porte, considerou-se o caso de Alto Grau de Segurança, isto é, fator de segurança maior ou igual a 1,5.

### 3. ESTACA KM 144+344,66 (CORTE)

#### 3.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 3.1.



**Figura 3.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 144+344 - Corte).

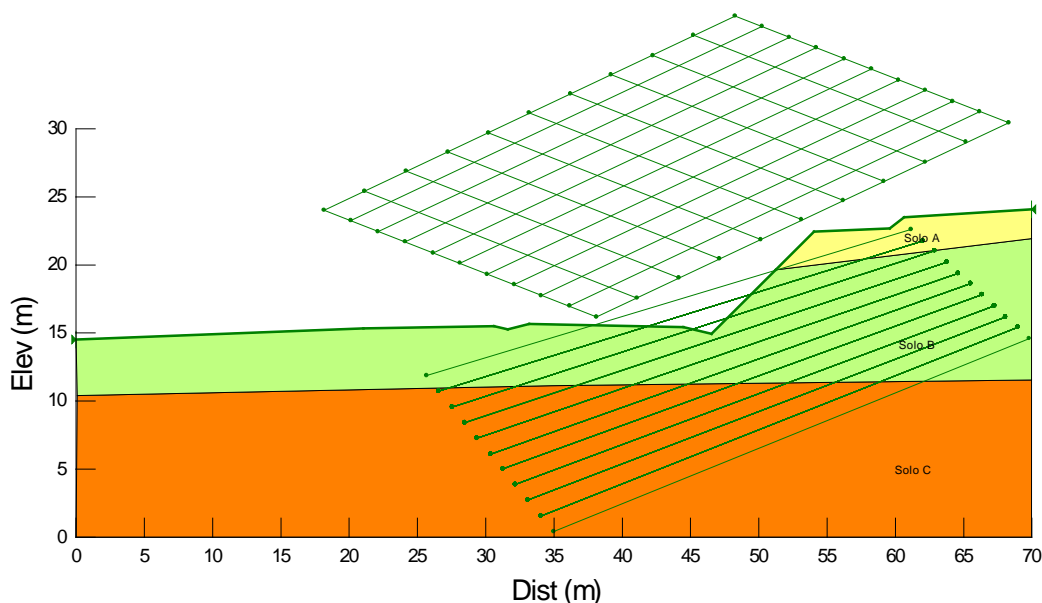
**Tabela 3.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Argila siltosa pouco arenosa	-	17	10	15	7000	0,30
B	Argila siltosa pouco arenosa	7 – 9	18	20	20	7500	0,30
C	Silte Argiloso (SR)	10 – 18	18	20	26	11000	0,25
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

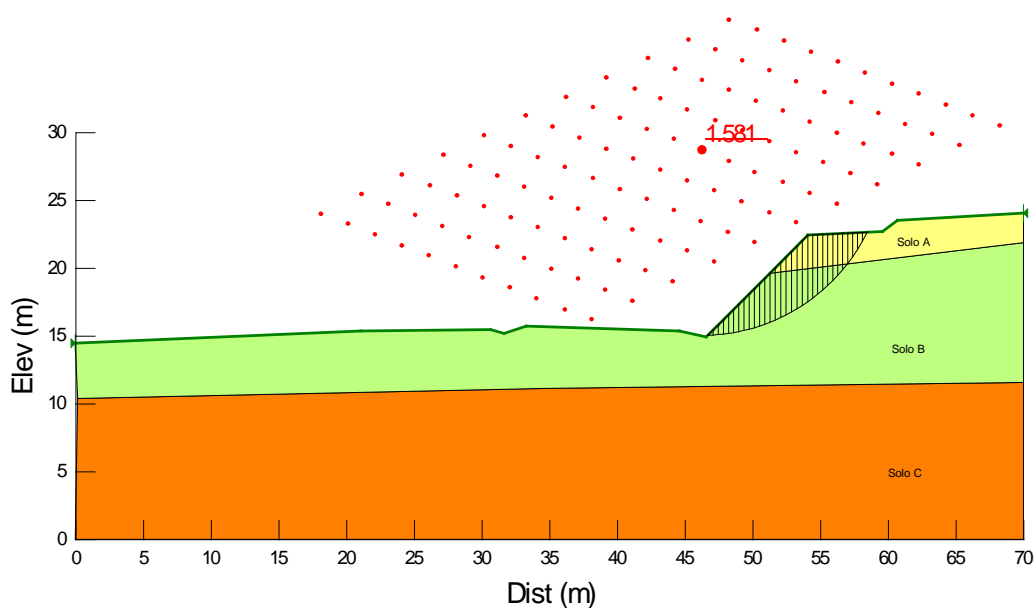
#### 3.2. Análises de Estabilidade

A Figura 3.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 144+344,66.



**Figura 3.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 144+344,66).

Foram verificadas 1331 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 3.3.



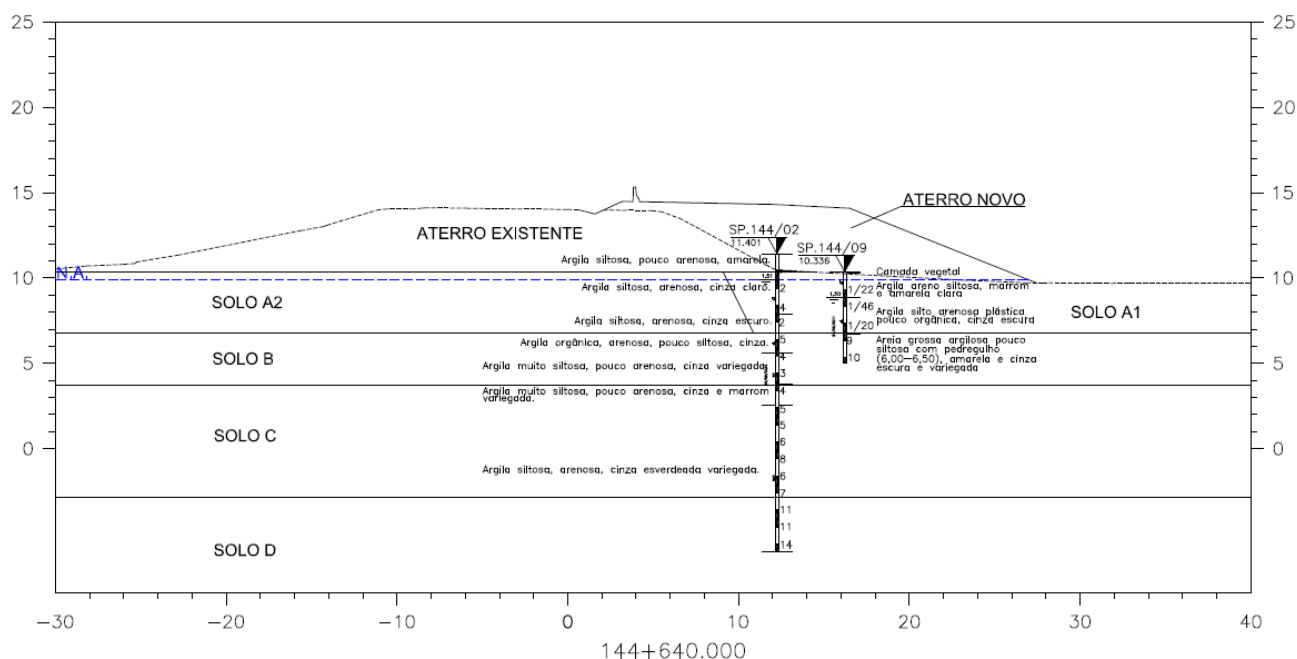
**Figura 3.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 144+344,66).

A partir da Figura 3.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,581 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 4. ESTACA KM 144+640 (ATERRO)

### 4.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 4.1.



**Figura 4.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagens de referência da seção transversal analisada (Estaca km 144+640 - Aterro).

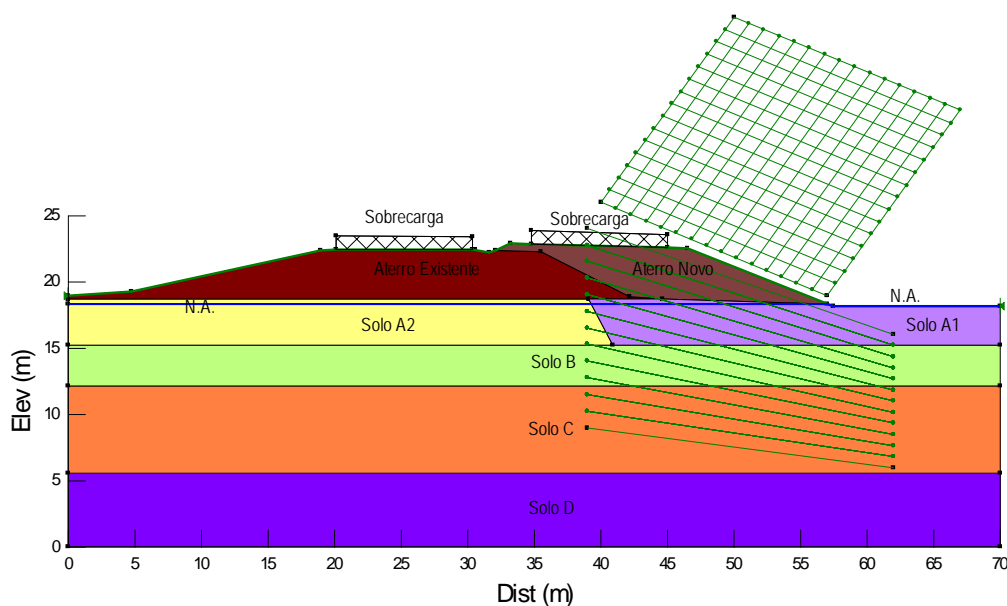
**Tabela 4.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila silto arenosa (AT e AL)	1/46 – 1	15	10	0	7000	0,30
A2	Argila silto arenosa (AT e AL)	1/46 – 1	16	15	10	7500	0,30
B	Areia argilosa pouco silteosa com pedregulhos (AL)	9 – 10	18	5	27	10500	0,30
C	Silte Areno Argiloso (SR)	4 – 7	18	15	23	9000	0,30
D	Silte Areno Argiloso (SA)	10 – 17	18	22	28	10000	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

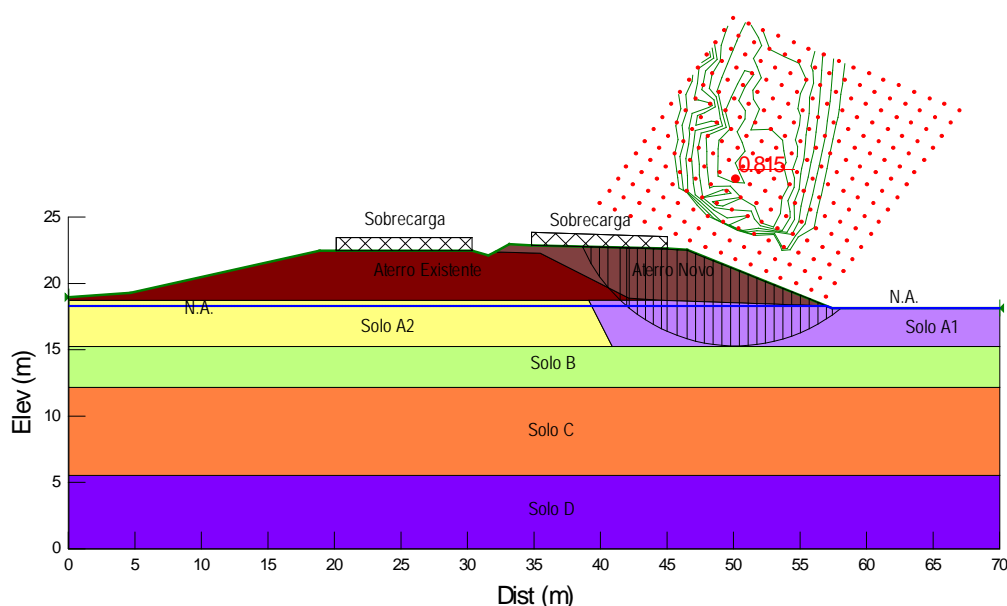
## 4.2. Análises de Estabilidade

A Figura 4.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 144+640.



**Figura 4.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro– Estaca km 144+640).

Foram verificadas 3328 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 4.3.



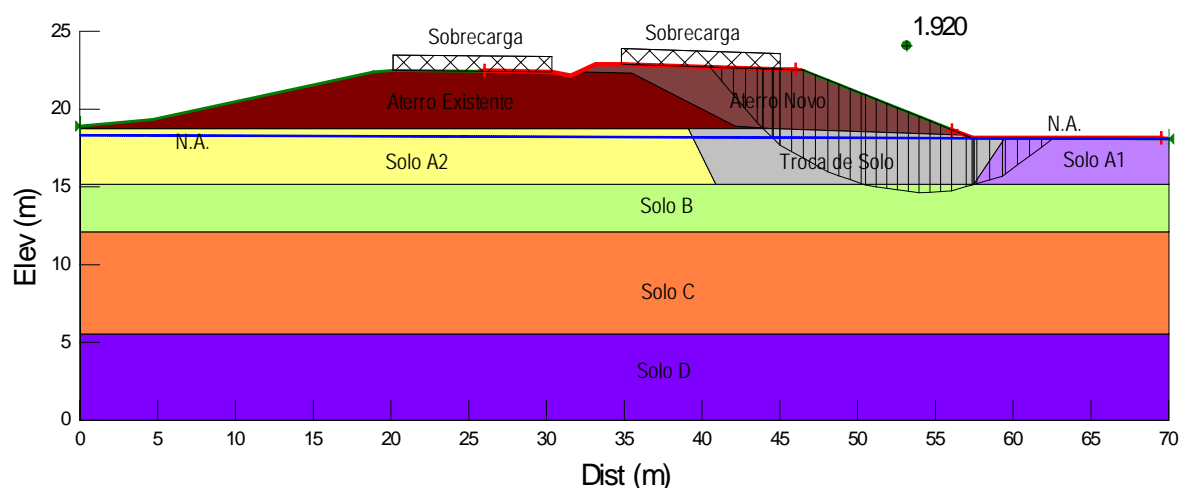
**Figura 4.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 144+640).

A partir da Figura 4.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 0,815 < 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta

estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico, ou seja, aterro sem berma de equilíbrio e inclinação da saia de 2,5:1 (H:V).

Devido à baixa resistência ao cisalhamento da camada de Solo A1, abaixo do Aterro Novo, sugere-se o tratamento da fundação do aterro por meio da substituição de parte do Solo A1.

A Figura 4.4 apresenta a análise de estabilidade considerando a solução proposta. Foram adotados os seguintes parâmetros para representar o material utilizado no tratamento de fundação: **peso específico de 17 kN/m<sup>3</sup>, coesão de 18 kPa, ângulo de atrito interno de 20°, módulo de elasticidade de 8200 kN/m<sup>2</sup> e coeficiente de Poisson de 0,30.**



**Figura 4.4** – Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Aterro - Estaca km 144+640 – Solo Reposto).

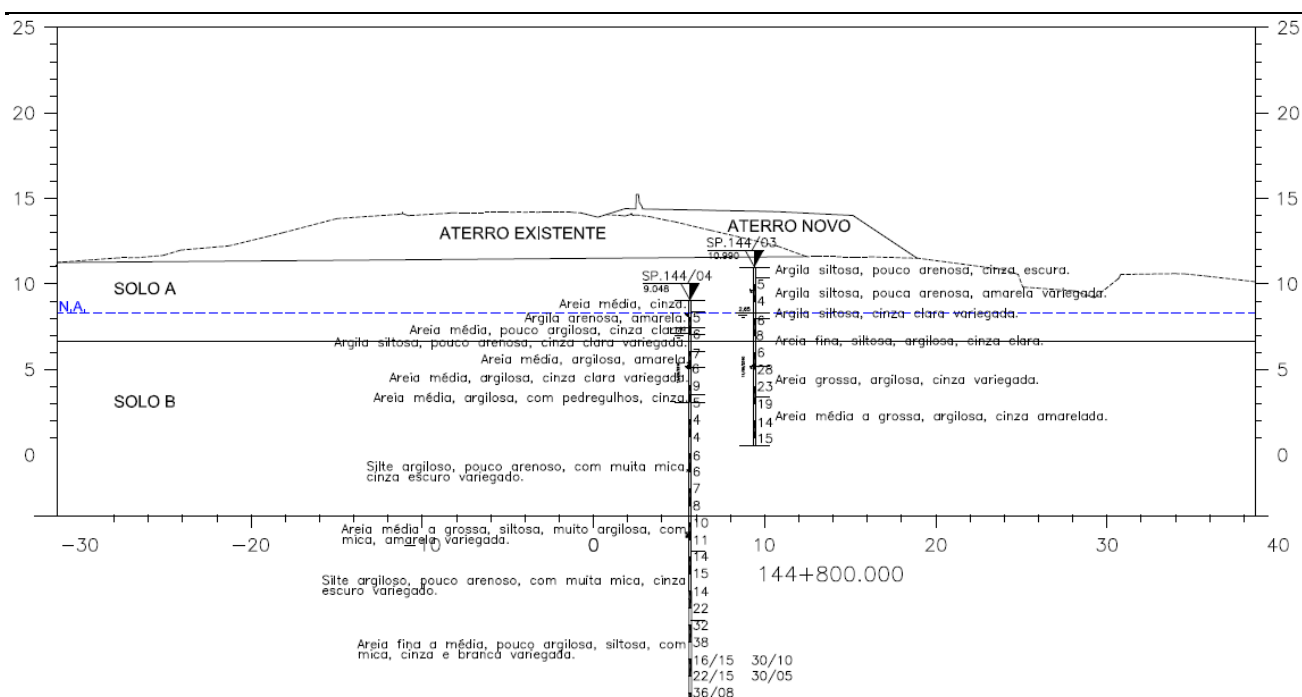
O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,920 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 7.4. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com troca do solo mole apresenta estabilidade satisfatória.

## 5. ESTACA KM 144+800 (ATERRO)

### 5.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 5.1.





**Figura 5.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 144+800 - Aterro).

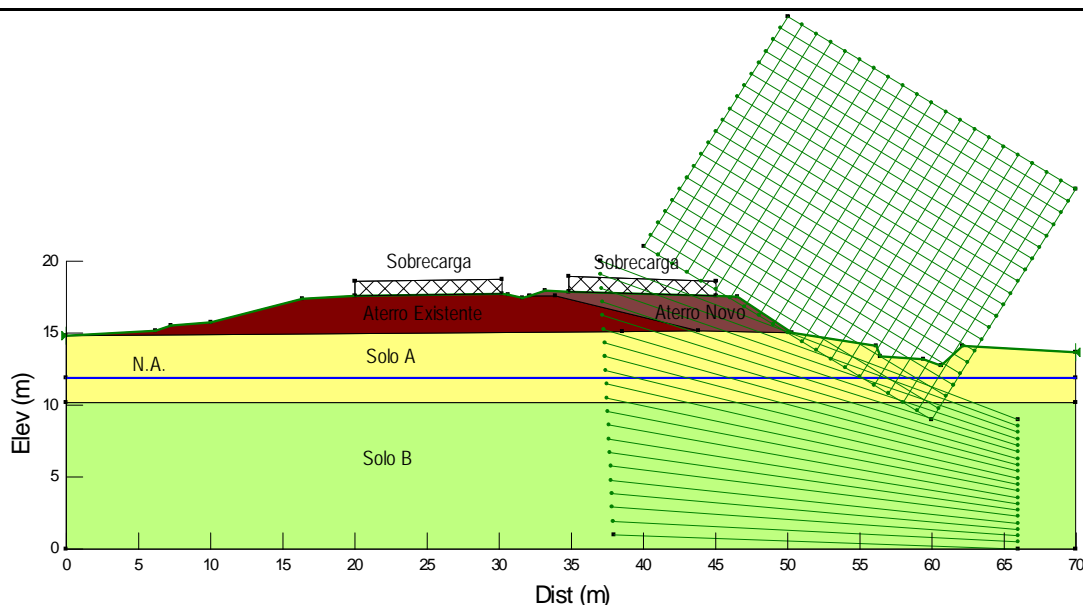
**Tabela 5.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Argila siltosa pouco arenosa (AT)	4 – 6	16	20	15	7500	0,30
B	Areia média argilosa (AL)	5 – 7	18	5	25	10000	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

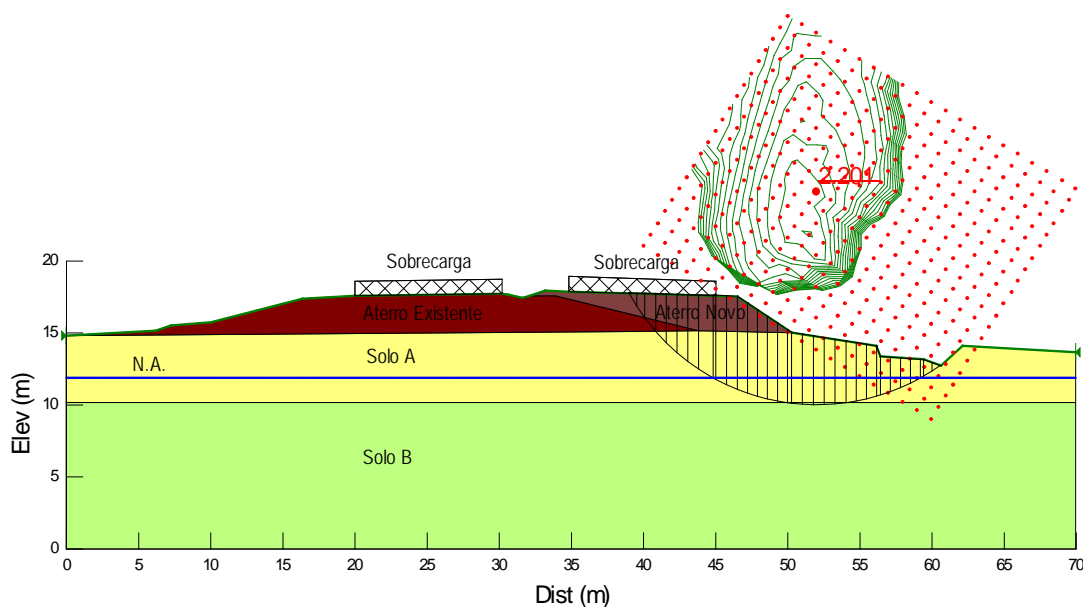
## 5.2. Análises de Estabilidade

A Figura 5.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 144+800.



**Figura 5.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 144+800).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 5.3.



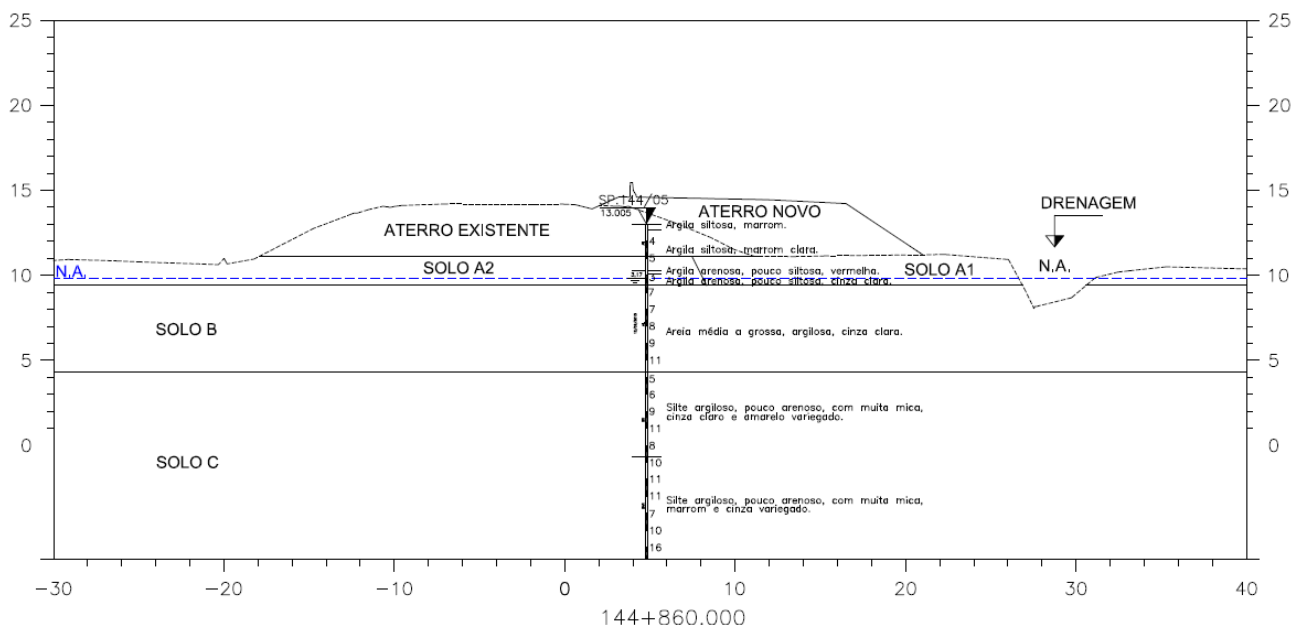
**Figura 5.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 144+800).

A partir da Figura 5.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 2,201 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 6. ESTACA KM 144+860 (ATERRO)

### 6.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 6.1.



**Figura 6.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 144+860 - Aterro)

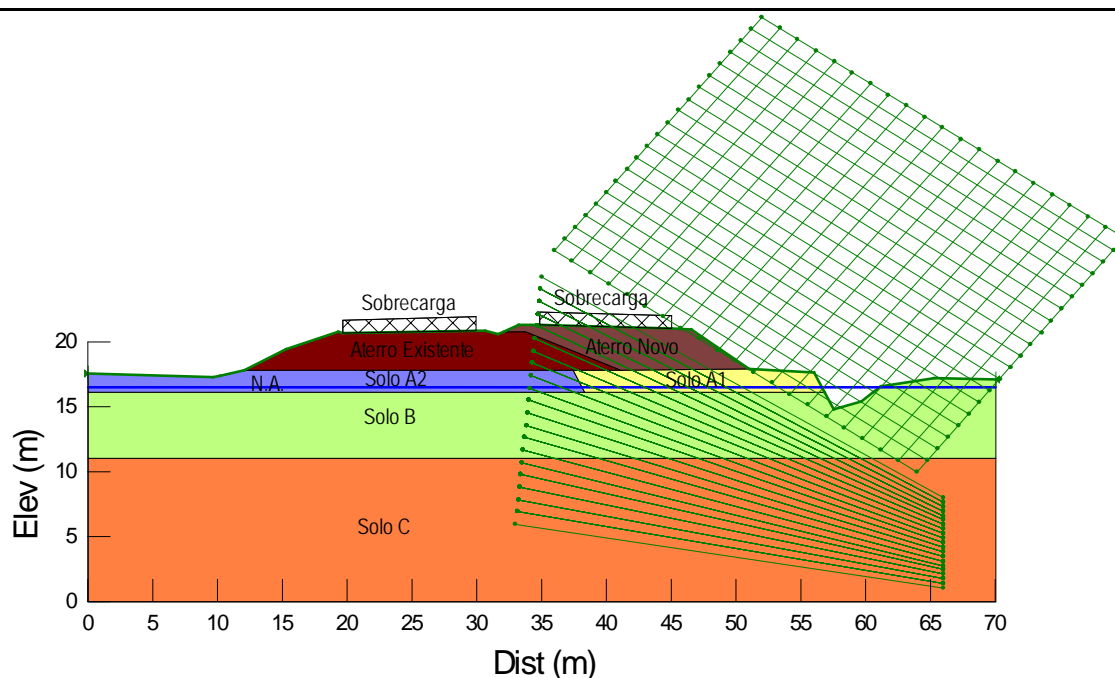
**Tabela 6.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila arenosa pouco siltosa (AT)	3 – 5	17	15	15	8000	0,30
A2	Argila arenosa pouco siltosa (AT)	3 – 5	18	20	15	8500	0,30
B	Areia média a grossa argilosa (AL)	7 – 11	18	10	27	10000	0,30
C	Silte argiloso pouco arenoso (SR)	5 - 10	18	15	20	10500	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

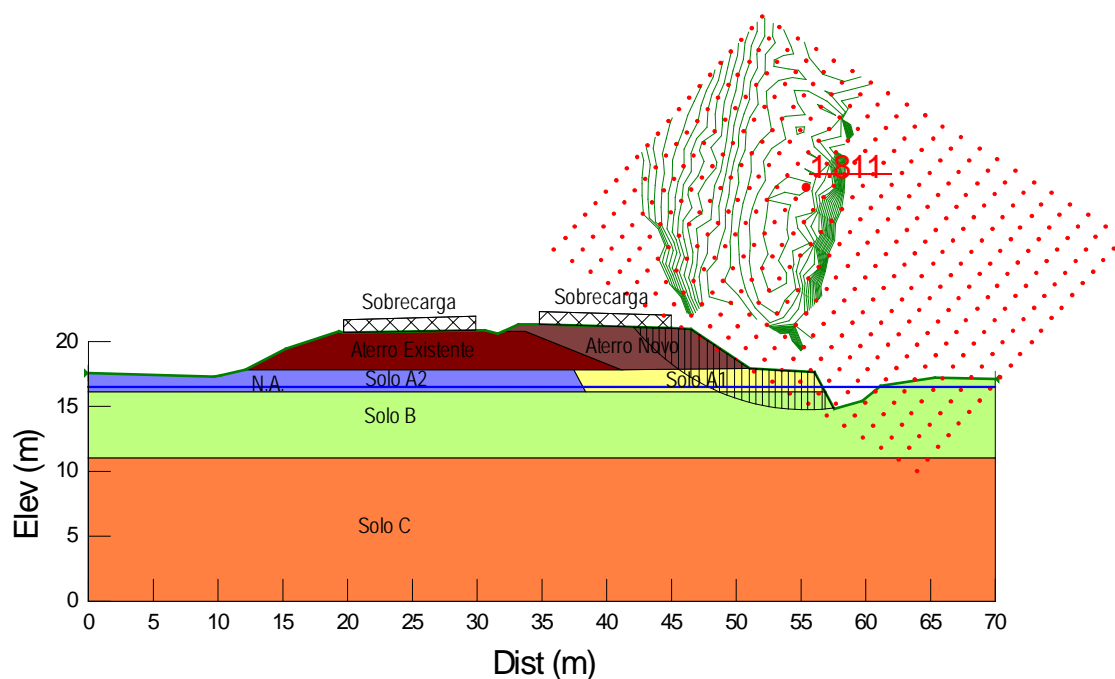
### 6.2. Análises de Estabilidade

A Figura 6.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 144+860.



**Figura 6.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 144+860).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 6.3.



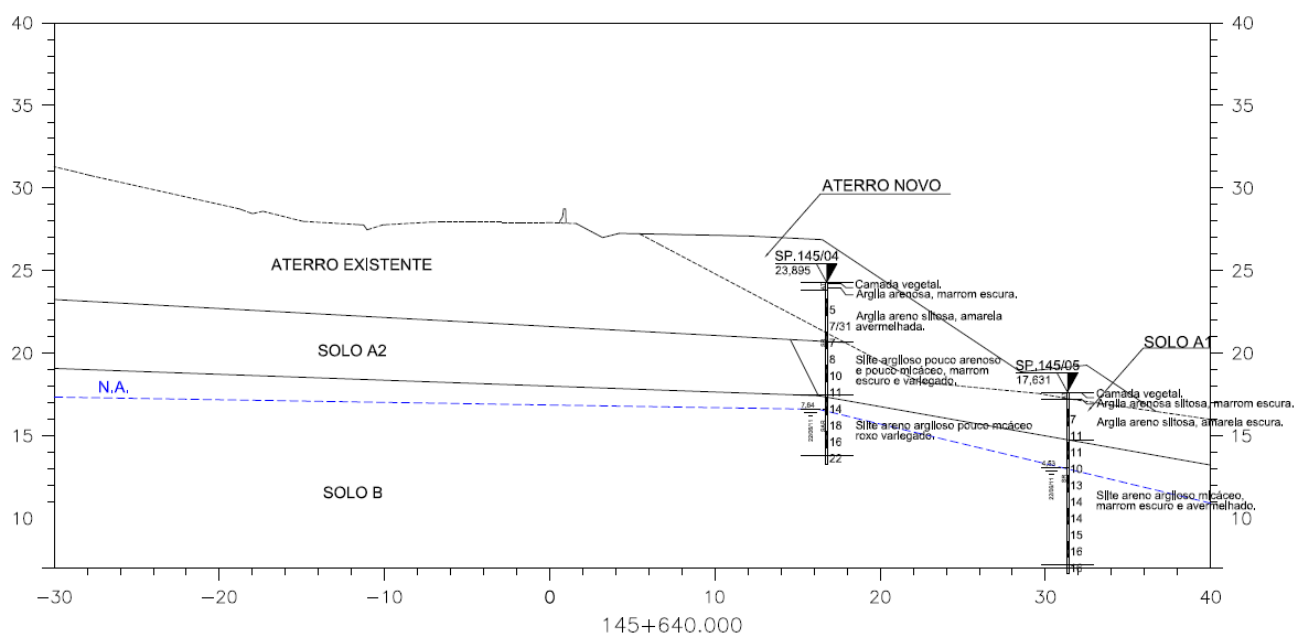
**Figura 6.3** – Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Aterro - Estaca km 144+860).

A partir da Figura 6.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,811 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 7. ESTACA KM 145+640 (ATERRO)

### 7.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 7.1.



**Figura 7.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 145+640 - Aterro).

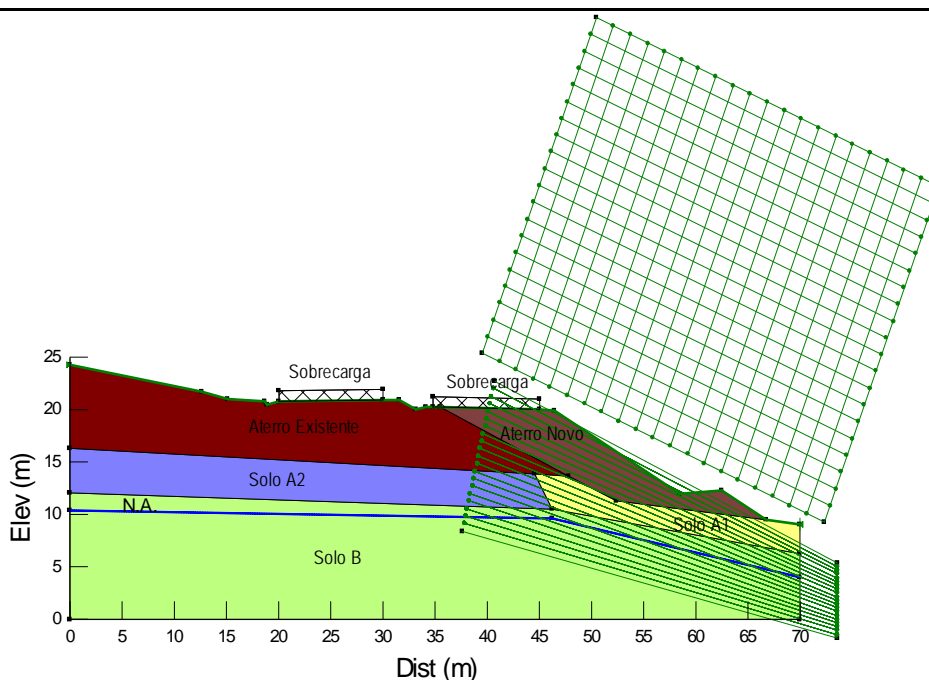
**Tabela 7.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Silte argilo-arenoso (SR)	7 – 11	17	16	20	10000	0,25
A2	Silte argilo-arenoso (SR)	7 – 11	18	20	25	10500	0,25
B	Silte areno-argiloso (SR)	8 – 16	18	20	27	11000	0,25
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

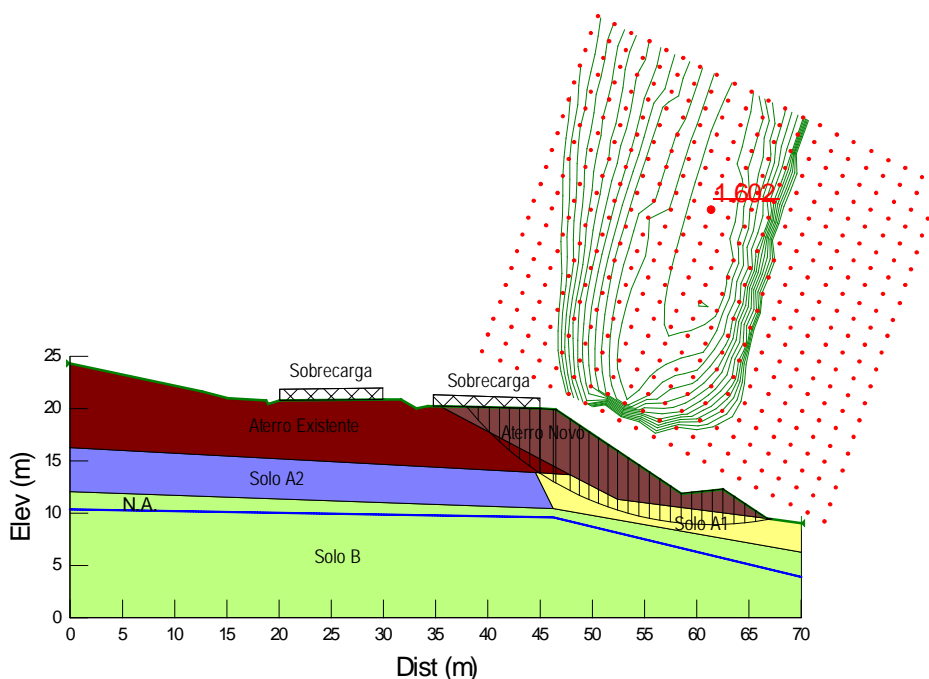
### 7.2. Análises de Estabilidade

A Figura 7.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 145+640.



**Figura 7.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 145+640).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 7.3.



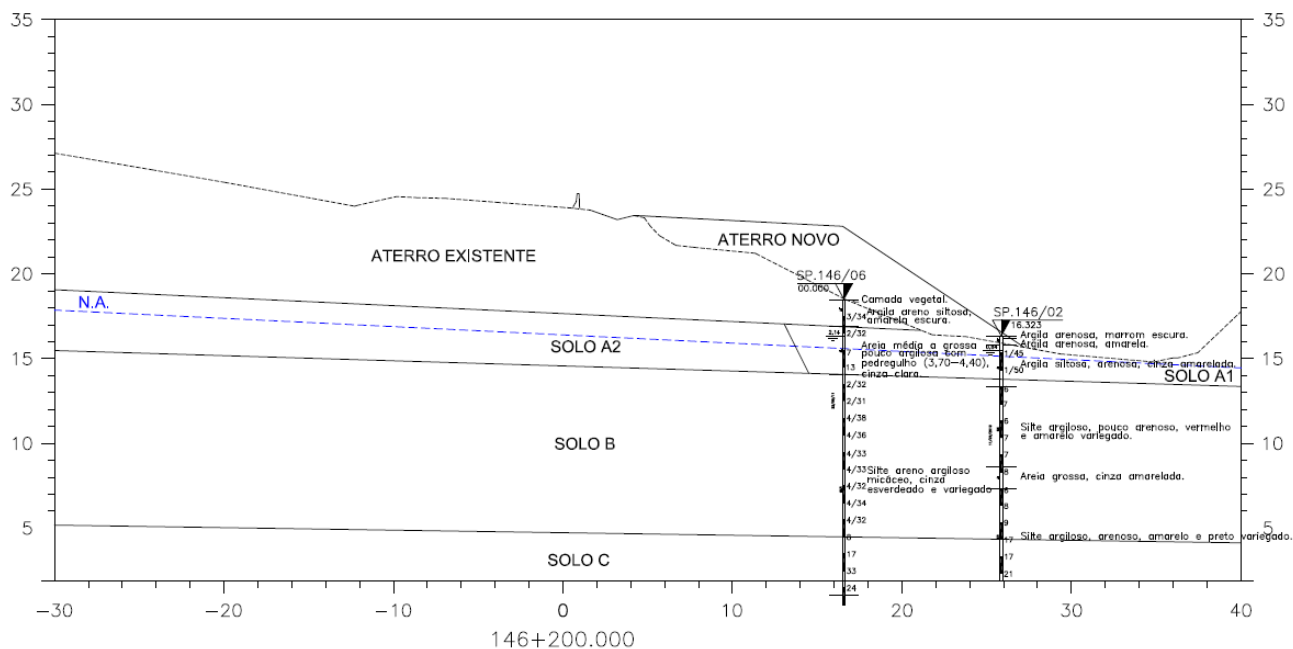
**Figura 7.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 145+640).

A partir da Figura 7.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,602 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 8. ESTACA KM 146+200 (ATERRO)

### 8.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 8.1.



**Figura 8.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 146+200 - Aterro).

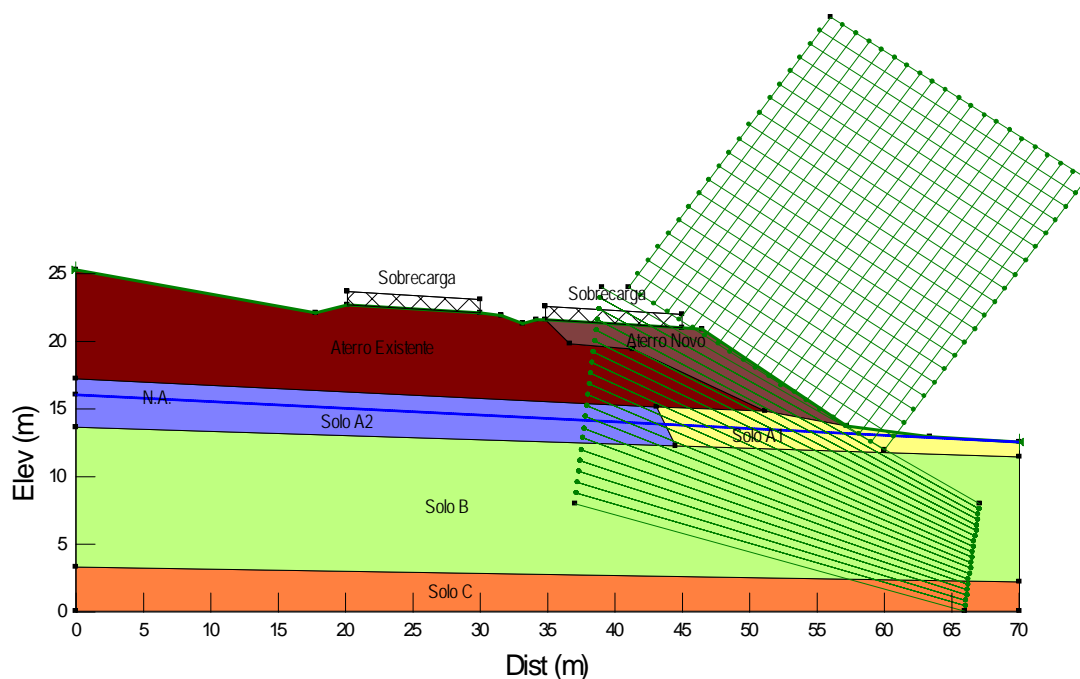
**Tabela 8.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila silto-arenosa (AL)	1/45 – 1/50	16	10	10	7000	0,30
A2	Argila silto-arenosa (AL)	1/45 – 1/50	17	15	10	7500	0,30
B	Silte areno-argiloso (SAR)	2 – 4	17	10	20	9000	0,30
C	Silte areno-argiloso (SAR)	8 - 20	18	15	25	11000	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

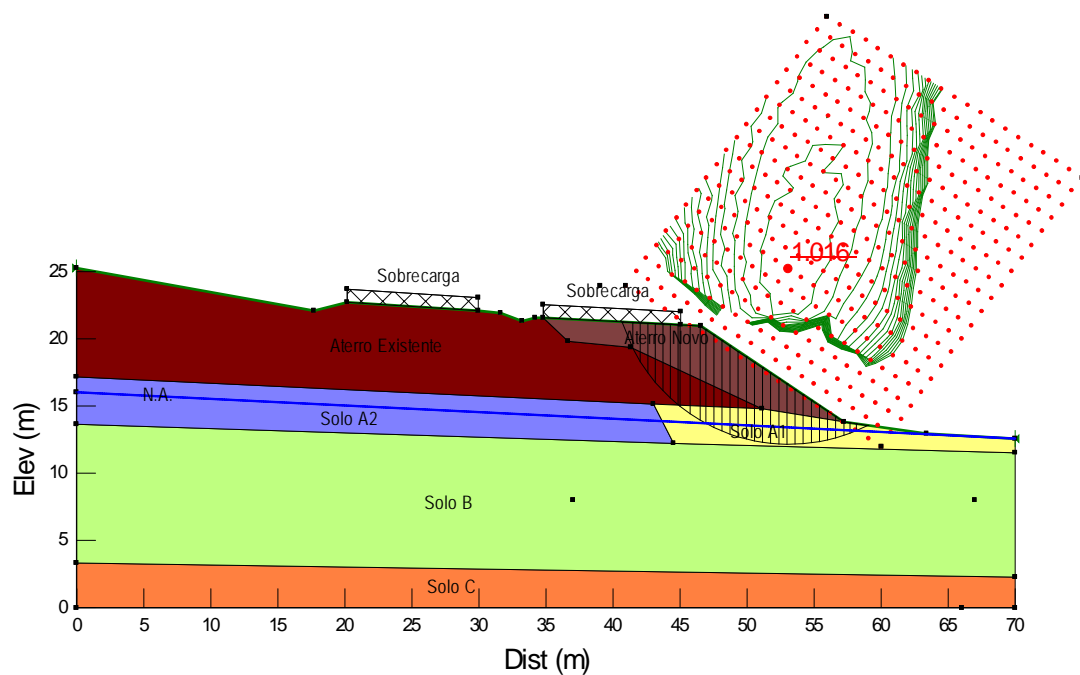
### 8.2. Análises de Estabilidade

A Figura 8.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 146+200.



**Figura 8.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 146+200).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 8.3.



**Figura 8.3** – Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Aterro - Estaca km 146+200).

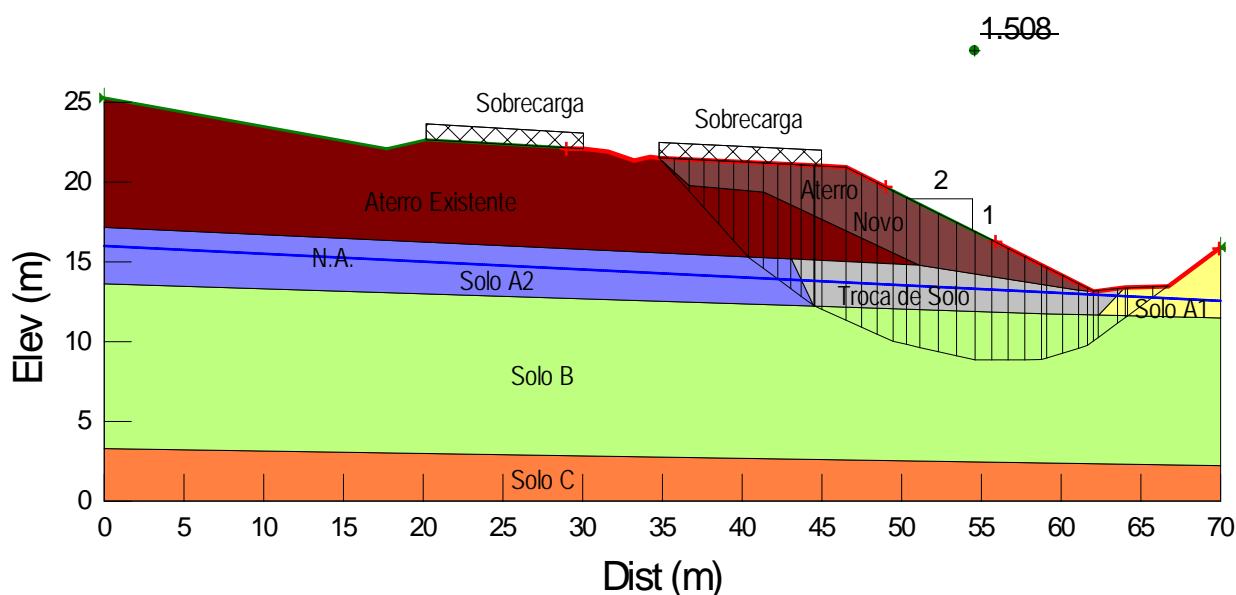


A partir da Figura 8.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,016 < 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico, ou seja, aterro sem bermas de equilíbrio e inclinação da saia de 1,5:1 (H:V).

Para a estabilização do aterro ( $FS > 1,5$ ), **sugere-se o tratamento da fundação do aterro e a redução da inclinação da saia do aterro para 2:1 (H:V).**

O tratamento aqui proposto de substituição da camada de solo mole por solo compactado também é recomendado como tratamento do solo de fundação dos bueiros que passam nesta mesma seção.

A Figura 8.4 apresenta a análise de estabilidade considerando a solução proposta.



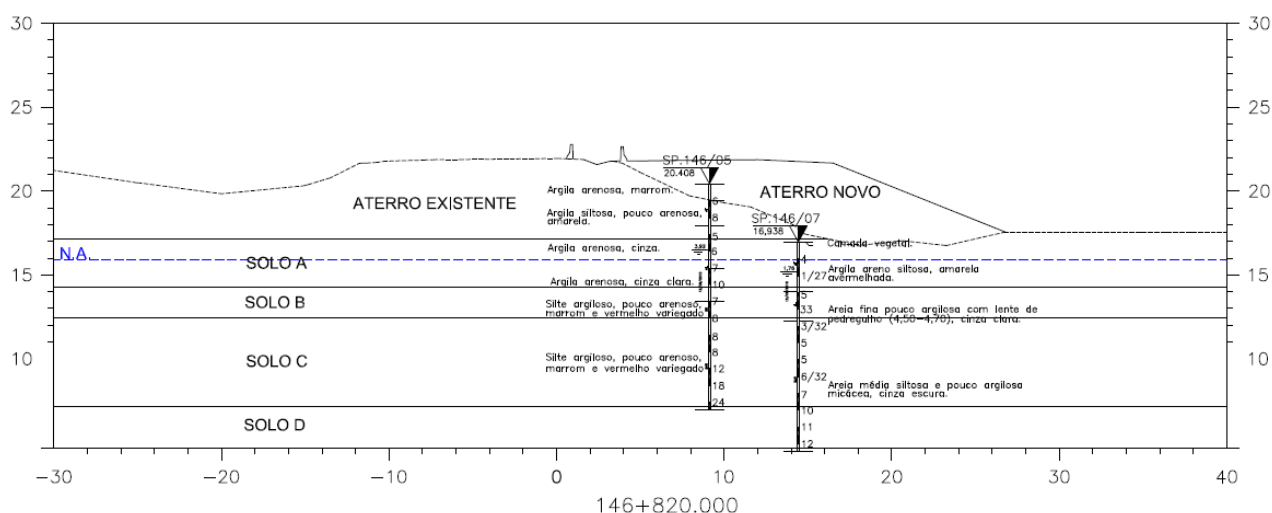
**Figura 8.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 146+200 – Solo Reposto).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,508 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 8.4. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com troca do solo mole e construção da saia do aterro com inclinação de 2:1 (H:V) apresenta estabilidade satisfatória.

## 9. ESTACA KM 146+820 (ATERRO)

### 9.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 9.1.



**Figura 9.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 146+820 - Aterro).

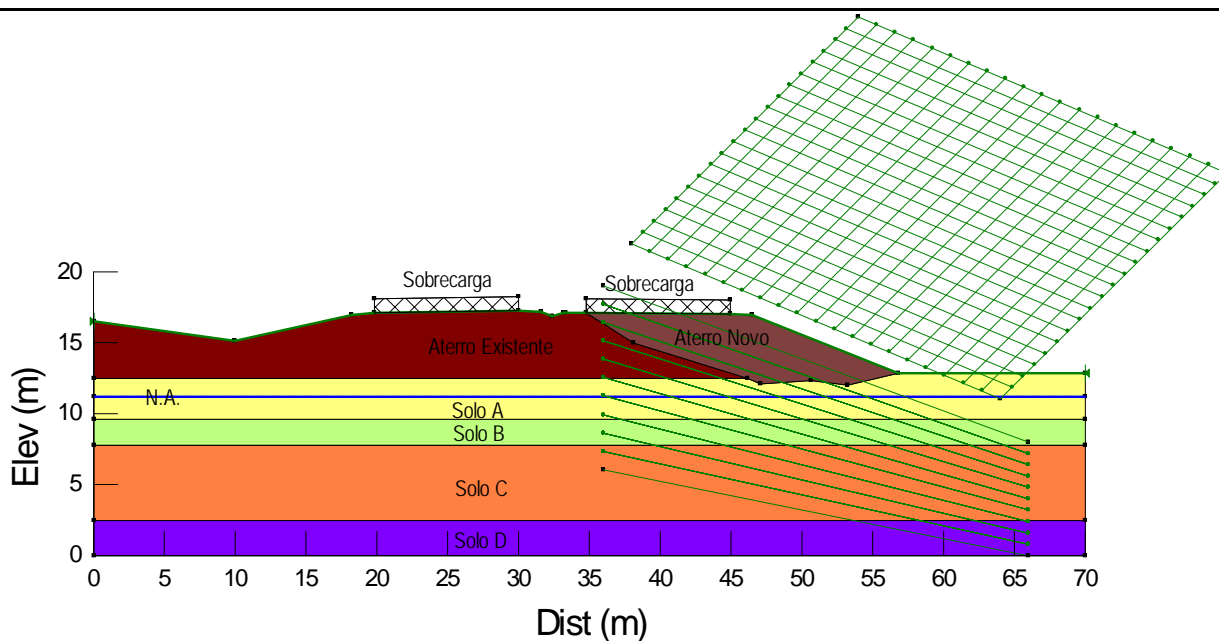
**Tabela 9.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Argila areno-siltosa (AL)	1/27 – 4	17	10	10	7500	0,30
B	Areia fina pouco argilosa (AL)	33	18	5	25	14000	0,30
C	Areia média siltosa, pouco argilosa (SAR)	3/32 - 7	18	5	25	10500	0,30
D	Areia média siltosa, pouco argilosa (SAR)	10 - 12	18	10	28	11000	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

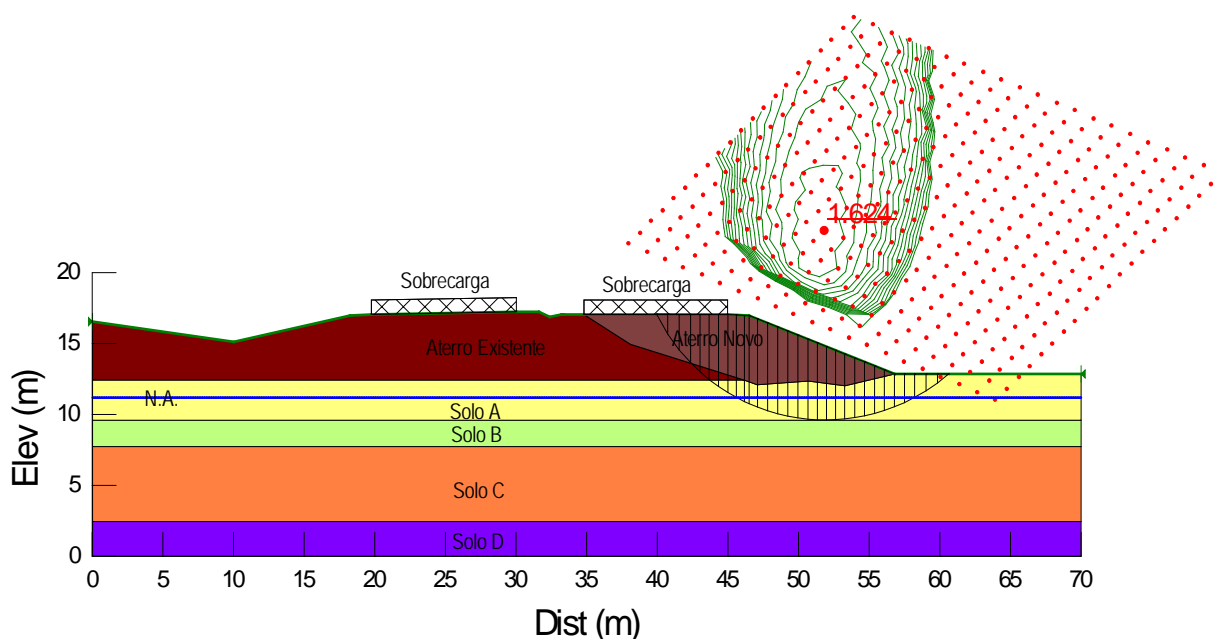
## 9.2. Análises de Estabilidade

A Figura 9.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 146+820.



**Figura 9.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 146+820).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 9.3.



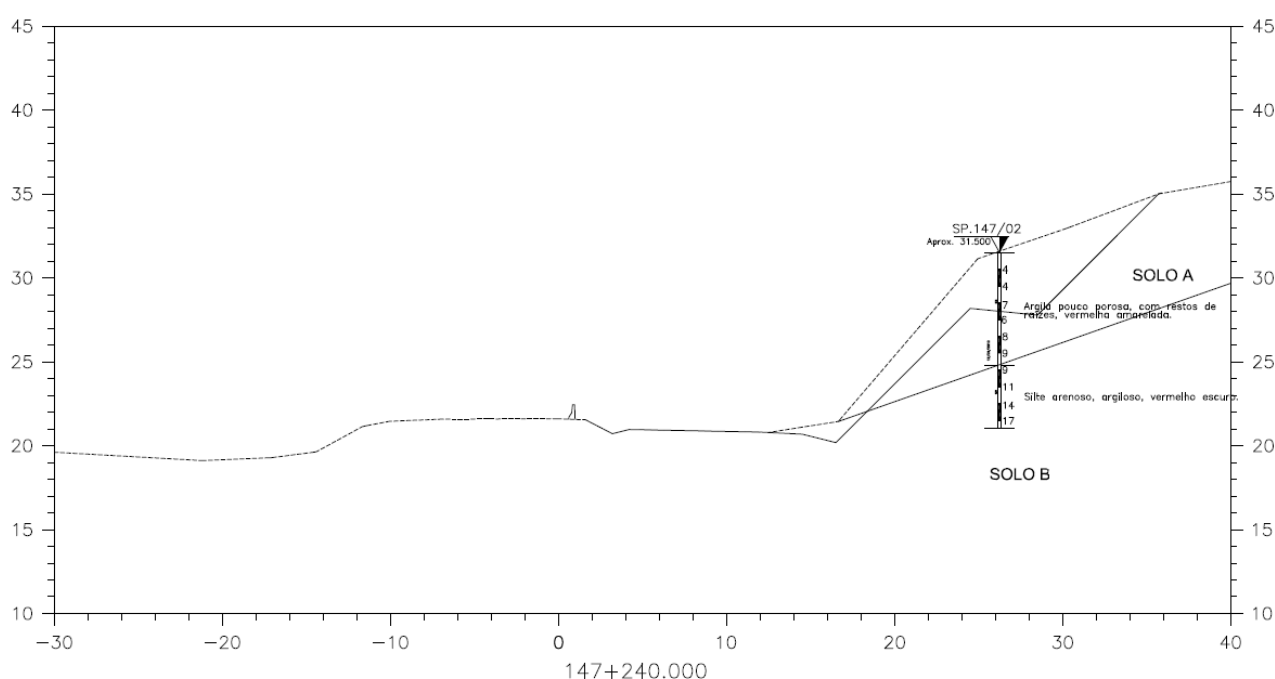
**Figura 9.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 146+820).

A partir da Figura 9.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,624 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 10. ESTACA KM 147+240 (CORTE)

### 10.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 10.1.



**Figura 10.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 147+240 - Corte).

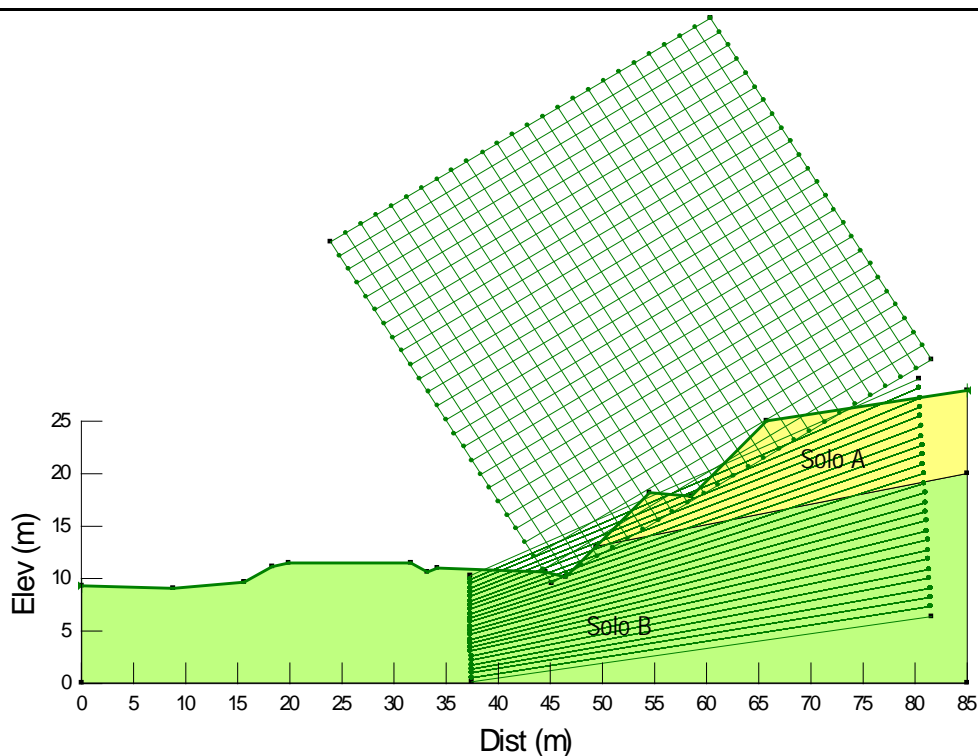
**Tabela 13.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
A	Argila pouco porosa com restos de raízes	4 - 9	18	18	20
B	Silte areno-argiloso	9 - 17	18	22	28

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

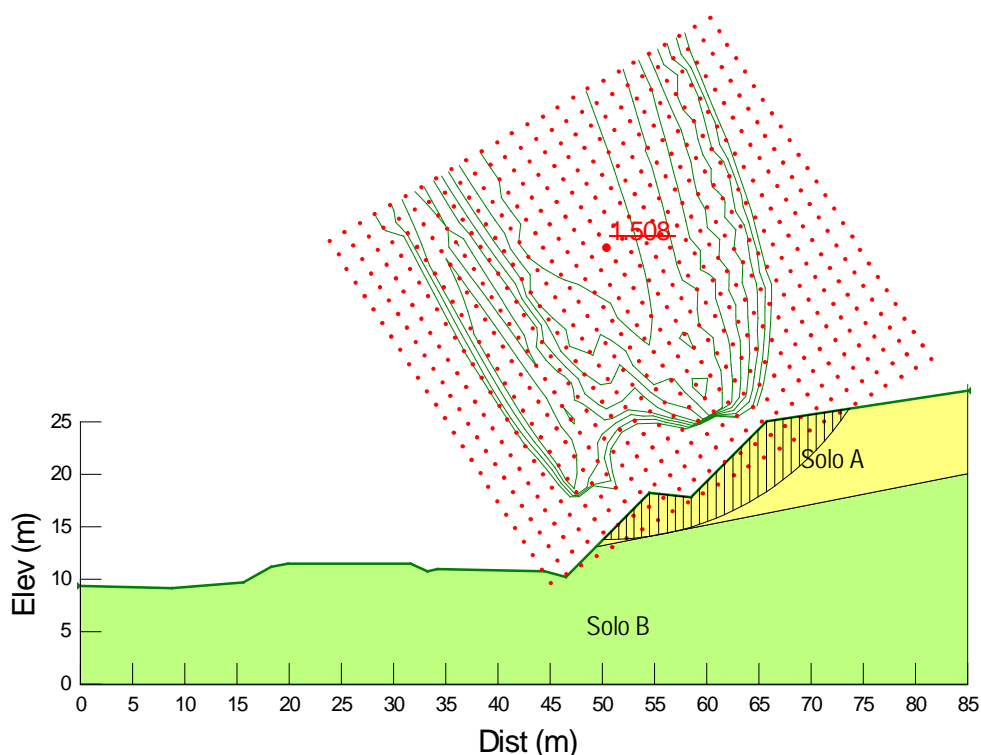
### 10.2. Análises de Estabilidade

A Figura 10.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 147+240.



**Figura 10.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 147+240).

Foram verificadas 17576 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 10.3.



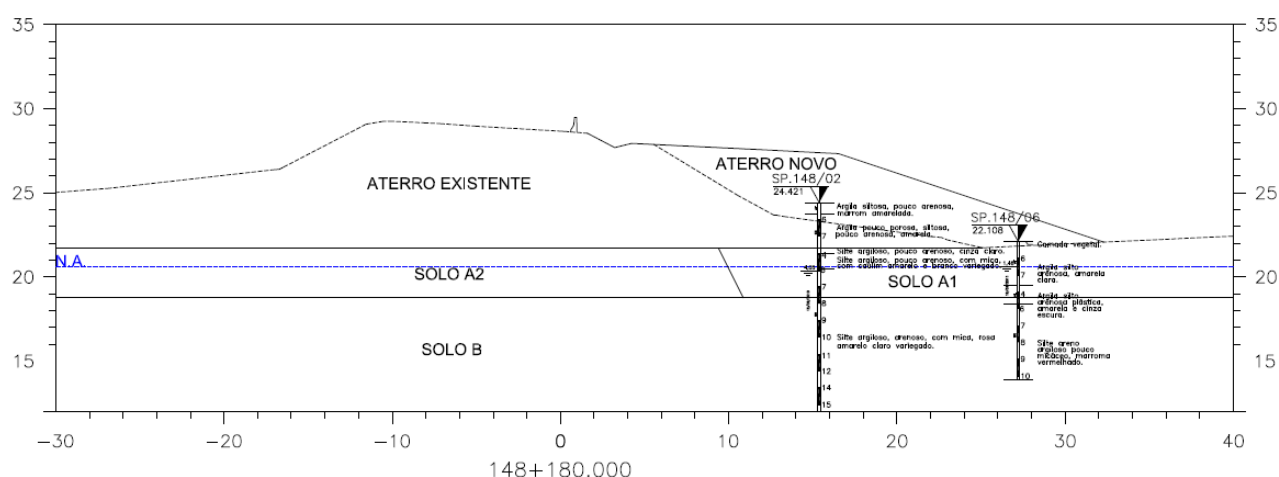
**Figura 10.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 147+240).

A partir da Figura 10.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,508 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória.

## 11. ESTACA KM 148+180 (ATERRO)

### 11.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 11.1.



**Figura 11.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 148+180 - Aterro).

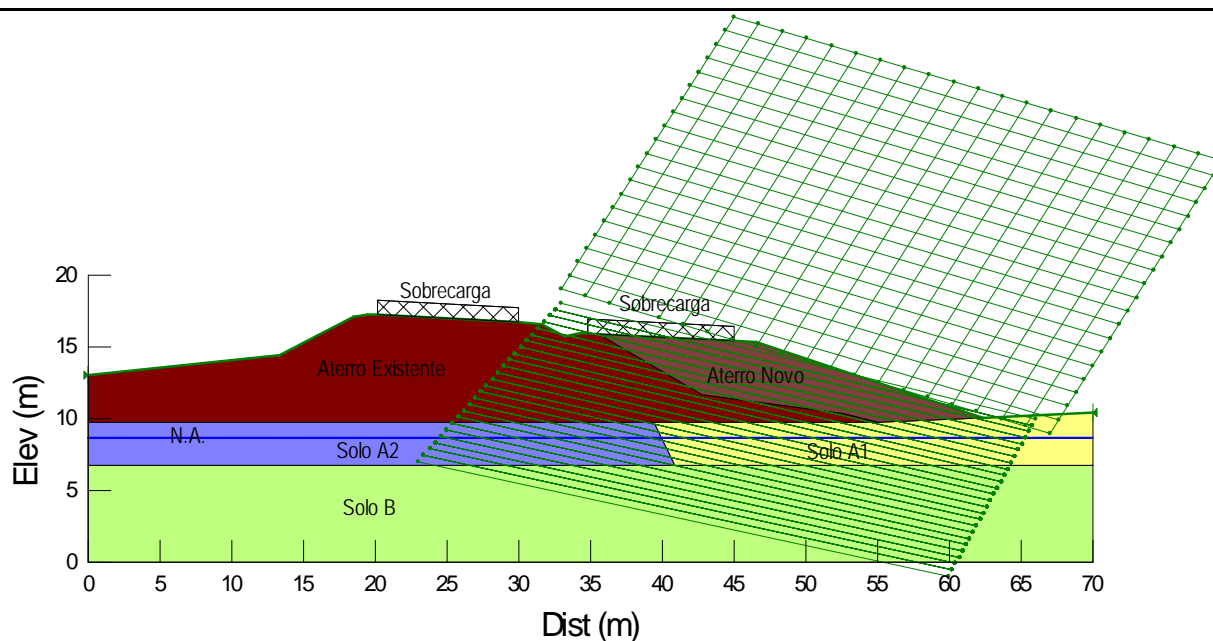
**Tabela 11.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila silto-arenosa (AL)	1 – 2	17	10	10	7000	0,30
A2	Argila silto-arenosa (AL)	1 – 2	17	13	13	7500	0,30
B	Silte argilo-arenoso (SR)	7 - 11	18	22	13	10500	0,25
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

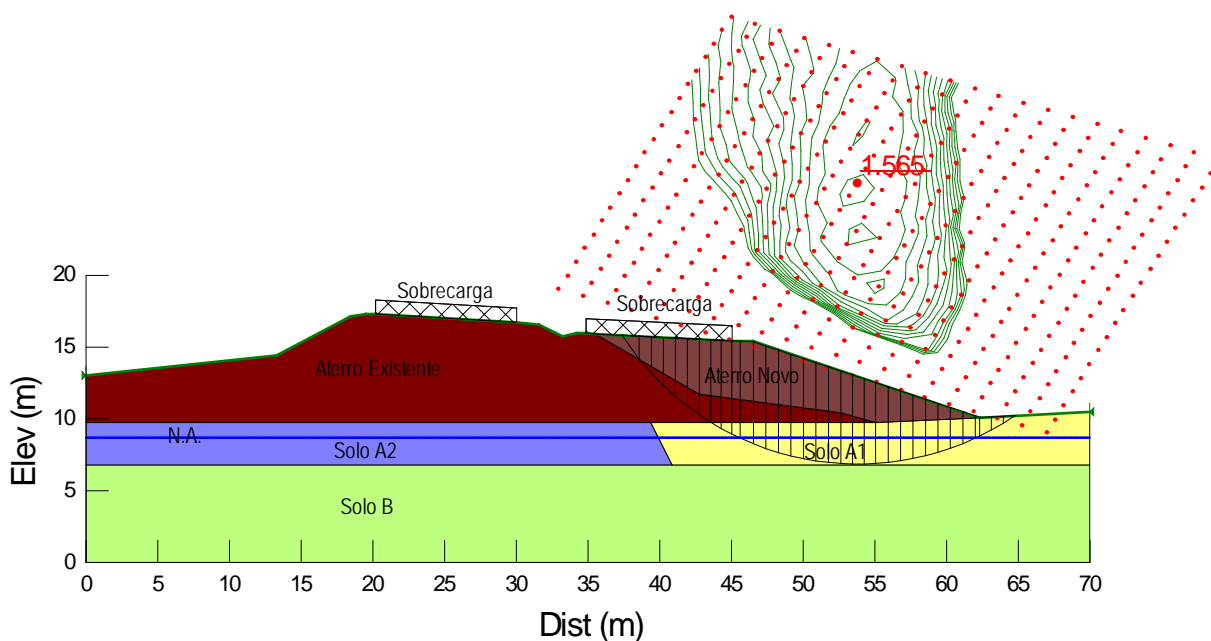
### 11. Análises de Estabilidade

A Figura 11.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 148+180 Estaca km 148+180.



**Figura 11.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 148+180).

Foram verificadas 11466 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 11.3.



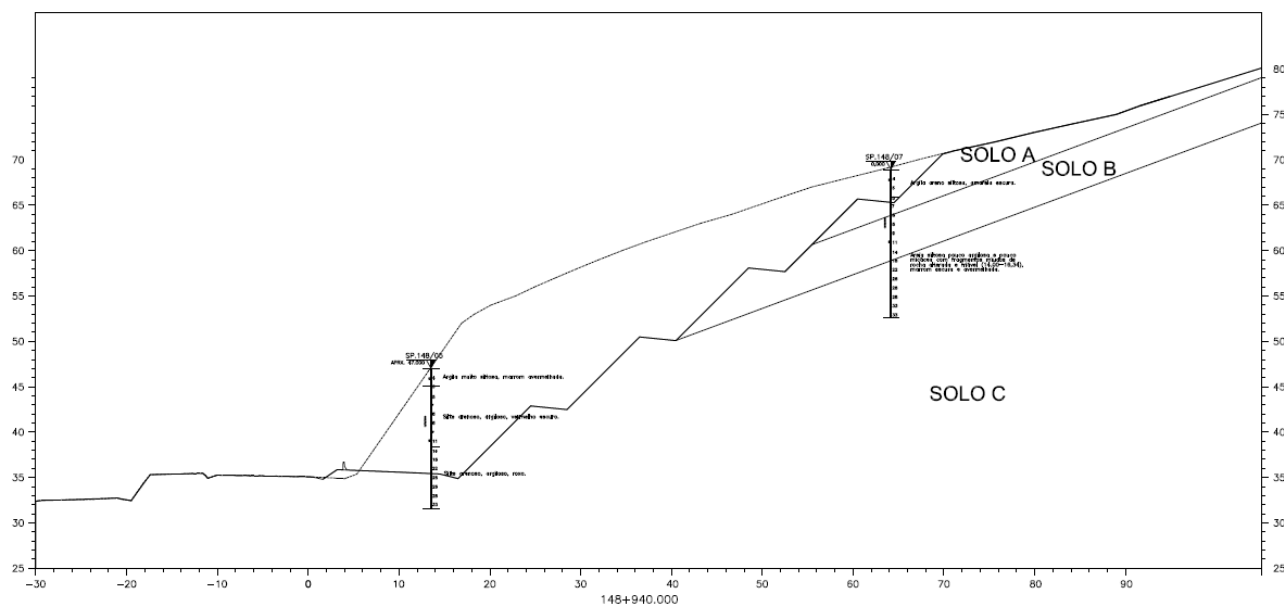
**Figura 11.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 148+180).

A partir da Figura 11.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,565 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 12. ESTACA KM 148+940 (CORTE)

### 12.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 12.1.



**Figura 12.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 148+940 - Corte).

**Tabela 10.1** – Parâmetros adotados.

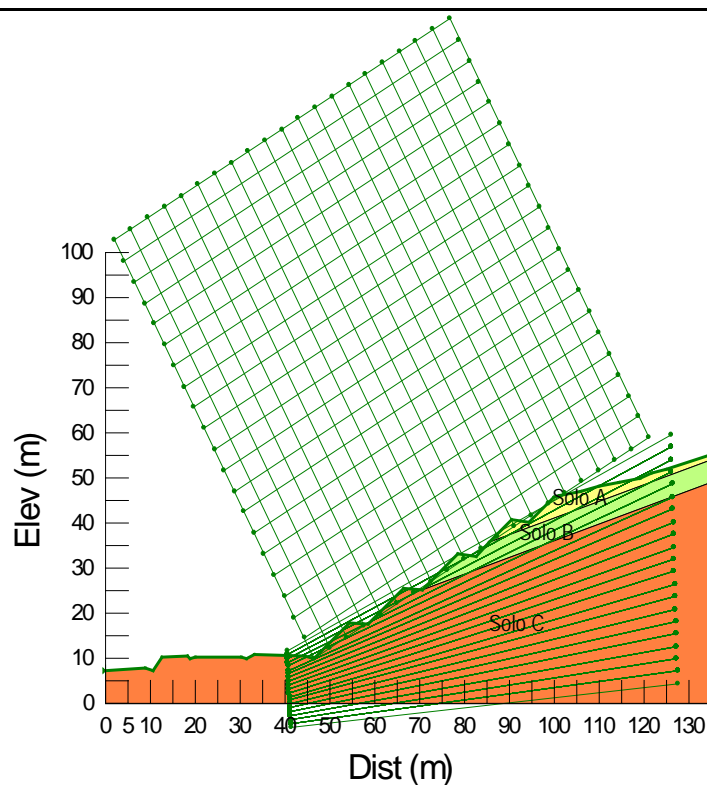
Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma(kN/m^3)$	$c' (kPa)$	$\phi' (^\circ)$
A	Argila arenó-siltosa (SR)	4	17	20	15
B	Areia siltosa pouco argilosa (SR)	4 - 10	18	10	25
C	Areia siltosa pouco argilosa (SR)	14 - 25	20	25	28

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

### 12.2. Análises de Estabilidade

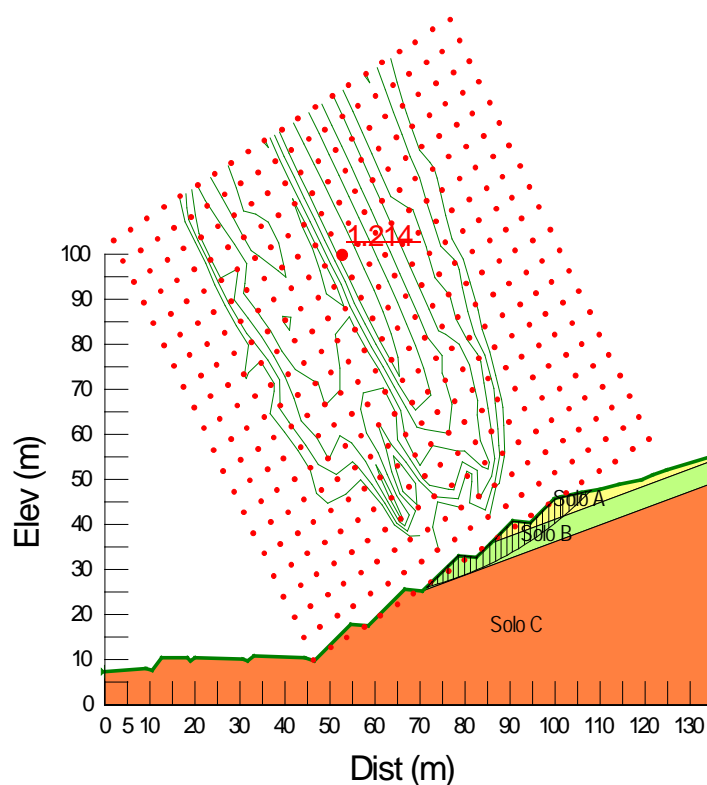
A Figura 12.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 148+940.





**Figura 12.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte – Estaca km 148+940).

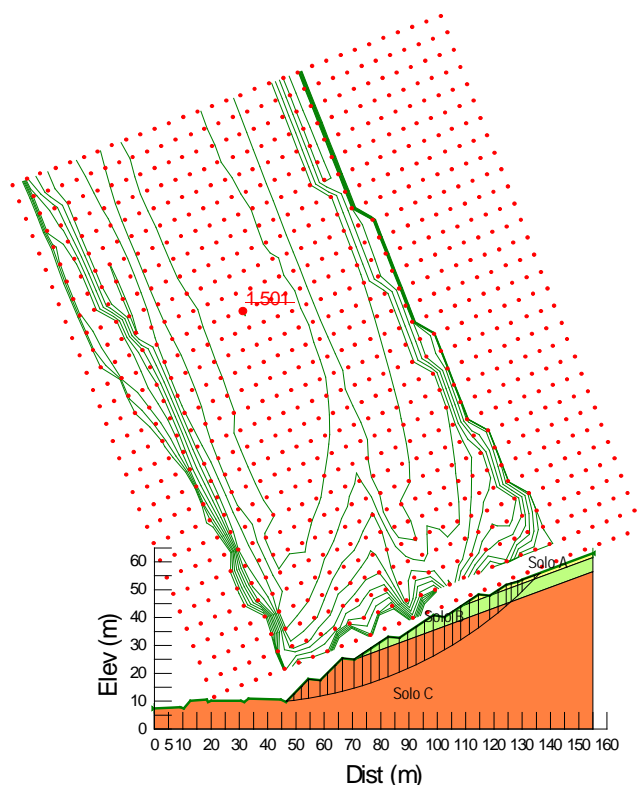
Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 12.3.



**Figura 12.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 148+940).

A partir da Figura 12.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,214 < 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

Como a cunha crítica de ruptura envolve todos os lances a partir da segunda banquetta (3º, 4º e 5º lances) a **solução proposta para a estabilização do corte em questão é reduzir a inclinação dos 3º, 4º e 5º lances para 1,5:1 (H:V)**. A Figura 12.4 apresenta a análise de estabilidade considerando a solução proposta.



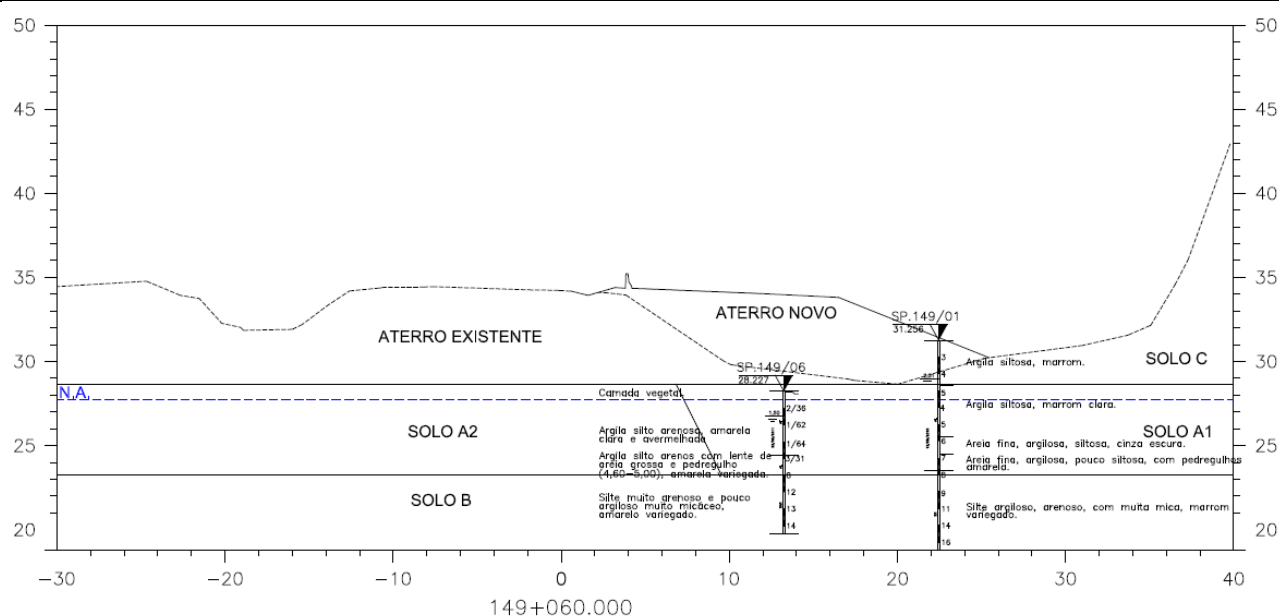
**Figura 12.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Corte - Estaca km 148+940 – mudança de inclinação dos 3º, 4º e 5º lances para 1,5:1 (H:V)).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,501 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 12.4. **Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte com inclinação do 1º e do 2º lance de 1:1 (H:V) e inclinação dos 3º, 4º, 5º e 6º lances de 1,5:1 (H:V) apresenta estabilidade satisfatória.**

### 13. ESTACA KM 149+060 (ATERRO)

#### 13.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 13.1.



**Figura 13.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 149+060 - Aterro)

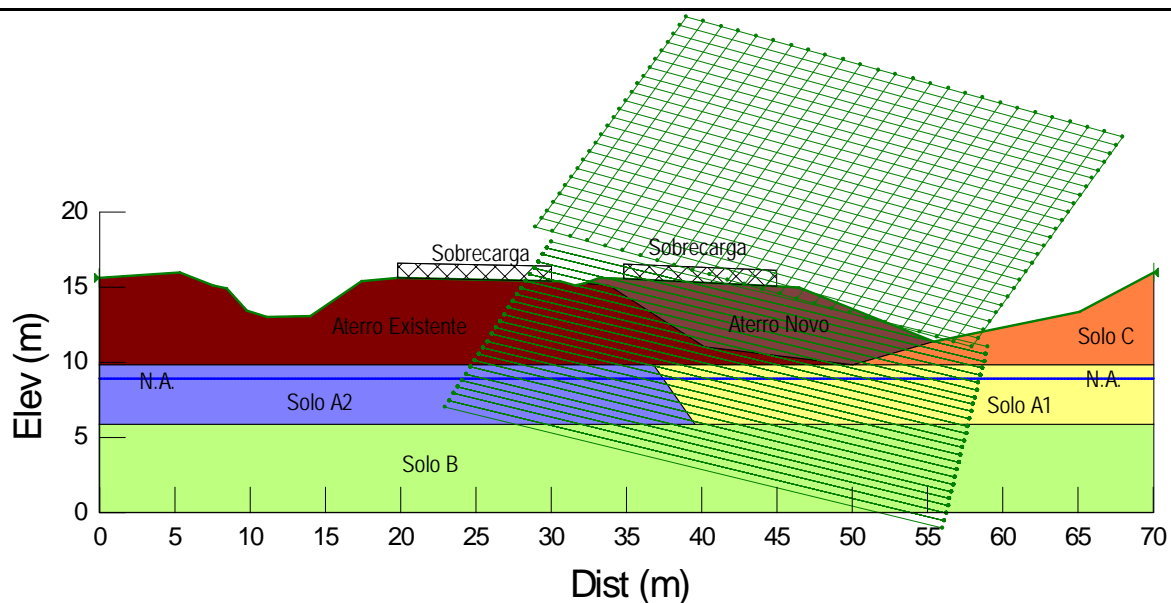
**Tabela 13.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila silto-arenosa (AL)	1/64 – 3/31	16	10	10	7000	0,30
A2	Argila silto-arenosa (AL)	1/64 – 3/31	17	15	15	7500	0,30
B	Silte areno-argiloso (SR)	8 - 14	18	18	22	11000	0,25
C	Argila siltosa (AT)	3 - 4	17	12	10	7500	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

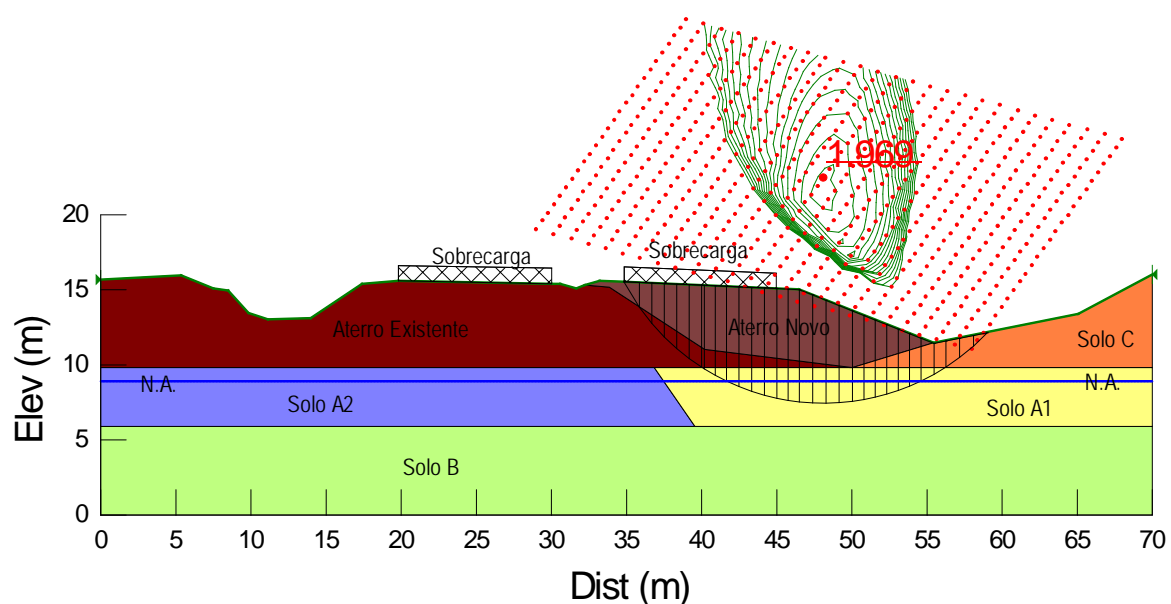
### 13.2. Análises de Estabilidade

A Figura 13.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 149+060.



**Figura 13.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 149+060).

Foram verificadas 17576 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 13.3.



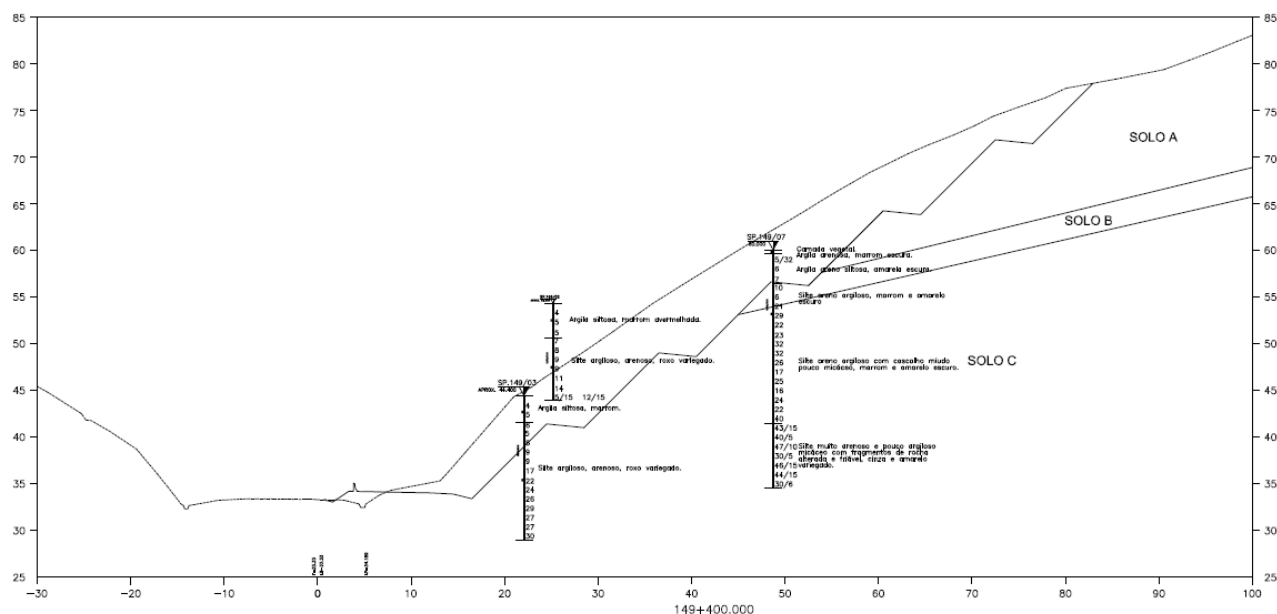
**Figura 13.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 149+060).

A partir da Figura 13.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,969 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 14. ESTACA KM 149+400 (CORTE)

### 14.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 14.1.



**Figura 14.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 149+400 - Corte).

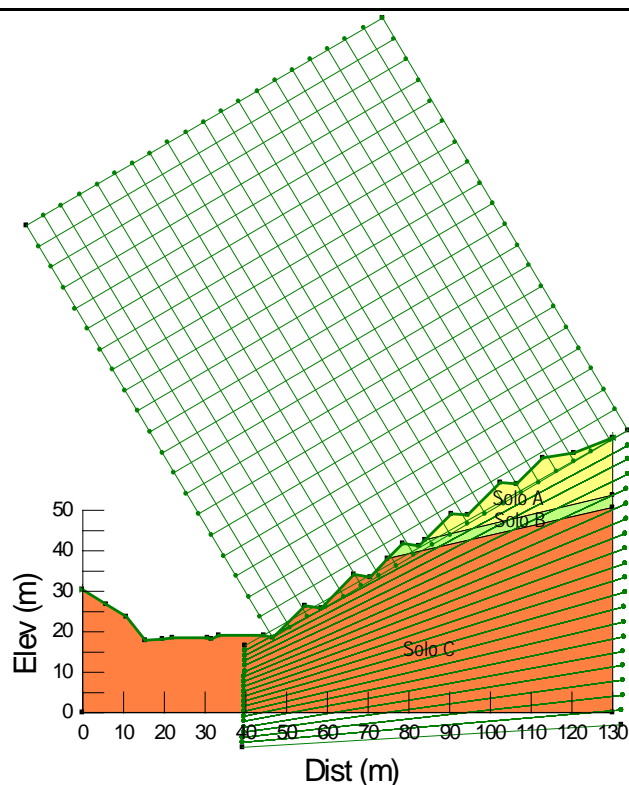
**Tabela 14.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
A	Argila areno-siltosa (SR)	5/23 - 7	18	20	18
B	Silte areno-argiloso (SR)	6 - 7	18	18	23
C	Silte areno-argiloso (SR)	15 - 25	20	28	30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

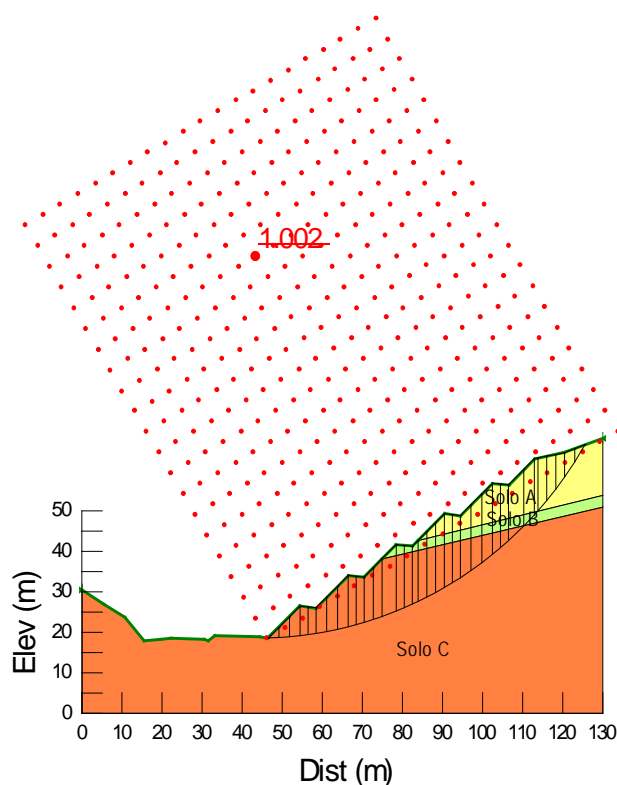
### 14.2. Análises de Estabilidade

A Figura 14.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 149+400.



**Figura 14.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 149+400).

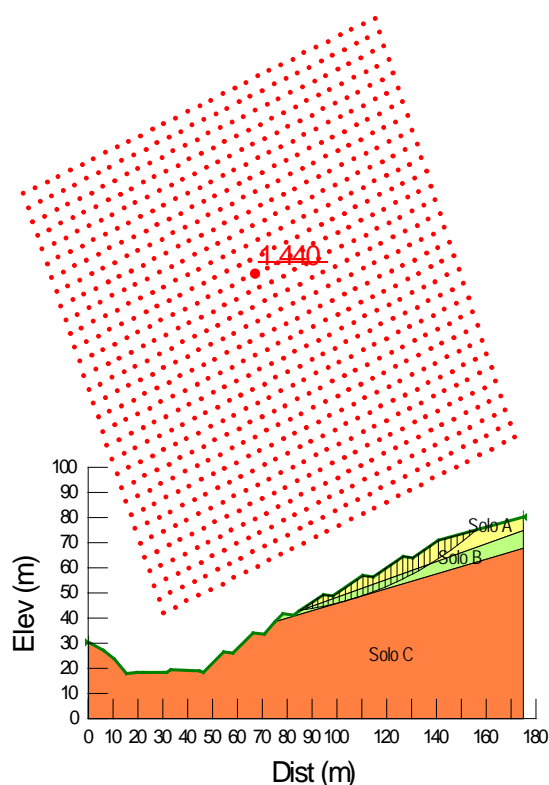
Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 14.3.



**Figura 14.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 149+400).

A partir da Figura 14.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,002 < 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

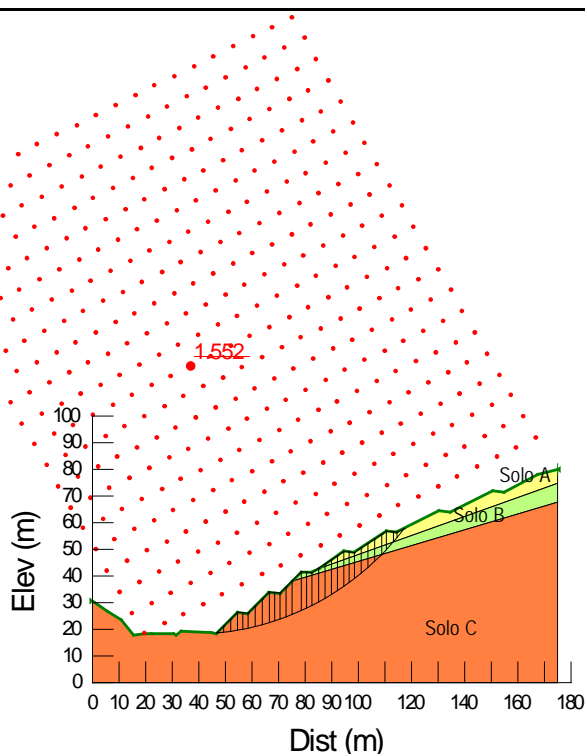
Inicialmente, foi verificada a estabilidade do corte alterando-se a inclinação de todos os lances a partir da terceira banquetta (4º, 5º, 6º e 7º lances) para 1,5:1 (H:V), conforme apresentado na Figura 14.4.



**Figura 14.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Corte - Estaca km 149+400 – mudança de inclinação dos 4º, 5º, 6º e 7º lances para 1,5:1 (H:V)).

Como mostrado na Figura 14.4, reduzindo-se a inclinação do 4º, 5º, 6º e 7º lances para 1,5:1 (H:V) o fator de segurança alcançado foi de  $FS = 1,440 < 1,5$ .

Buscando-se atingir o fator de segurança de 1,5 foi verificada a estabilidade do corte alterando-se a inclinação do 4º e 5º lances (a partir da terceira banquetta) para 1,5:1 (H:V) e do 6º, 7º e 8º lances (a partir da quinta banquetta) para 2:1 (H:V), conforme apresentado na Figura 14.5.



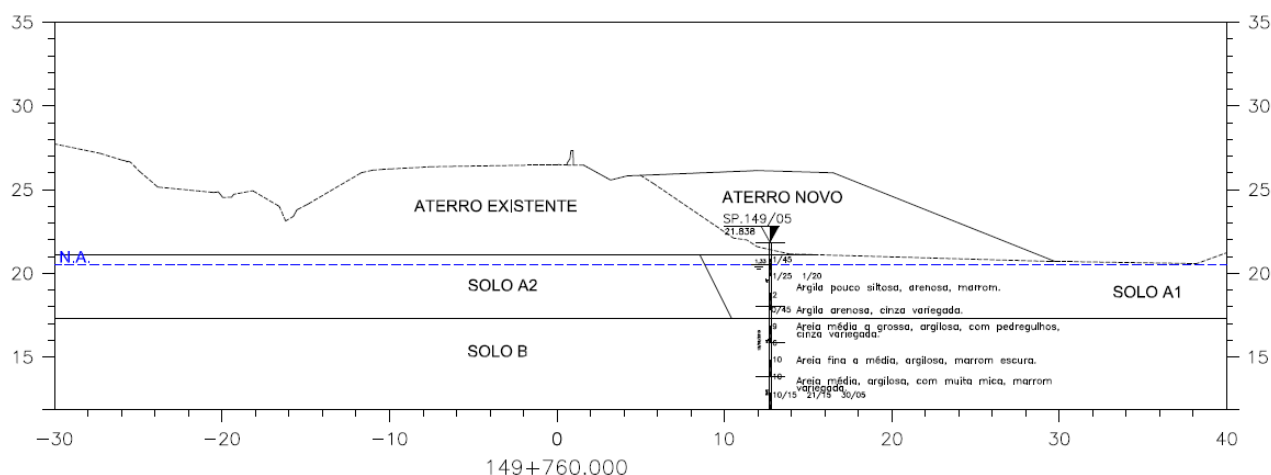
**Figura 14.5** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 149+400 – mudança de inclinação dos 4º e 5º lances para 1,5:1 (H:V) e dos 6º, 7º e 8º lances para 2:1 (H:V)).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,552 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 14.5. **Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte com inclinação do 1º, 2º e 3º lances de 1:1 (H:V), do 4º e 5º lances de 1,5:1 (H:V) e do 6º, 7º e 8º lances de 2:1 (H:V) apresenta estabilidade satisfatória.**

## 15. ESTACA KM 149+760 (ATERRO)

### 15.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 15.1.



**Figura 15.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 149+760 - Aterro).



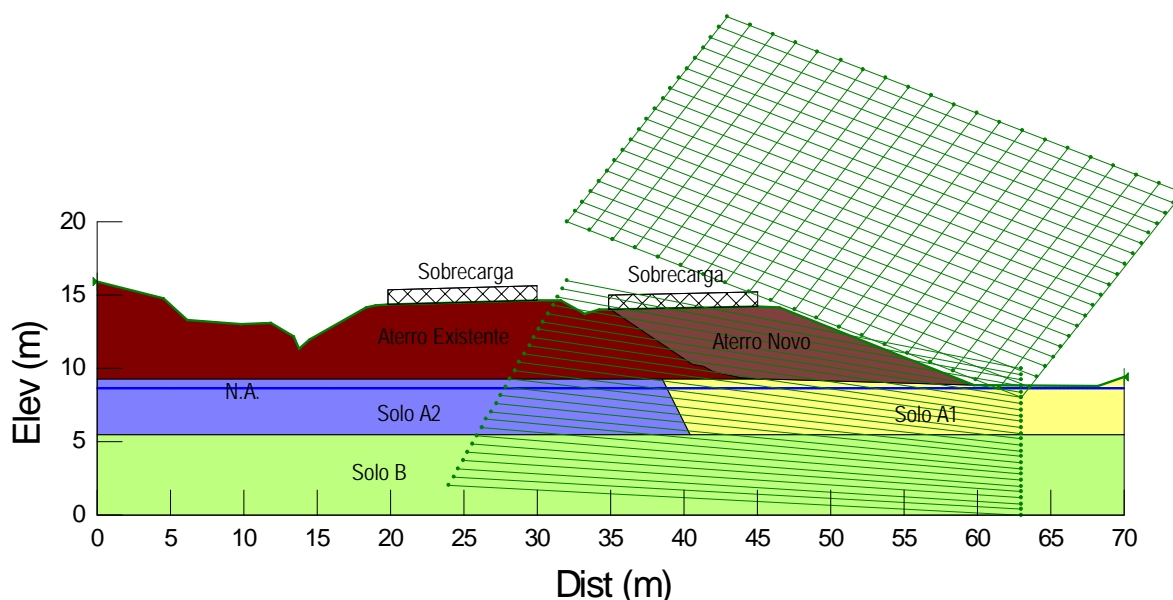
**Tabela 15.1 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila pouco siltosa, arenosa (AT)	0/45 – 2	16	10	0	7000	0,35
A2	Argila pouco siltosa, arenosa (AT)	0/45 – 2	17	12	12	7500	0,35
B	Areia argilosa (AL)	6 – 10	18	7	25	10500	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

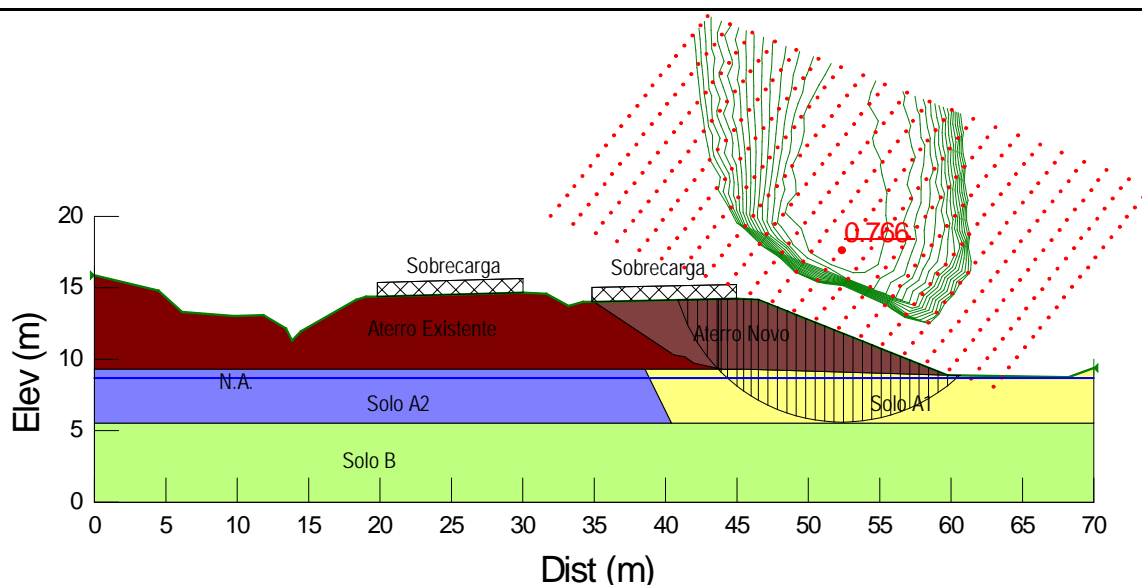
## 15.2. Análises de Estabilidade

A Figura 15.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 149+760.



**Figura 15.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 149+760).

Foram verificadas 11466 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 15.3.



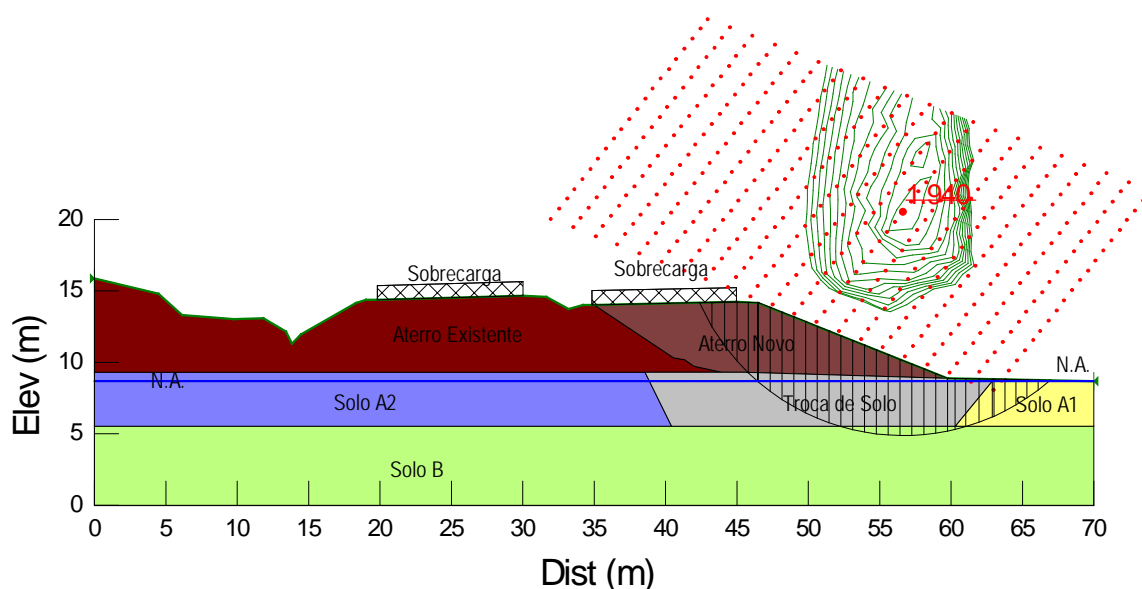
**Figura 15.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 149+760).

A partir da Figura 15.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 0,766 < 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico, ou seja, aterro sem berma de equilíbrio e inclinação da saia de 2,5:1 (H:V).

Devido à baixa resistência ao cisalhamento da camada de Solo A1 **sugere-se o tratamento da fundação do aterro.**

**O tratamento aqui proposto de substituição da camada de solo mole por solo compactado também é recomendado como tratamento do solo de fundação dos bueiros que passam nesta mesma seção.**

A Figura 15.4 apresenta a análise de estabilidade considerando a solução proposta.



**Figura 15.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 149+760 – Solo Reposto).

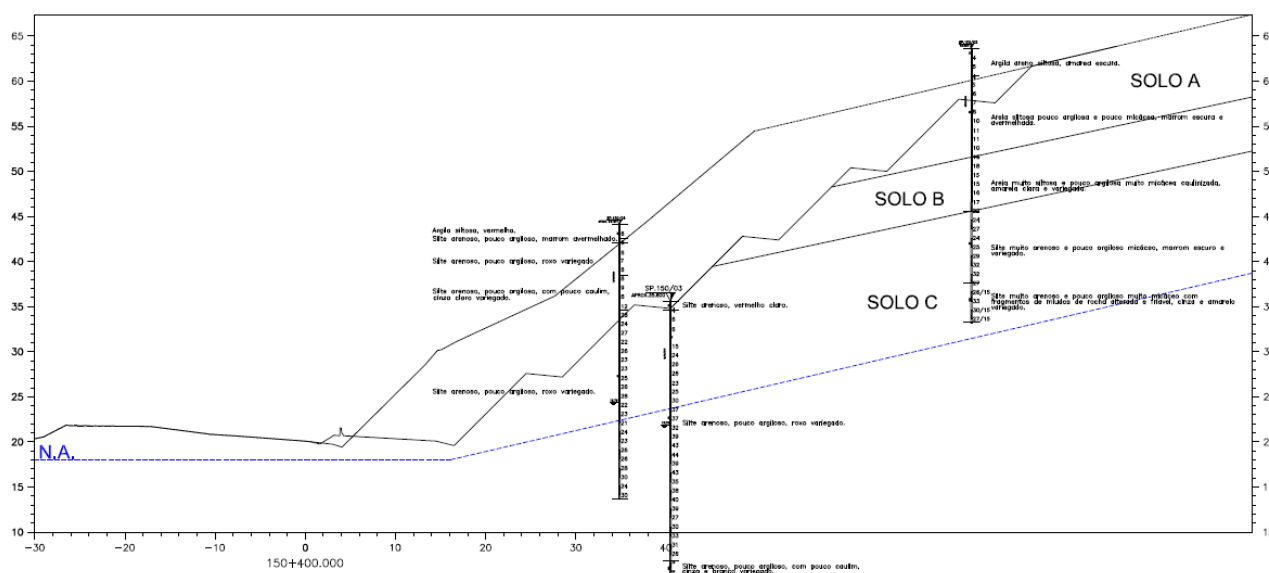
O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,940 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 15.4. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com troca do solo mole de fundação apresenta estabilidade satisfatória.

## 16. ESTACA KM 150+400 (CORTE)

### 16.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 16.1.

Na Figura 16.1 que o nível freático está aproximadamente 1,5 m abaixo do pé do talude de corte. Neste caso, **recomenda-se o emprego de dreno de pé com adequada transição granulométrica para que seja evitada a erosão do solo do talude.**



**Figura 16.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 150+400 - Corte).

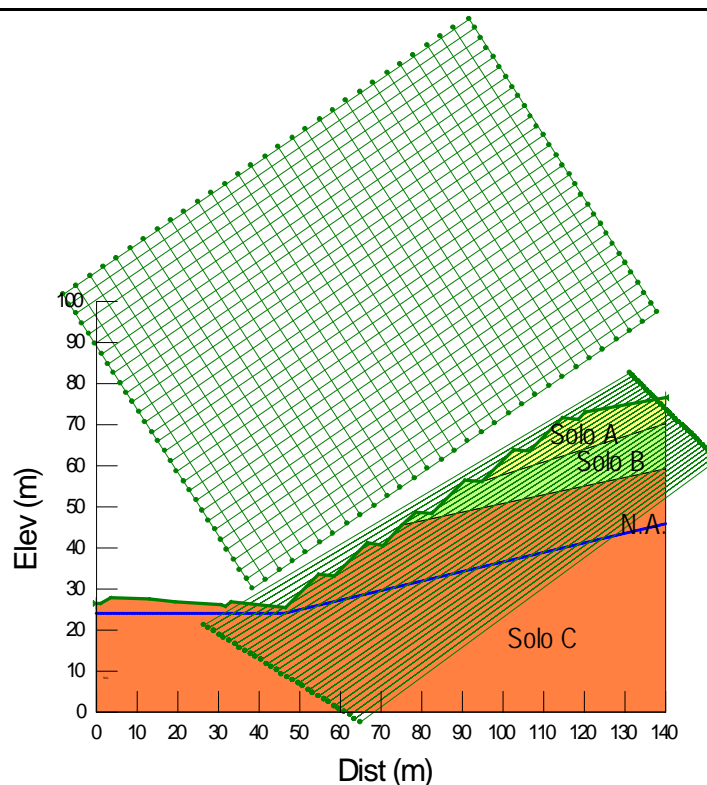
**Tabela 16.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
A	Argila areno-siltosa (SR)	4 - 5	17	20	15
B	Silte arenoso, pouco argiloso (SR)	6 - 10	18	18	25
C	Silte arenoso, pouco argiloso (SR)	15 - 25	20	25	28

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

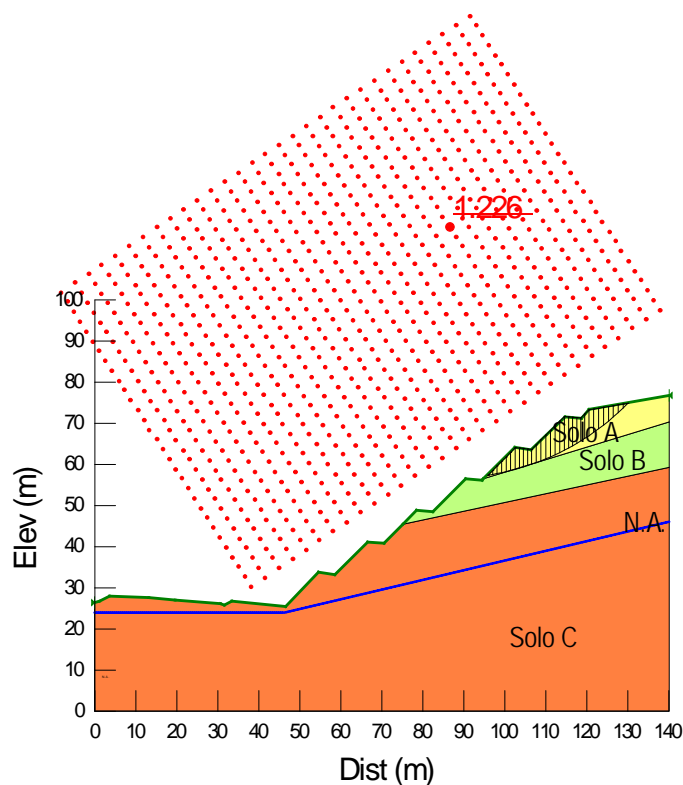
### 15.2. Análises de Estabilidade

A Figura 16.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 150+400.



**Figura 16.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 150+400).

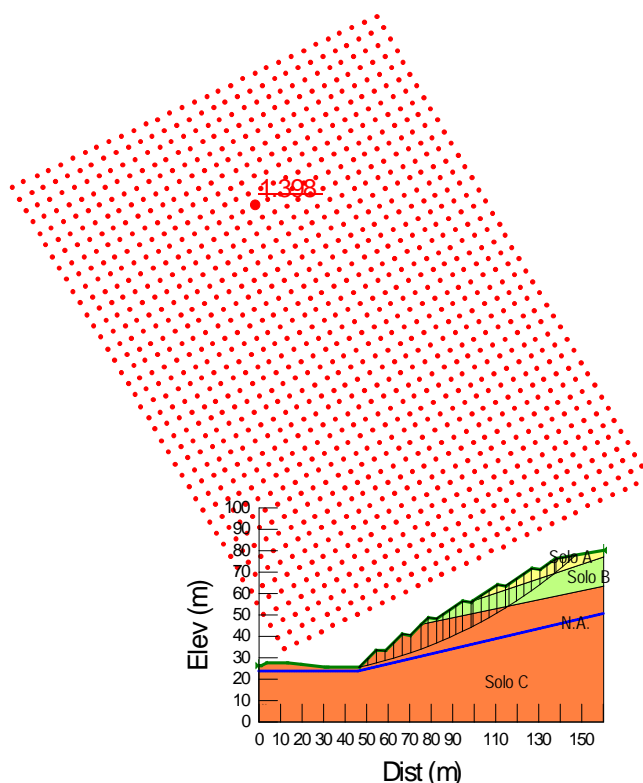
Foram verificadas 29791 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 16.3.



**Figura 16.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 150+400).

A partir da Figura 16.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,226 < 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

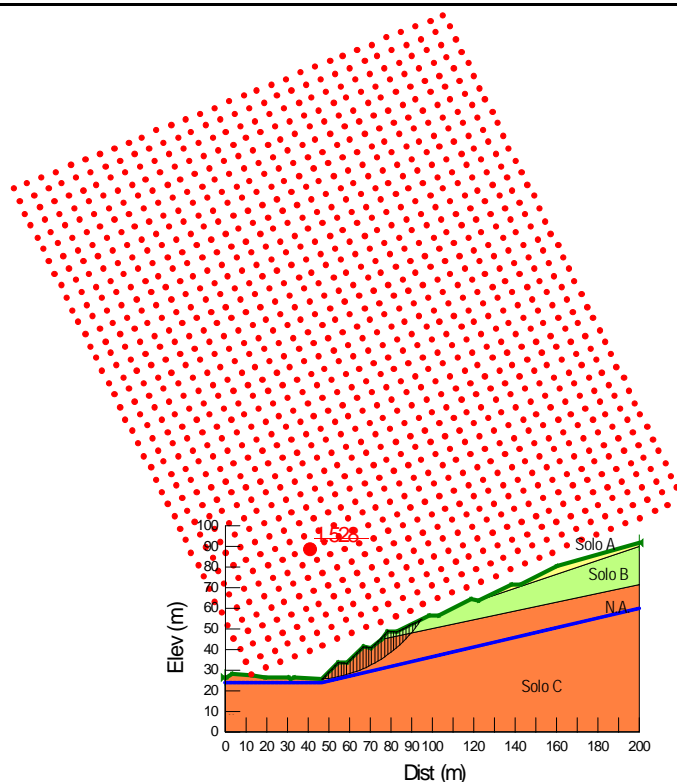
Inicialmente, foi verificada a estabilidade do corte alterando-se a inclinação de todos os lances a partir da terceira banquetta (4º, 5º, 6º e 7º lances) para 1,5:1 (H:V), conforme apresentado na Figura 16.4.



**Figura 16.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Corte - Estaca km 150+400 – mudança de inclinação dos 4º, 5º, 6º e 7º lances para 1,5:1 (H:V)).

Como mostrado na Figura 15.4, reduzindo-se a inclinação do 4º, 5º, 6º e 7º lances para 1,5:1 (H:V) o fator de segurança alcançado foi de  $FS = 1,398 < 1,5$ .

Buscando-se atingir o fator de segurança de 1,5 foi verificada a estabilidade do corte alterando-se a inclinação de todos os lances a partir da terceira banquetta (4º, 5º, 6º e 7º lances) para 2:1 (H:V), conforme apresentado na Figura 16.5.



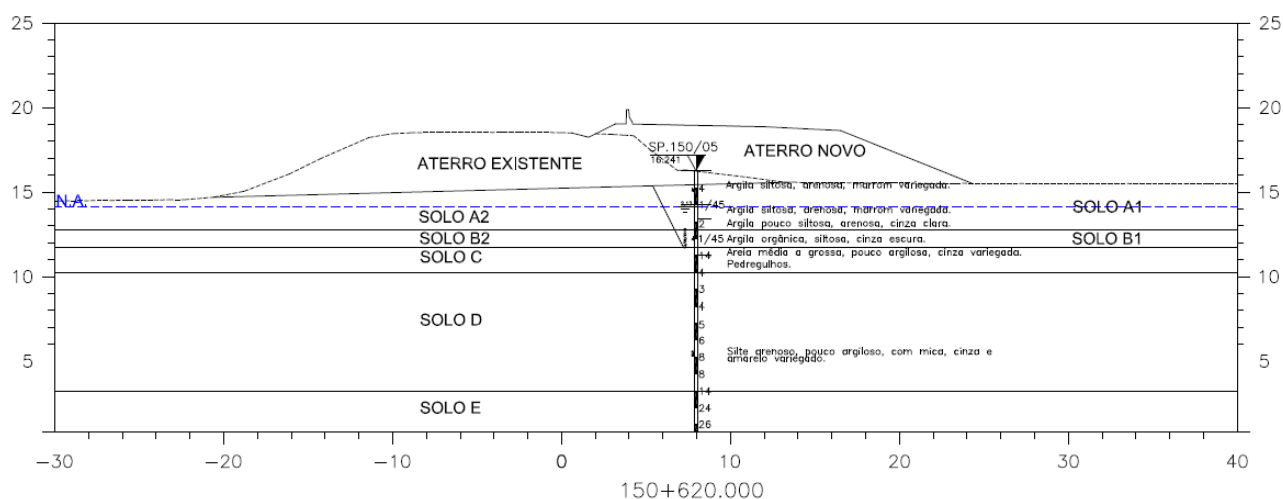
**Figura 16.5** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 150+400 – mudança de inclinação do 4º, 5º, 6º e 7º lances para 2:1 (H:V)).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,528 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 16.5. **Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte com inclinação do 4º, 5º, 6º e 7º lances de 2:1 (H:V) apresenta estabilidade satisfatória.**

## 17. ESTACA KM 150+620 (ATERRO)

### 17.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 17.1.



**Figura 17.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 150+620 - Aterro).

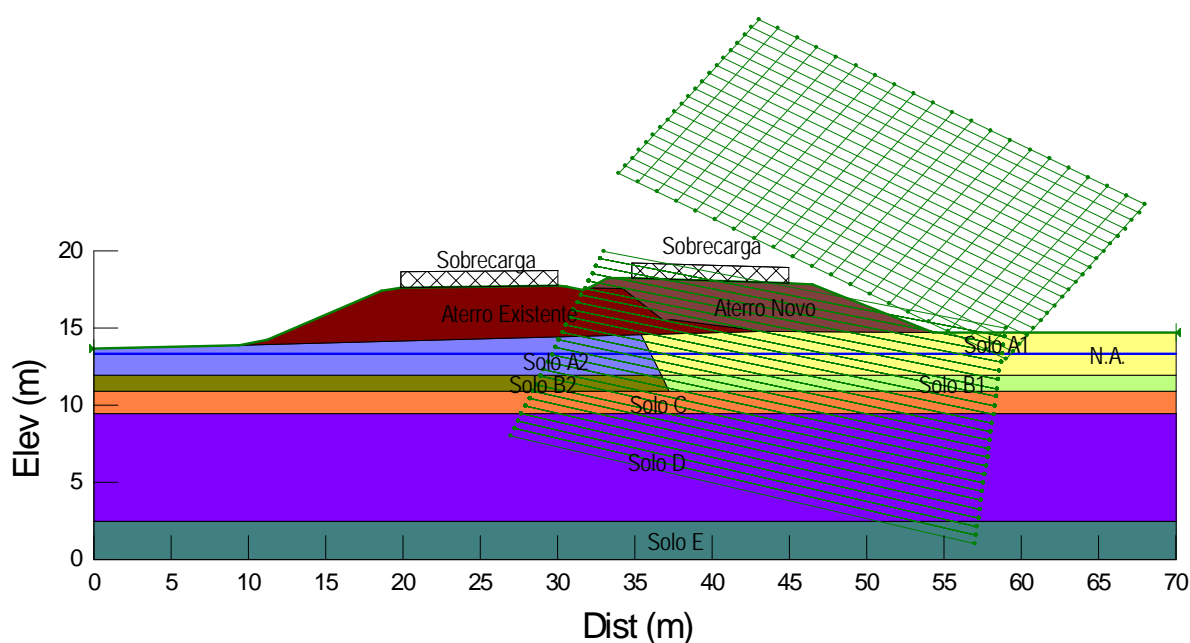
**Tabela 17.1 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila silto-arenosa (AT)	1/45 – 4	15	15	10	7000	0,30
A2	Argila silto-arenosa (AT)	1/64 – 3/31	17	13	13	7500	0,30
B1	Argila orgânica siltosa (AL)	1/45	16	15	0	2000	0,40
B2	Argila orgânica siltosa (AL)	1/45	16	15	5	2500	0,40
C	Areia pouco argilosa (AL)	10	17	5	25	10500	0,30
D	Silte arenoso pouco argiloso (SAR)	3 – 8	18	7	20	10500	0,30
E	Silte arenoso pouco argiloso (SAR)	14 – 24	19	20	26	11000	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

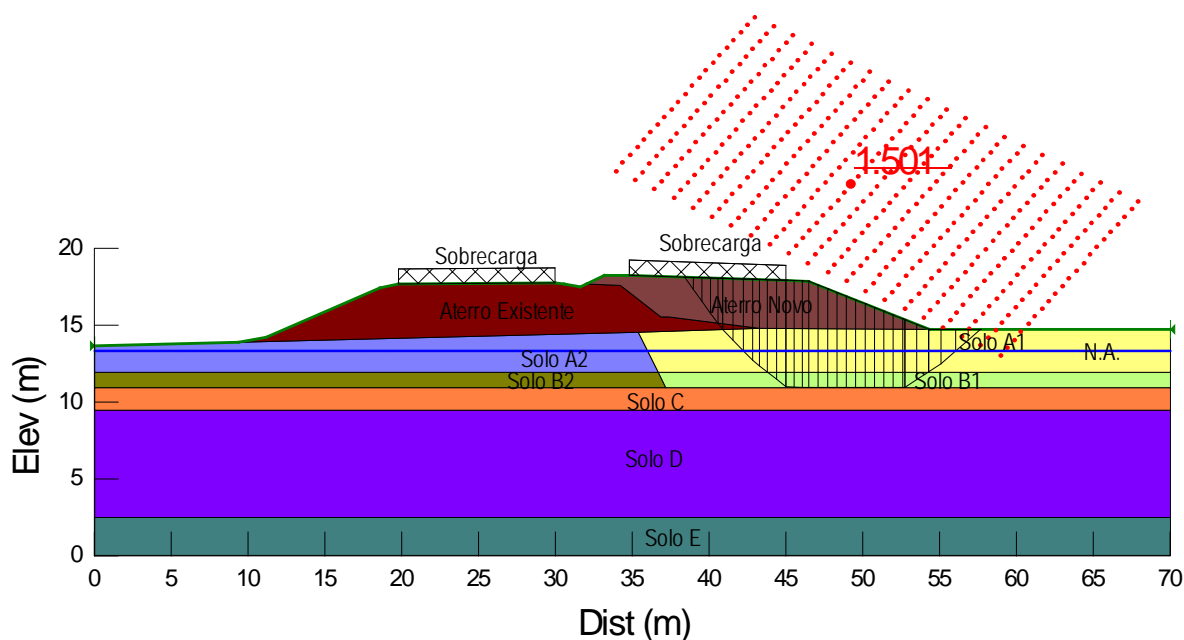
## 17.2. Análises de Estabilidade

A Figura 17.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 150+620.



**Figura 17.2 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 150+620).**

Foram verificadas 11466 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 17.3.



**Figura 17.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 150+620).

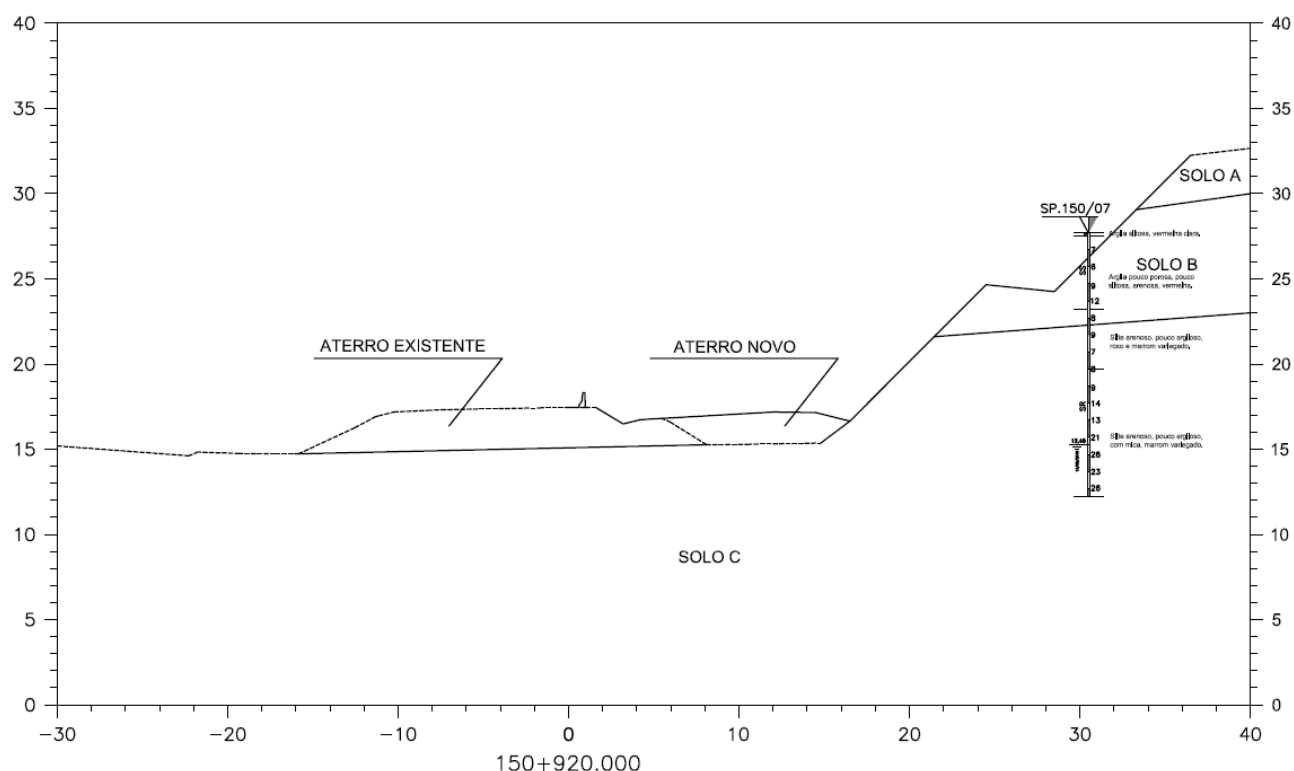
A partir da Figura 16.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,501 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 18. ESTACA KM 150+920 (CORTE)

### 18.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 18.1.





**Figura 18.1** – Perfil geotécnico e localização da sondagem da seção transversal analisada (Estaca km 150+920 - Corte).

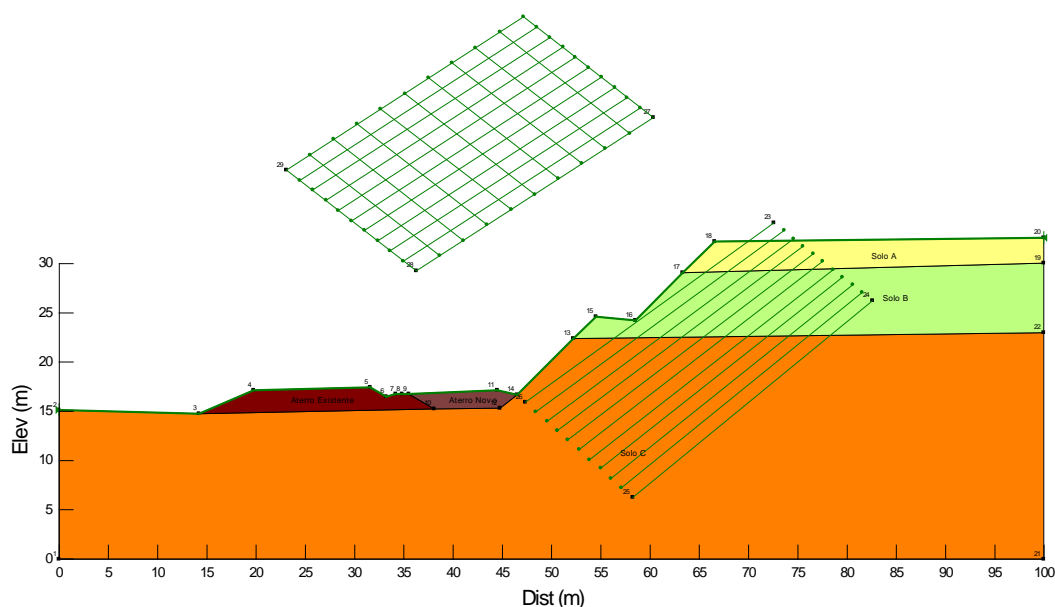
**Tabela 18.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Argila siltosa (AL)	-	17	15	15	7500	0,30
B	Argila siltosa (AL)	7 – 10	18	20	20	10000	0,30
C	Silte Argiloso (SR)	12 – 24	19	25	27	12000	0,25
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

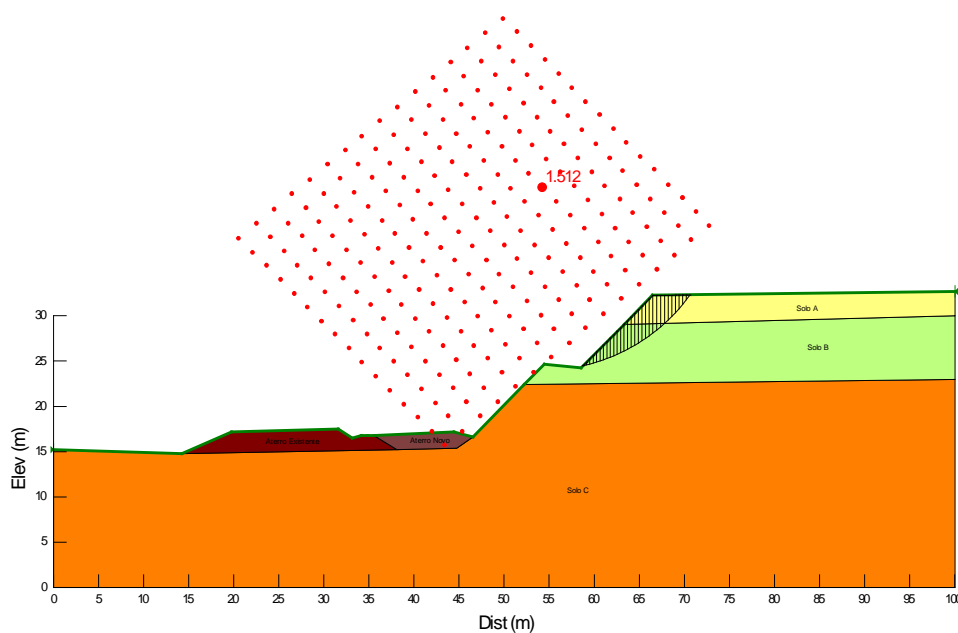
## 18.2. Análises de Estabilidade

A Figura 18.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 150+920.



**Figura 18.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte – Estaca km 150+920).

Foram verificadas 1331 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 18.3.



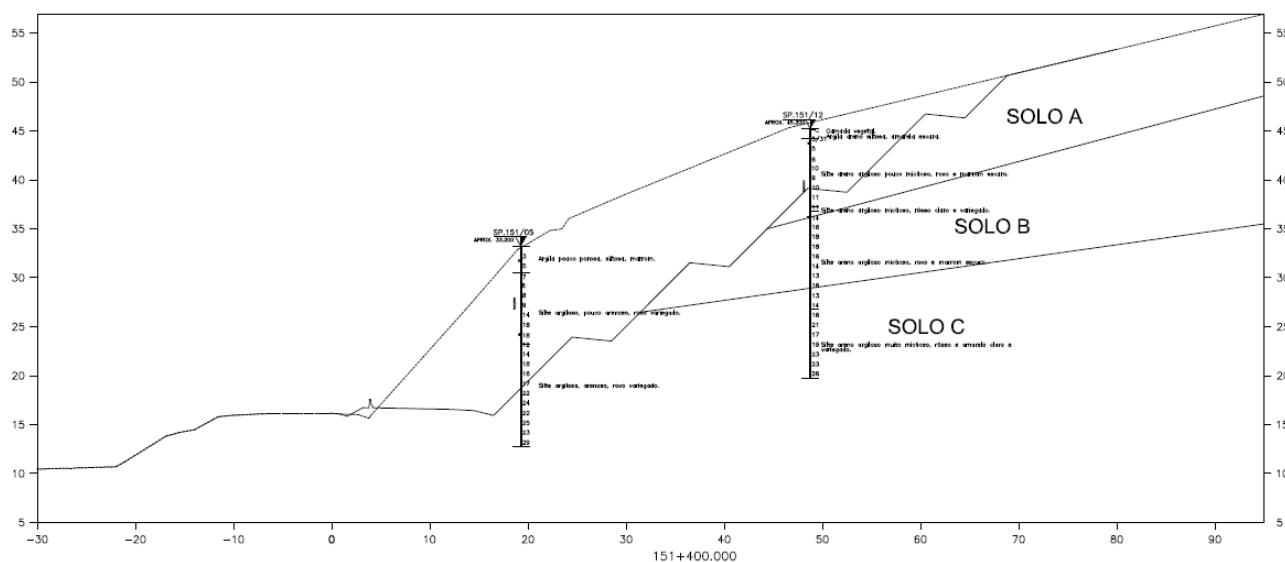
**Figura 18.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 150+920).

A partir da Figura 18.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,512 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 19. ESTACA KM 151+400 (CORTE)

### 19.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 19.1.



**Figura 19.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 151+400 - Corte).

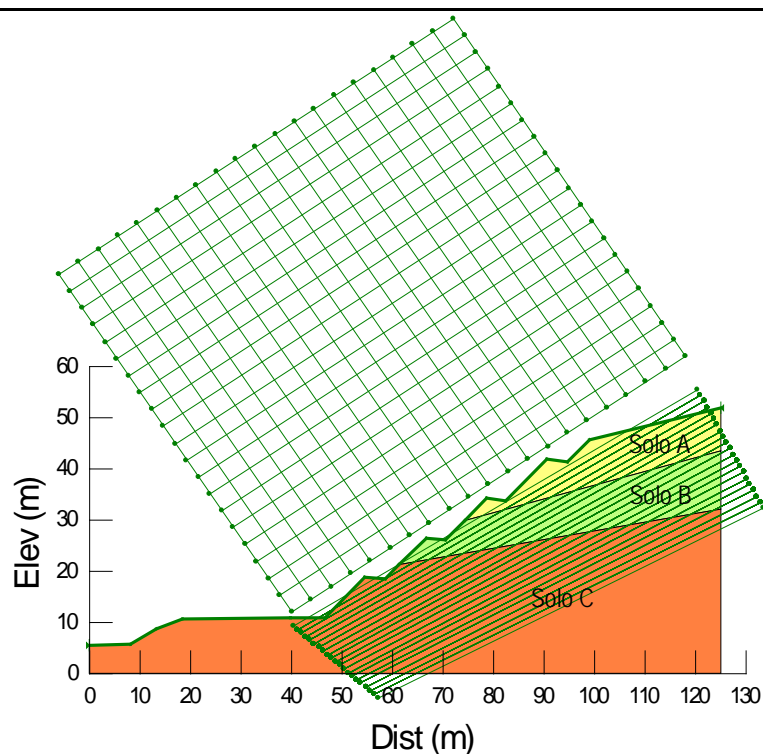
**Tabela 19.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
A	Silte arenoso-argiloso (SR)	5 - 10	18	15	22
B	Silte arenoso-argiloso (SR)	14 - 18	19	25	26
C	Silte arenoso-argiloso (SR)	18 - 25	20	30	30

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

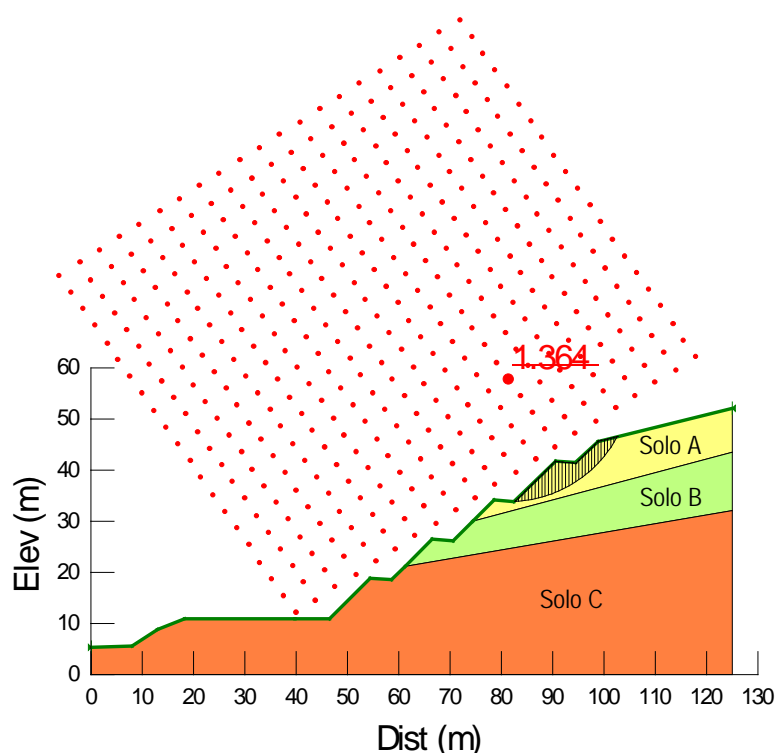
### 19.2. Análises de Estabilidade

A Figura 19.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 151+400.



**Figura 19.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 151+400).

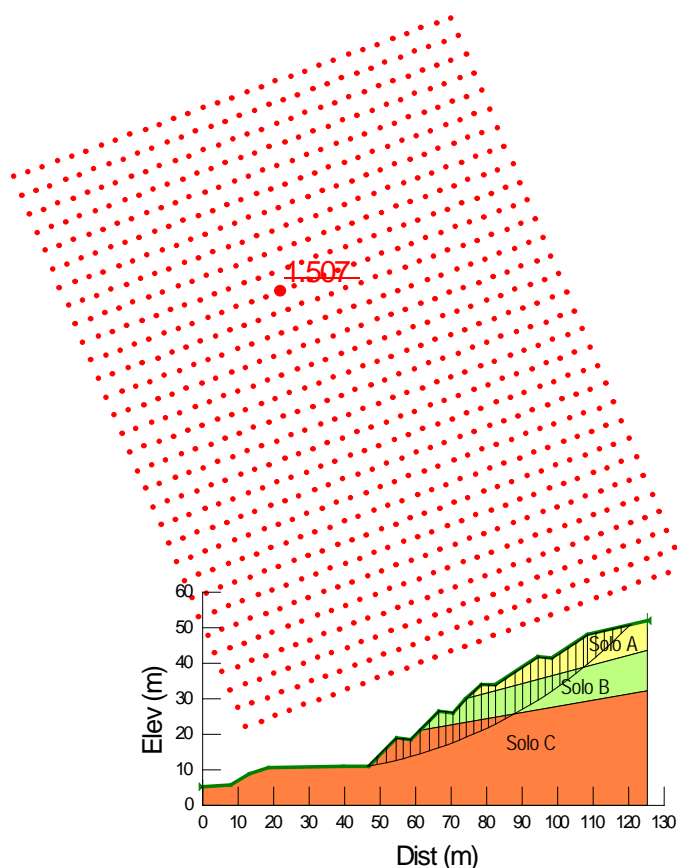
Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 19.3.



**Figura 19.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 151+400).

A partir da Figura 19.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,364 < 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

Foi verificada a estabilidade do corte alterando-se a inclinação de todos os lances a partir da terceira banquetta ( $4^{\circ}$  e  $5^{\circ}$  lances) para 1,5:1 (H:V), conforme apresentado na Figura 19.4.



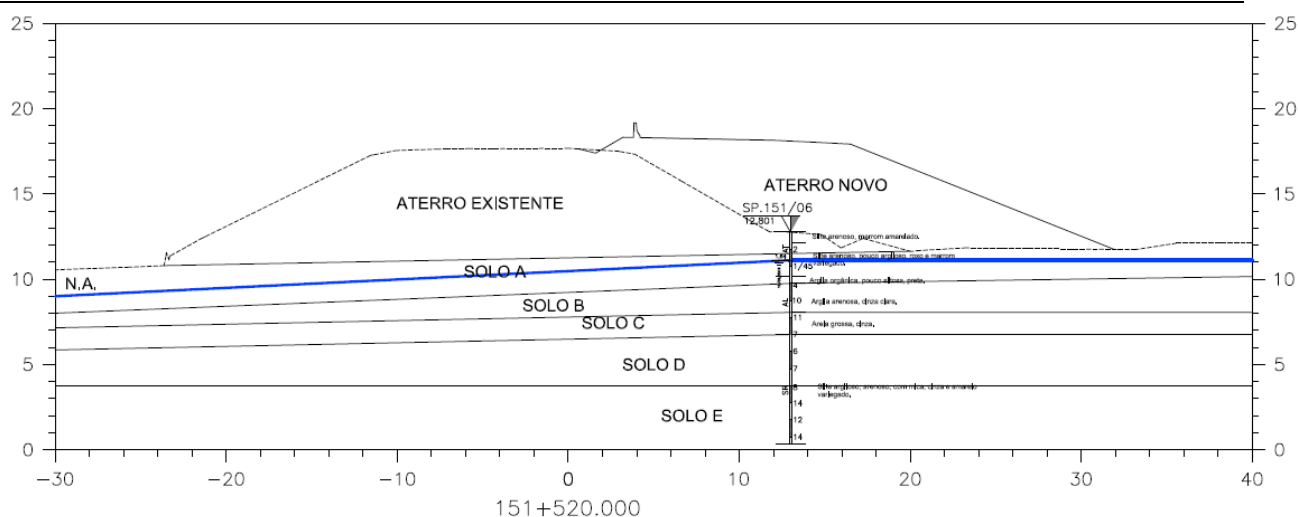
**Figura 19.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 151+400 – mudança de inclinação do  $4^{\circ}$  e  $5^{\circ}$  lances para 1,5:1 (H:V)).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,507 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 19.4. **Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte com inclinação do  $4^{\circ}$  e  $5^{\circ}$  lances de 1,5:1 (H:V) apresenta estabilidade satisfatória.**

## 20. ESTACA KM 151+520 (ATERRO)

### 20.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 20.1.



**Figura 20.1** – Perfil geotécnico e localização da sondagem da seção transversal analisada (Estaca km 151+520 - Aterro).

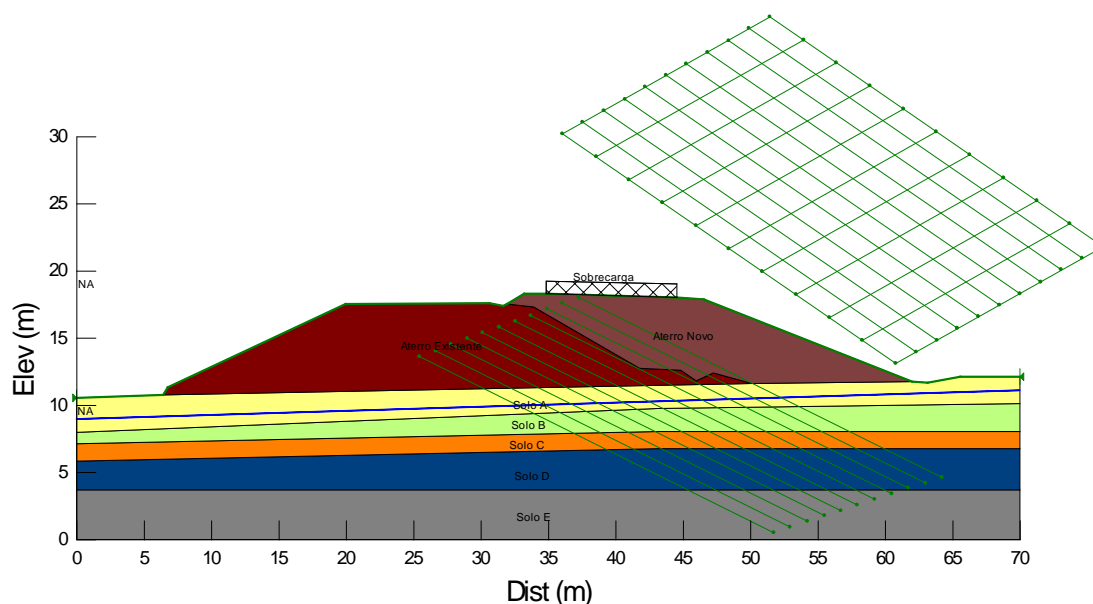
**Tabela 20.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Argila orgânica pouco siltosa (AL)	0 – 2	15	20	0	6000	0,35
B	Argila arenosa (AL)	4 - 10	17	15	15	8500	0,30
C	Areia grossa (AL)	10 – 11	19	0	32	15000	0,30
D	Silte argiloso (SR)	6 – 8	17	20	24	10500	0,30
E	Silte argiloso (SR)	12 – 14	18	20	26	11000	0,25
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

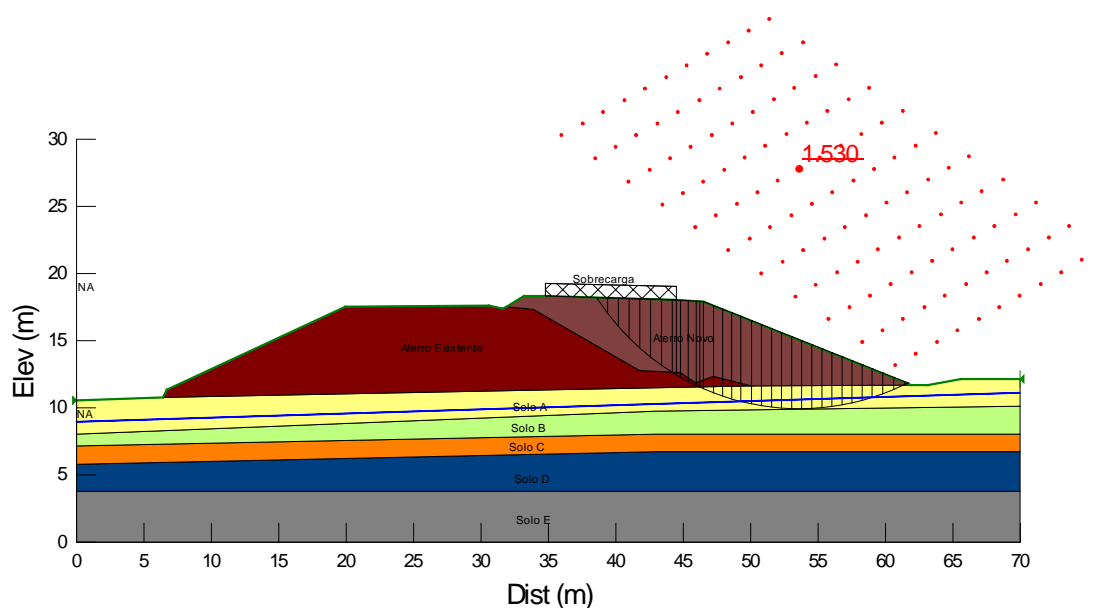
### Análises de Estabilidade

A Figura 20.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 151+520.



**Figura 20.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro– Estaca km 151+520).

Foram verificadas 1331 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 20.3.



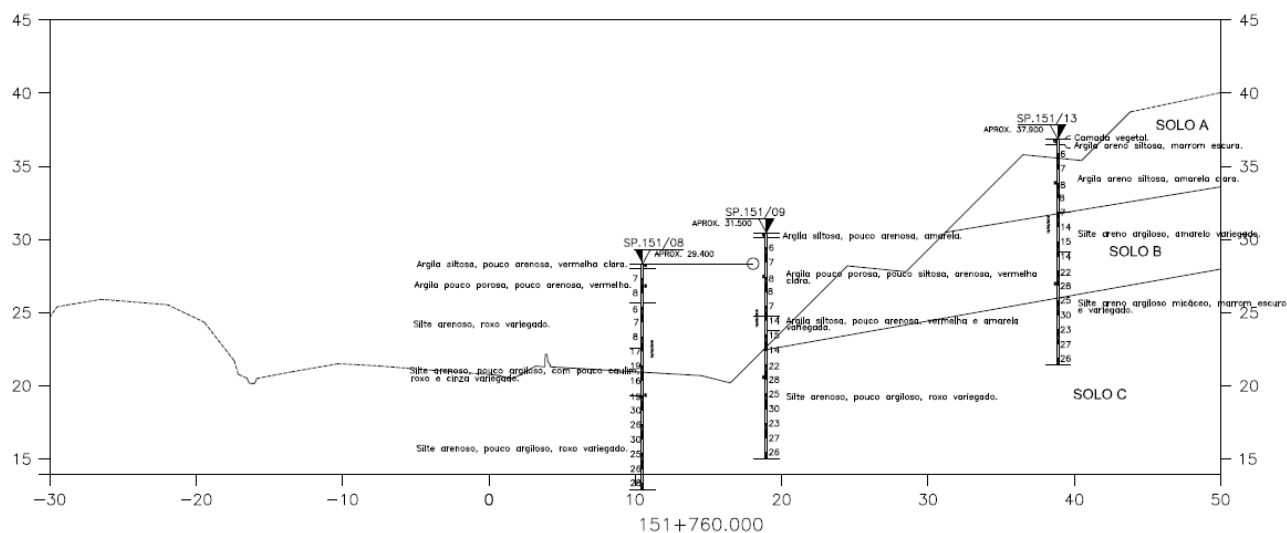
**Figura 20.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 151+520).

A partir da Figura 20.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,530 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 21. ESTACA KM 151+760 (CORTE)

### 21.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 21.1.



**Figura 21.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 151+760 - Corte).

**Tabela 21.1** – Parâmetros adotados.

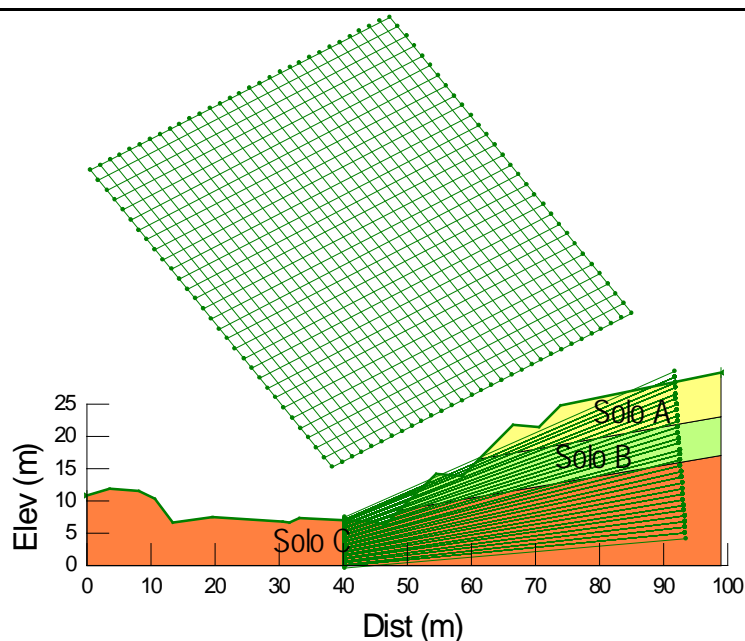
Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
A	Argila arenosa-siltosa (SR)	4 - 8	18	20	15
B	Silte areno-argiloso (SR)	8 - 14	18	20	26
C	Silte areno-argiloso (SR)	16 - 20	20	25	28

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

### 21.2. Análises de Estabilidade

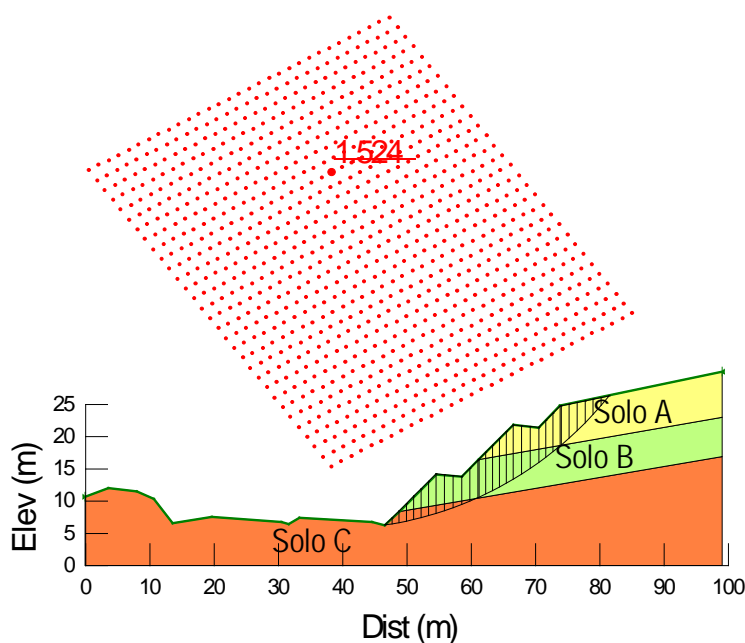
A Figura 21.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 151+760.





**Figura 21.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte – Estaca km 151+760).

Foram verificadas 29791 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 21.3.



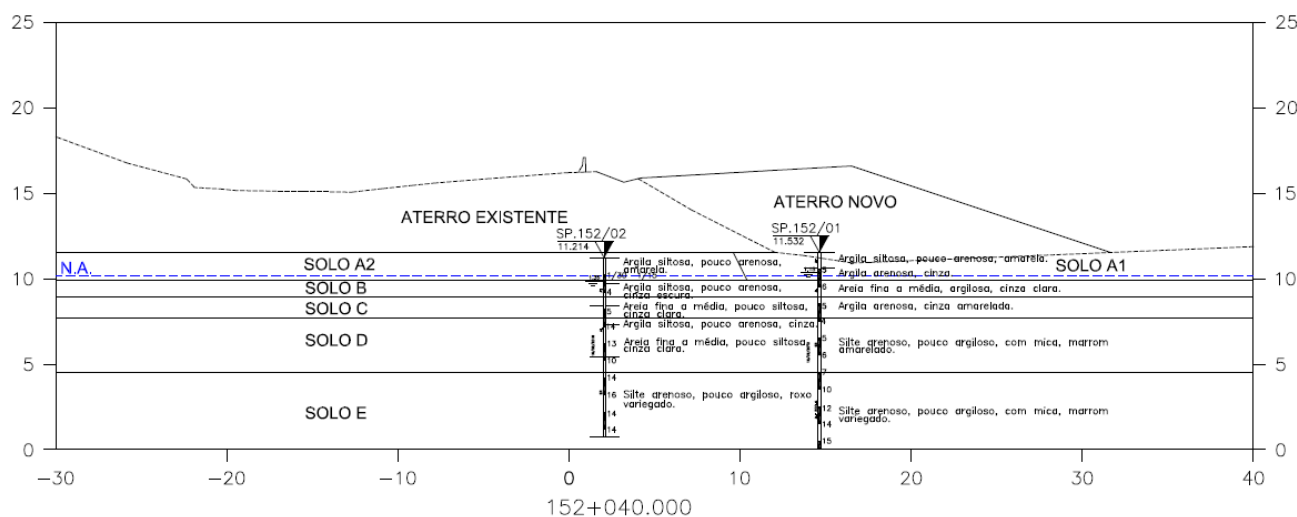
**Figura 21.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 151+760).

A partir da Figura 21.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,524 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória.

## 22. ESTACA KM 152+040 (ATERRO)

### 22.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 22.1.



**Figura 22.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 152+040 - Aterro).

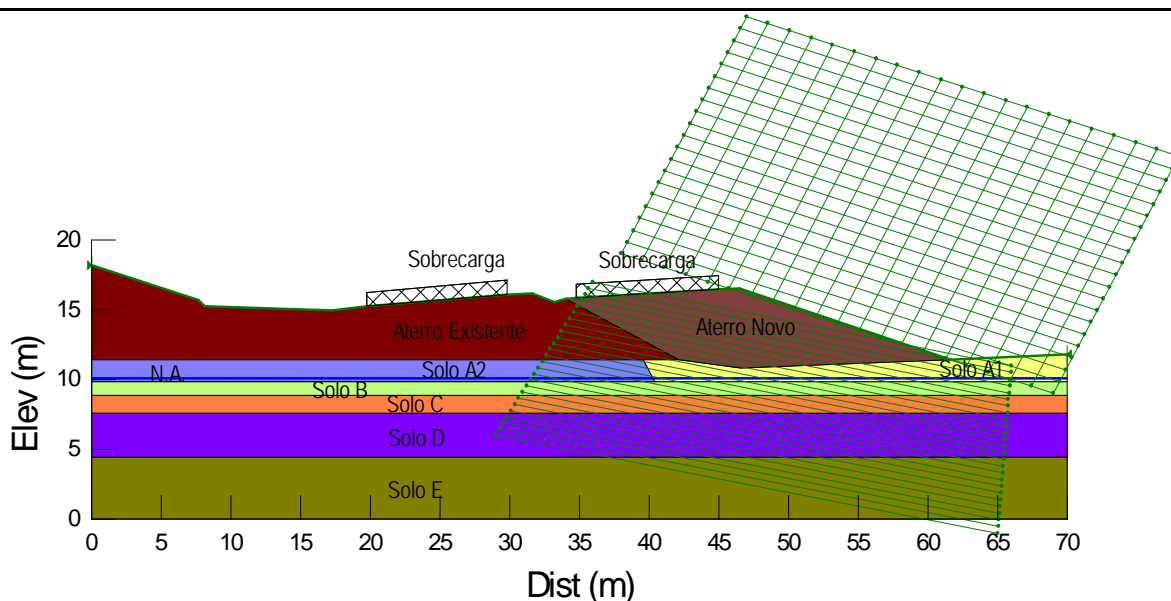
**Tabela 22.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila siltosa pouco arenosa (AT)	1/30	16	15	10	7000	0,30
A2	Argila siltosa pouco arenosa (AT)	1/30	17	15	12	7500	0,30
B	Areia argilosa (AL)	5	18	5	25	10000	0,30
C	Argila arenosa (AL)	5	18	18	15	7500	0,30
D	Silte arenoso pouco argiloso (SR)	4 – 6	18	15	20	10500	0,30
E	Silte arenoso pouco argiloso (SR)	7 – 15	18	18	25	11000	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

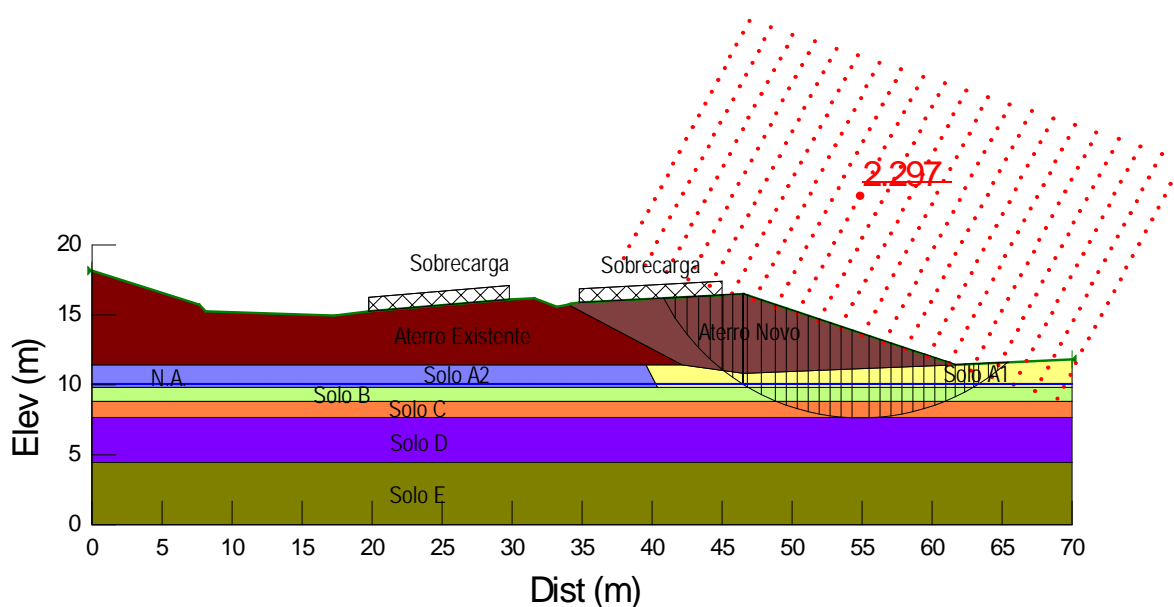
### 22.2. Análises de Estabilidade

A Figura 22.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 152+040.



**Figura 22.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 152+040).

Foram verificadas 11466 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 22.3.



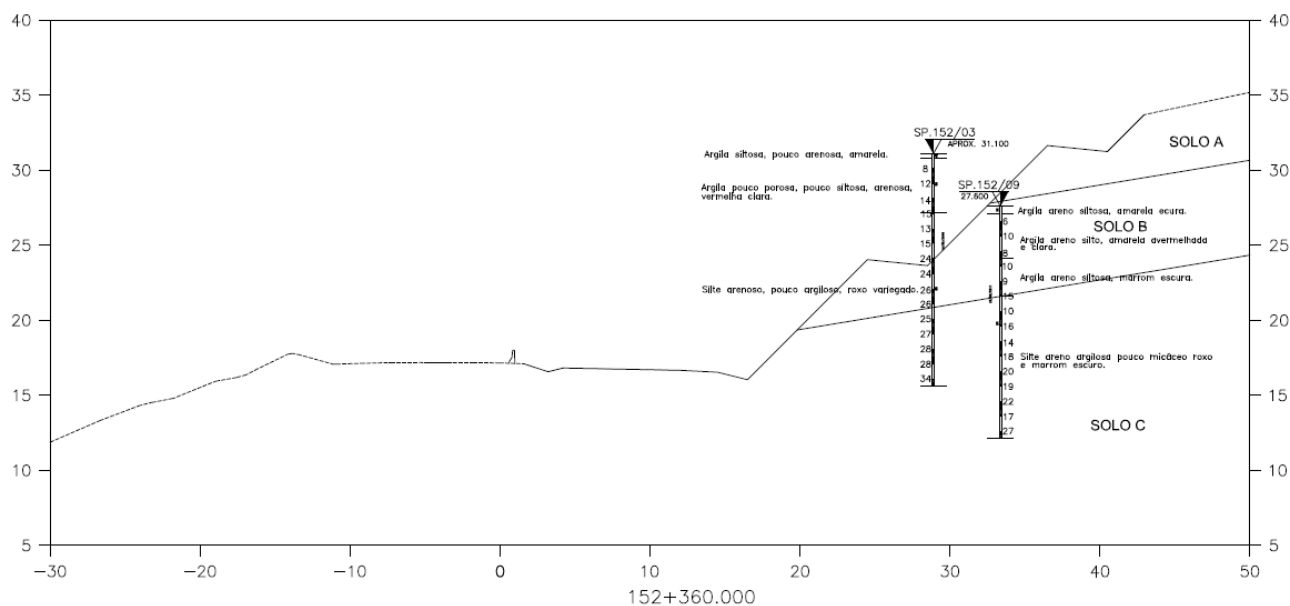
**Figura 22.3** – Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Aterro - Estaca km 152+040).

A partir da Figura 22.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 2,297 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 23. ESTACA KM 152+360 (CORTE)

### 23.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 23.1.



**Figura 23.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 152+360 - Corte).

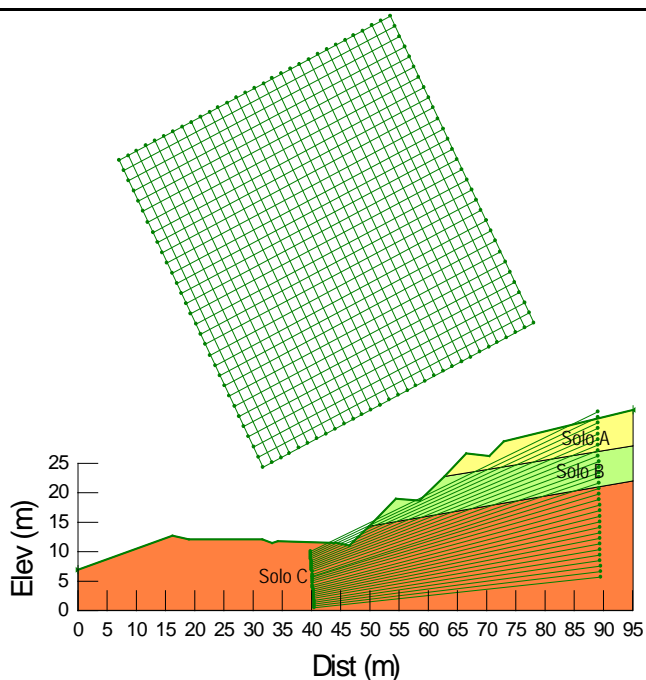
**Tabela 23.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	γ(kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	φ' (°)
A	Argila pouco siltosa, arenosa (SR)	8	18	20	18
B	Argila arenosa-siltosa (SR)	6 – 10	18	25	19
C	Silte arenoso-argiloso (SR)	15 – 25	19	25	27

Legenda: c' – Coesão efetiva; φ' - Ângulo de atrito efetivo do solo; γ – Peso específico natural.

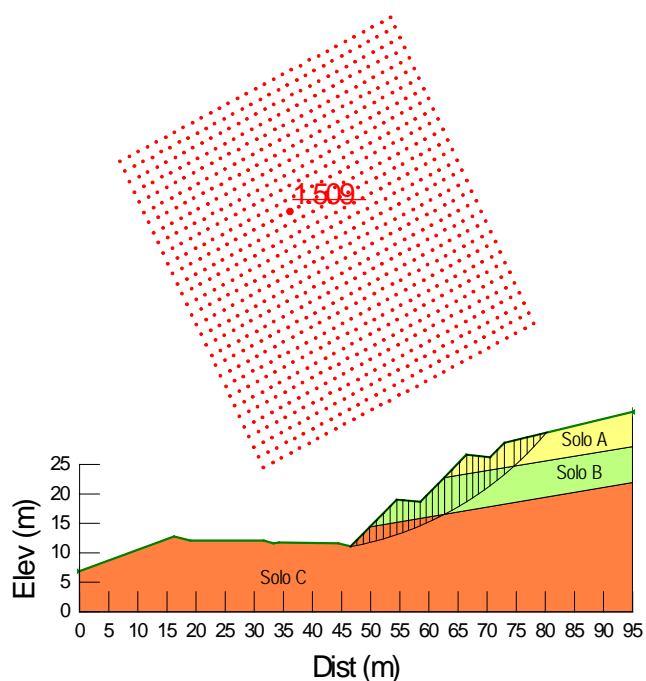
### 23.2. Análises de Estabilidade

A Figura 23.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 152+360.



**Figura 23.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte – Estaca km 152+360).

Foram verificadas 29791 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 23.3.



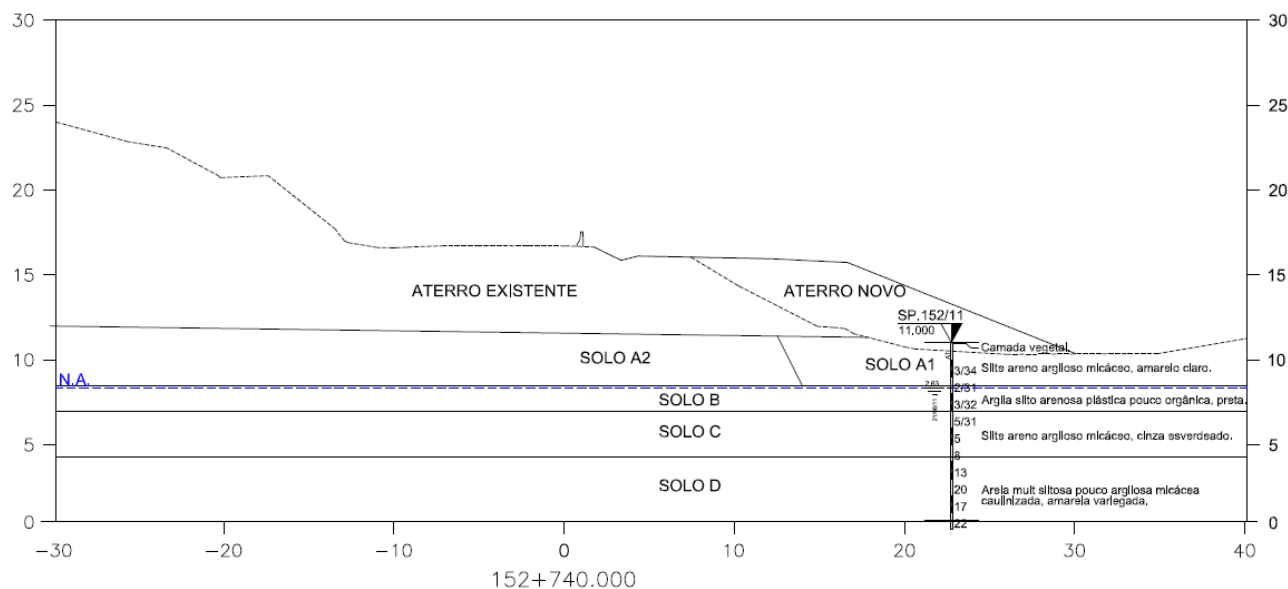
**Figura 23.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 152+360).

A partir da Figura 23.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,509 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória.

## 24. ESTACA KM 152+740 (ATERRO)

### 24.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 24.1.



**Figura 24.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 153+740 - Aterro).

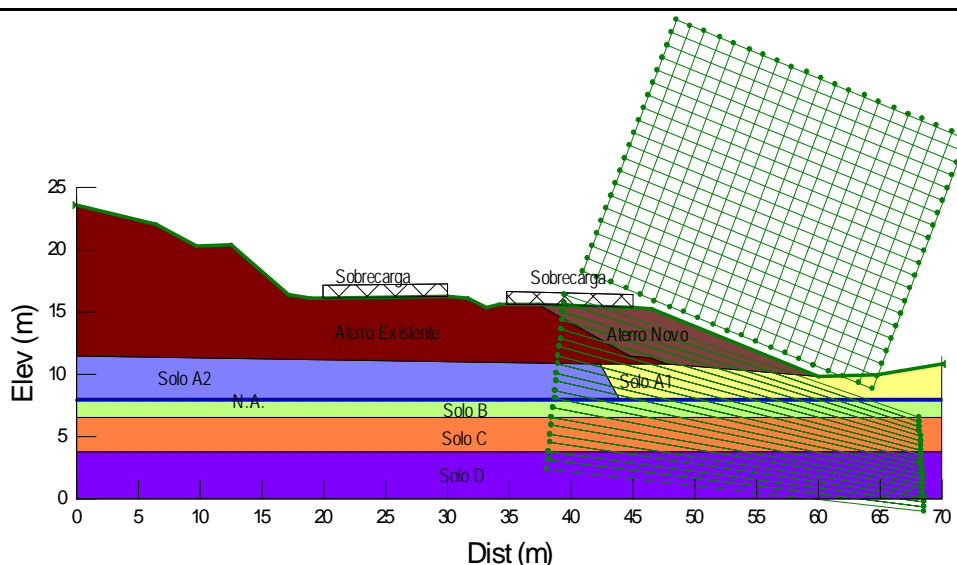
**Tabela 24.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Silte areno-argiloso (AT)	2/31 – 3/34	16	10	18	9000	0,30
A2	Silte areno-argiloso (AT)	2/31 – 3/34	17	15	20	9500	0,30
B	Argila silto-arenosa orgânica (AL)	2/31 – 3/32	16	10	10	2000	0,40
C	Silte areno-argiloso (SAR)	5 – 8	18	15	22	10500	0,30
D	Areia silto-argilosa (SAR)	13 – 20	20	10	30	12000	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

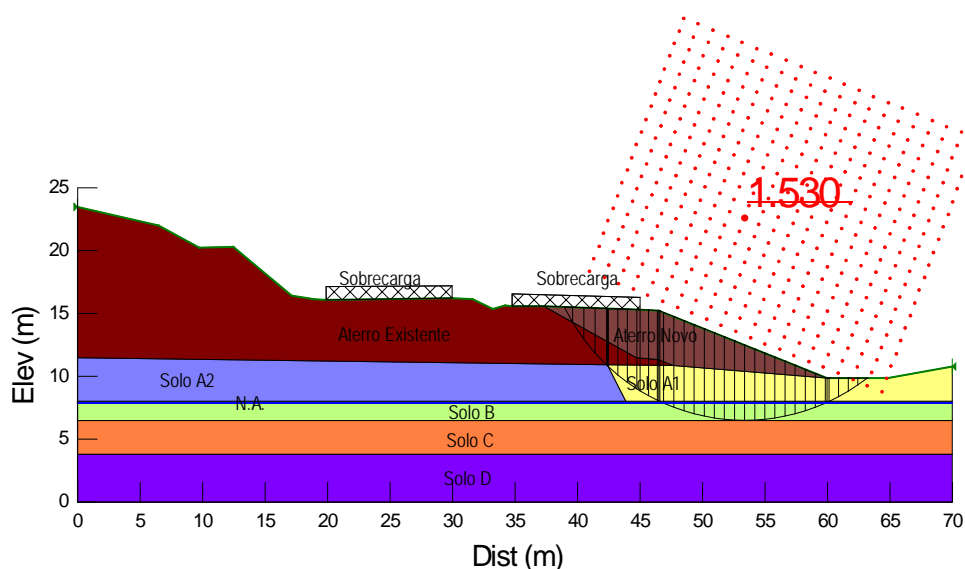
### 24.2. Análises de Estabilidade

A Figura 24.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 152+740.



**Figura 24.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 152+740).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 24.3.



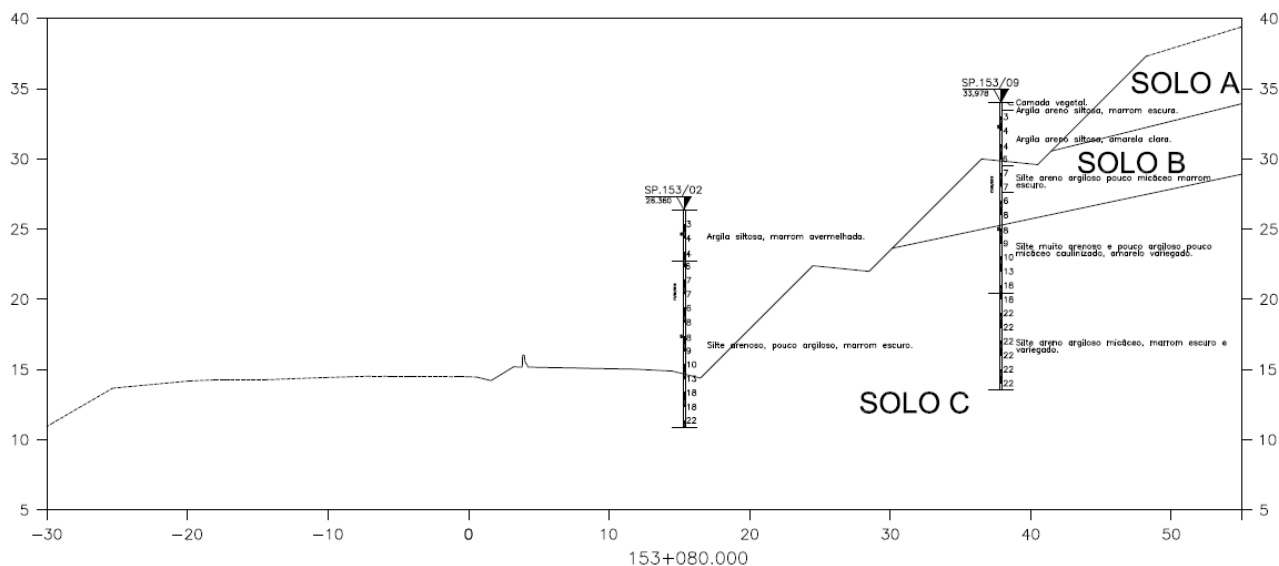
**Figura 24.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 152+740).

A partir da Figura 24.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,530 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 25. ESTACA KM 153+080 (CORTE)

### 25.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 25.1.



**Figura 25.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 153+080 - Corte).

**Tabela 25.1** – Parâmetros adotados.

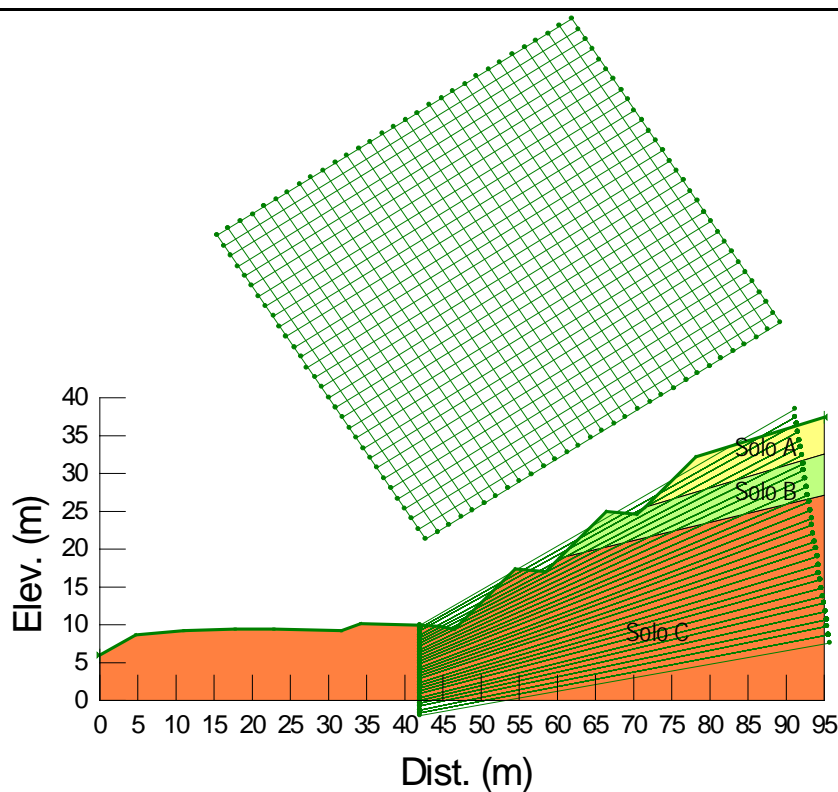
Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
A	Argila areno-siltosa (SR)	4 – 7	18	20	17
B	Silte areno-argiloso (SR)	8 – 10	18	18	25
C	Silte areno-argiloso (SR)	14 – 25	20	30	28

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

### 25.2. Análises de Estabilidade

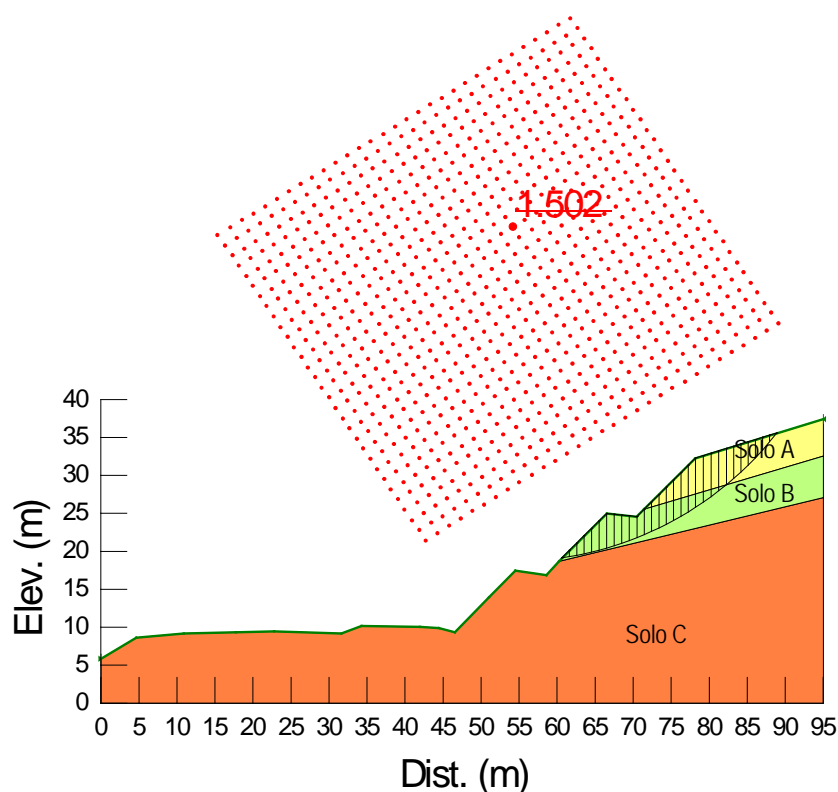
A Figura 25.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 153+080.





**Figura 25.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 153+080).

Foram verificadas 29791 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 25.3.



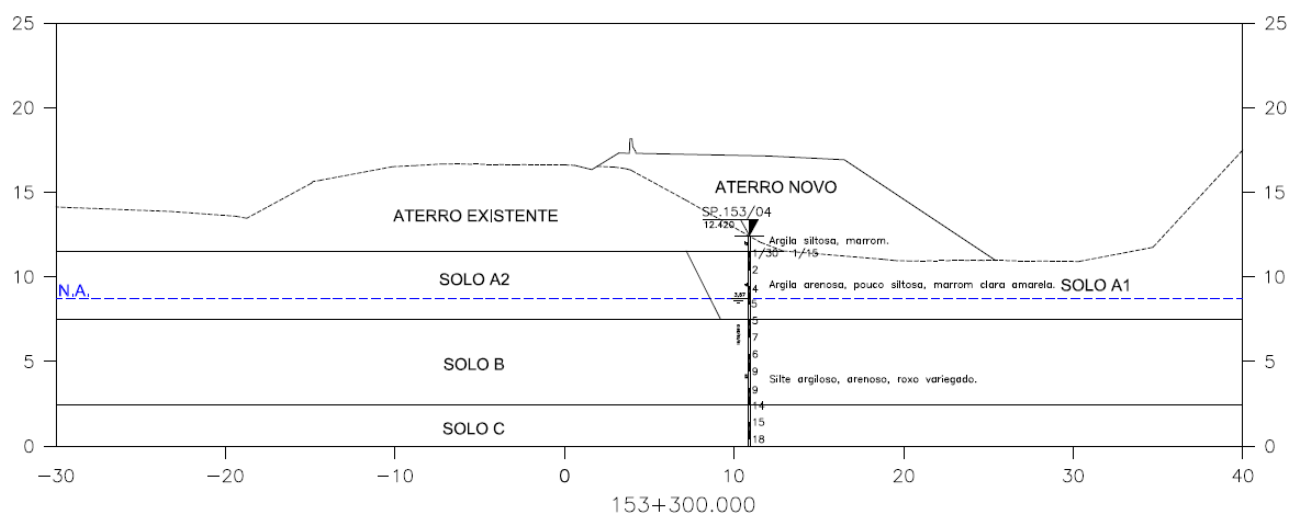
**Figura 25.3** – Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Corte - Estaca km 153+080).

A partir da Figura 25.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,502 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória.

## 26. ESTACA KM 153+300 (ATERRO)

### 26.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 26.1.



**Figura 26.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 153+300 - Aterro).

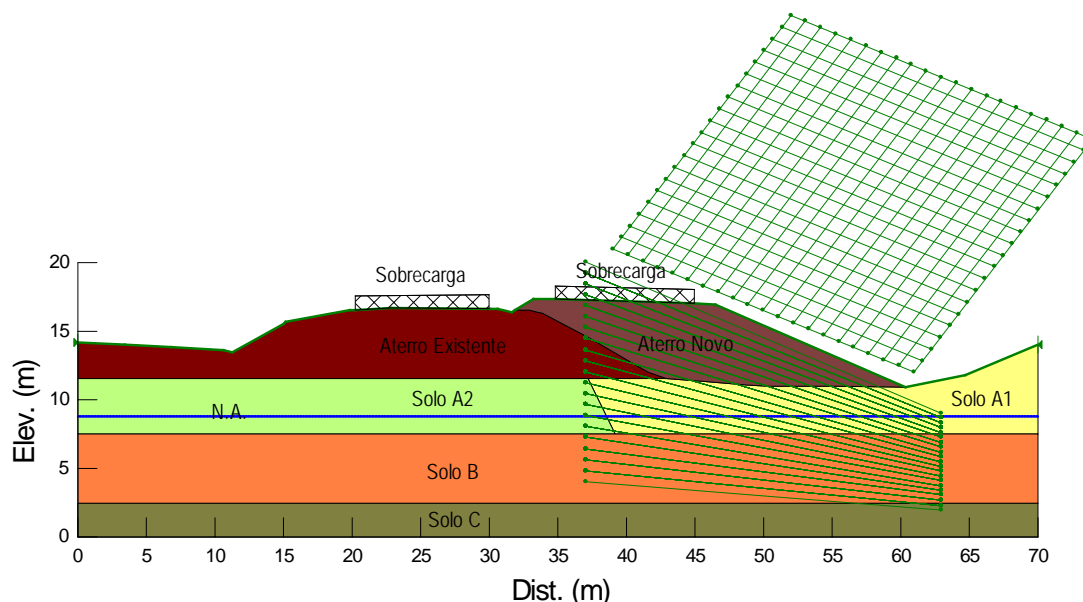
**Tabela 26.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila arenosa pouco siltosa (AT)	2 - 5	16	15	15	7000	0,30
A2	Argila arenosa pouco siltosa (AT)	2 - 5	17	15	15	7500	0,30
B	Silte argilo-arenoso (SR)	5 - 9	18	15	23	10500	0,30
C	Silte argilo-arenoso (SR)	14 - 18	19	25	28	11000	0,25
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

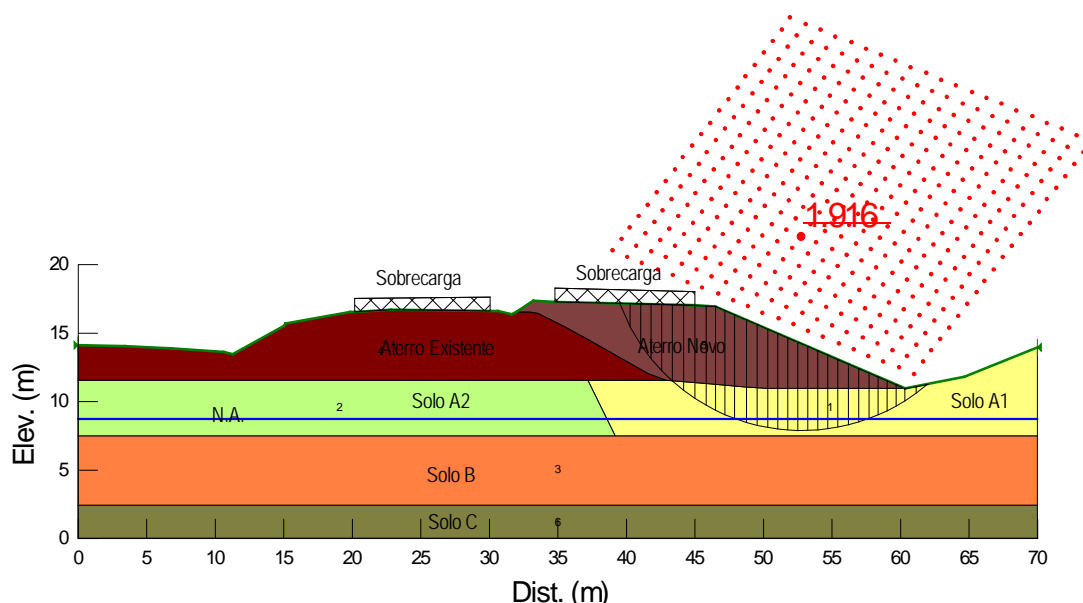
## 26.2. Análises de Estabilidade

A Figura 26.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 153+300.



**Figura 26.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 153+300).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 26.3.



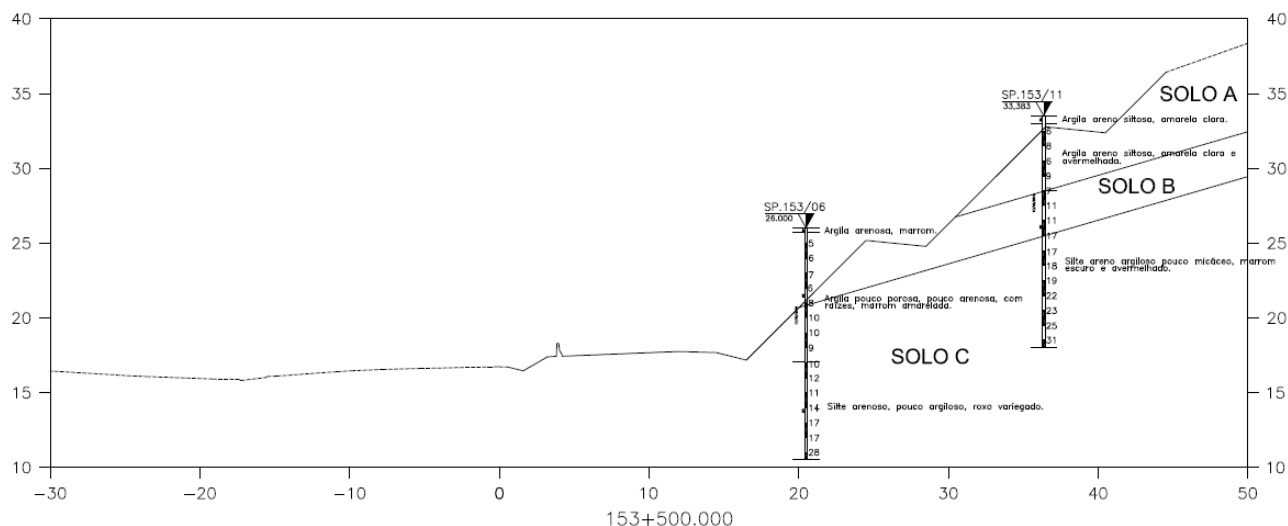
**Figura 26.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 153+300).

A partir da Figura 26.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,916 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 27. ESTACA KM 153+500 (CORTE)

### 27.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 27.1.



**Figura 27.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 153+500 - Corte).

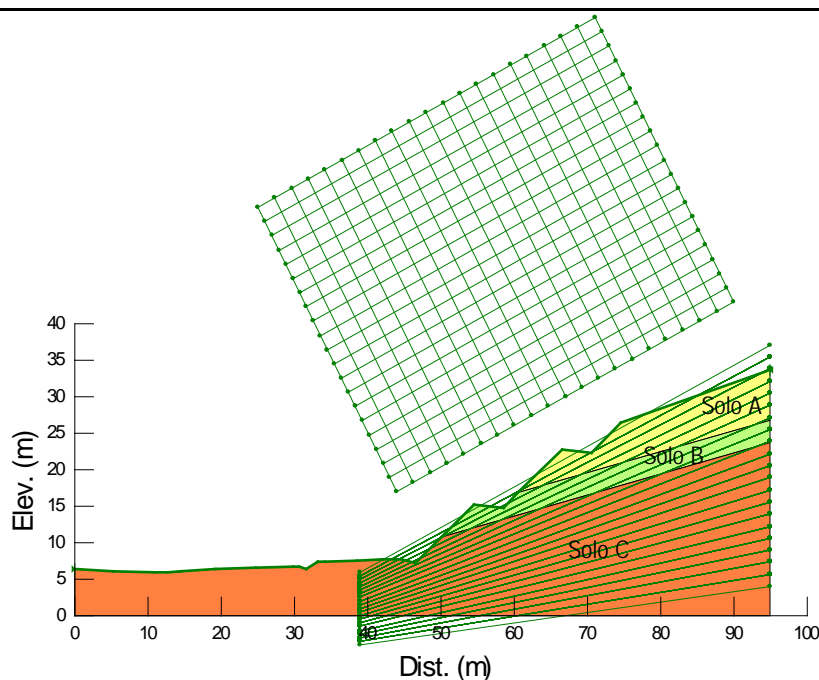
**Tabela 27.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
A	Argila arenosa-siltosa (SR)	6 – 10	18	25	15
B	Silte arenoso-argiloso (SR)	7 – 11	18	18	25
C	Silte arenoso-argiloso (SR)	17 – 25	20	27	28

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

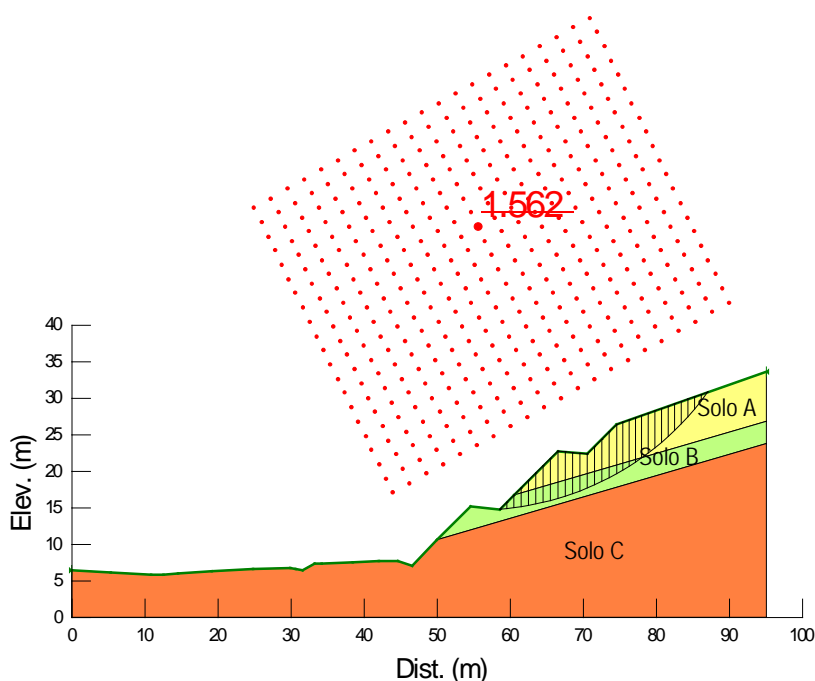
### 27.2. Análises de Estabilidade

A Figura 27.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 153+500.



**Figura 27.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 153+500).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 27.3.



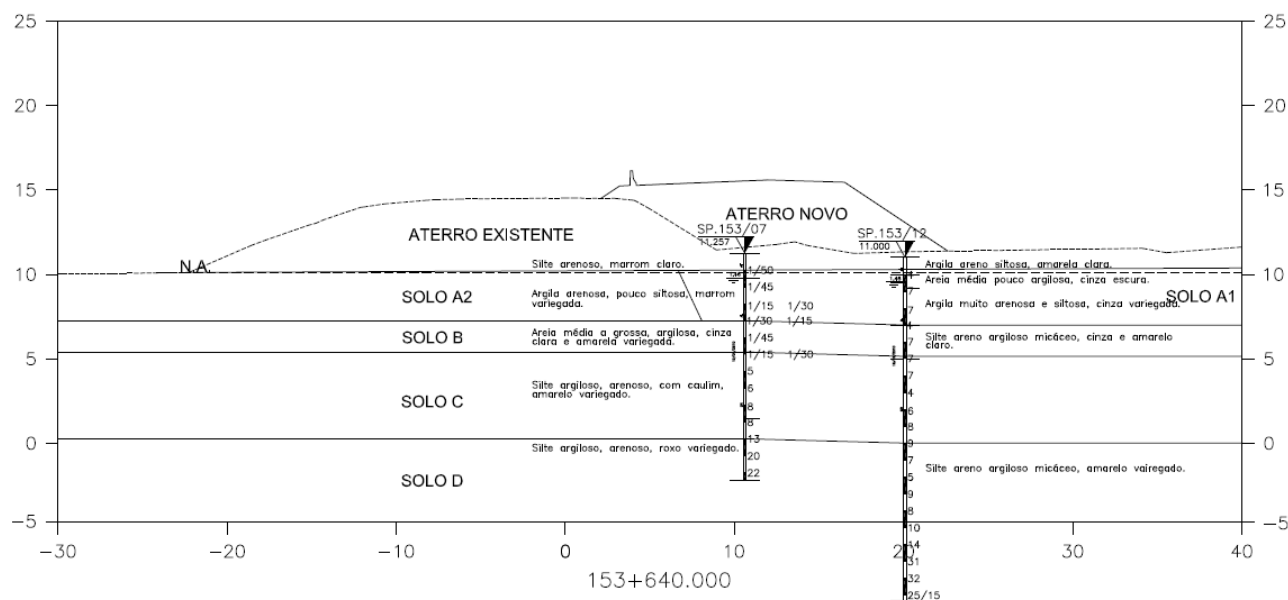
**Figura 27.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Corte - Estaca km 153+500).

A partir da Figura 27.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,562 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória.

## 28. ESTACA KM 153+640 (Aterro)

### 28.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 28.1.



**Figura 28.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 153+640 - Aterro).

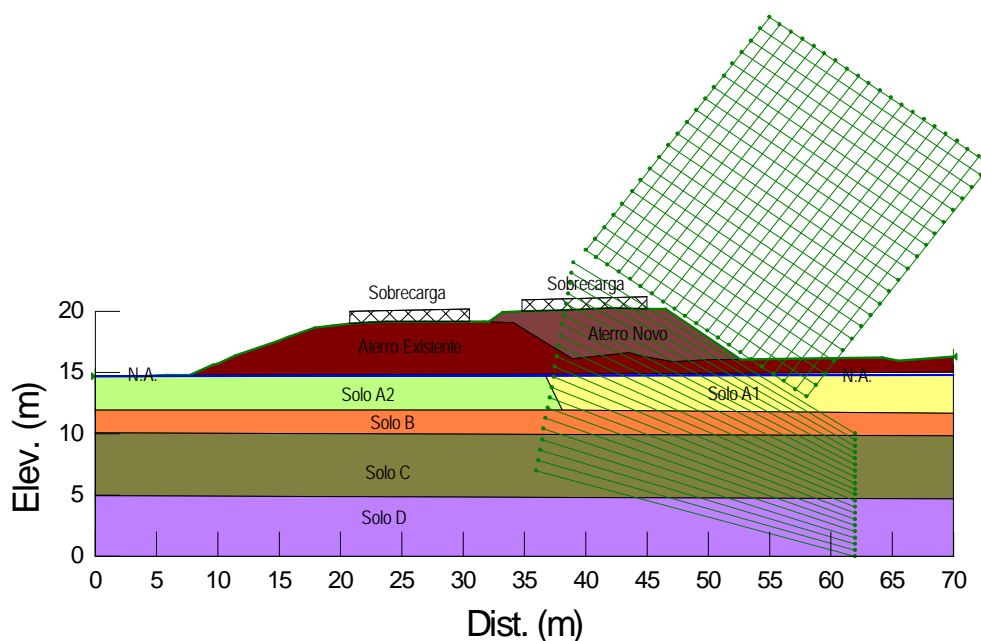
**Tabela 28.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A1	Argila areno-siltosa (AL)	1/30 – 1/50	16	10	10	6800	0,30
A2	Argila areno-siltosa (AL)	1/30 – 1/50	17	15	15	7200	0,30
B	Areia média a grossa argilosa (AL)	1/15 – 1/45	17	0	20	9000	0,30
C	Silte argilo-arenoso (SR)	5 – 8	18	15	22	10500	0,30
D	Silte argilo-arenoso (SR)	13 – 20	19	25	28	11000	0,30
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

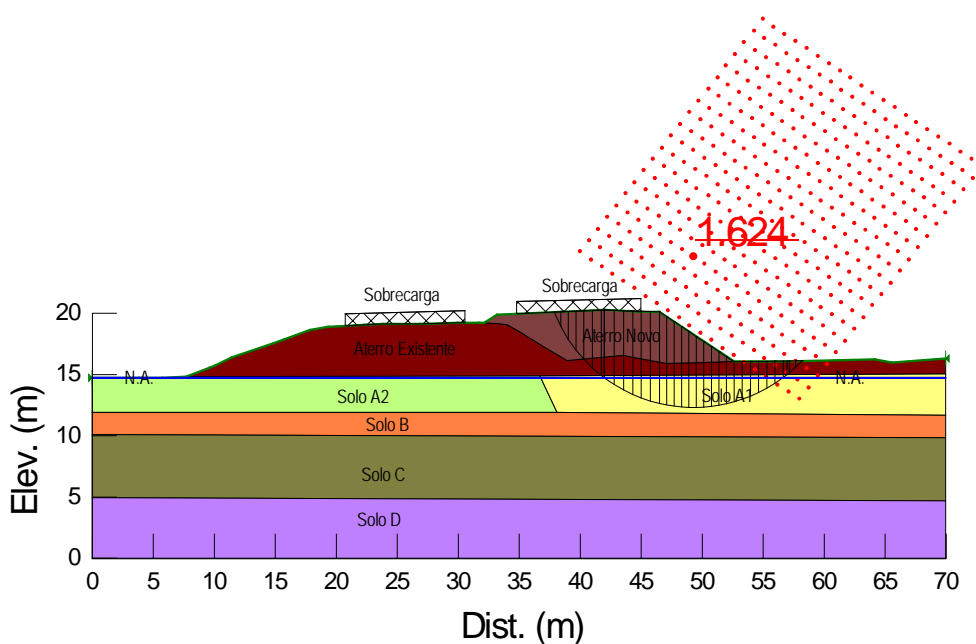
### 28.2. Análises de Estabilidade

A Figura 28.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 153+640.



**Figura 28.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 153+640).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 28.3.



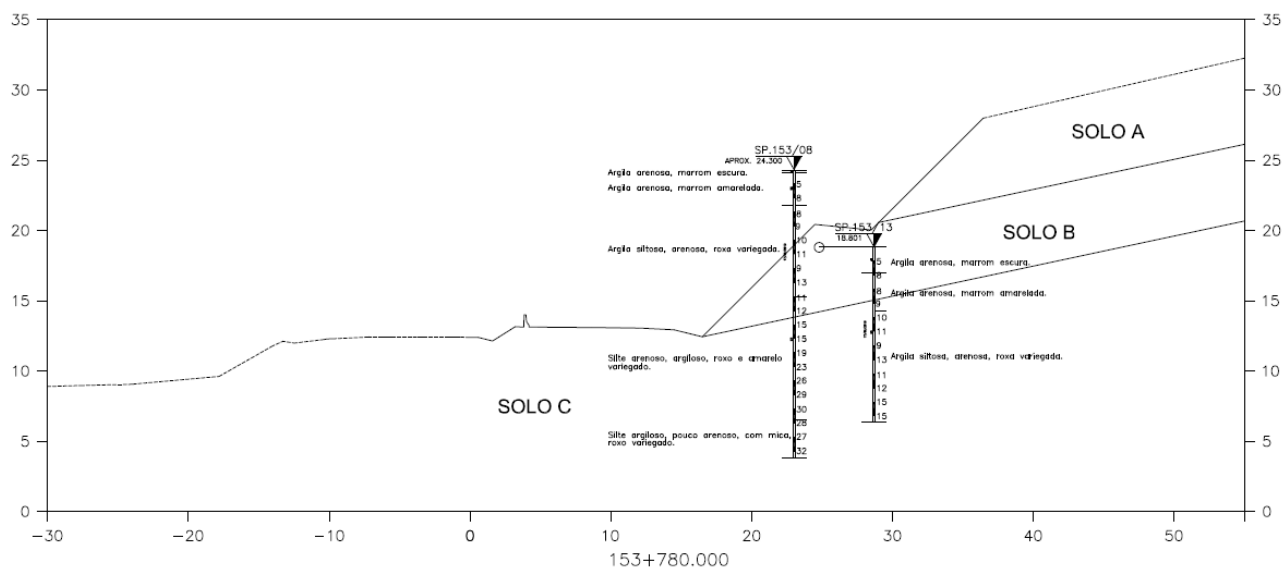
**Figura 28.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 153+640).

A partir da Figura 28.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,624 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 29. ESTACA KM 153+780 (CORTE)

### 29.1 Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 29.1.



**Figura 29.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 153+780 - Corte).

**Tabela 8.1** – Parâmetros adotados.

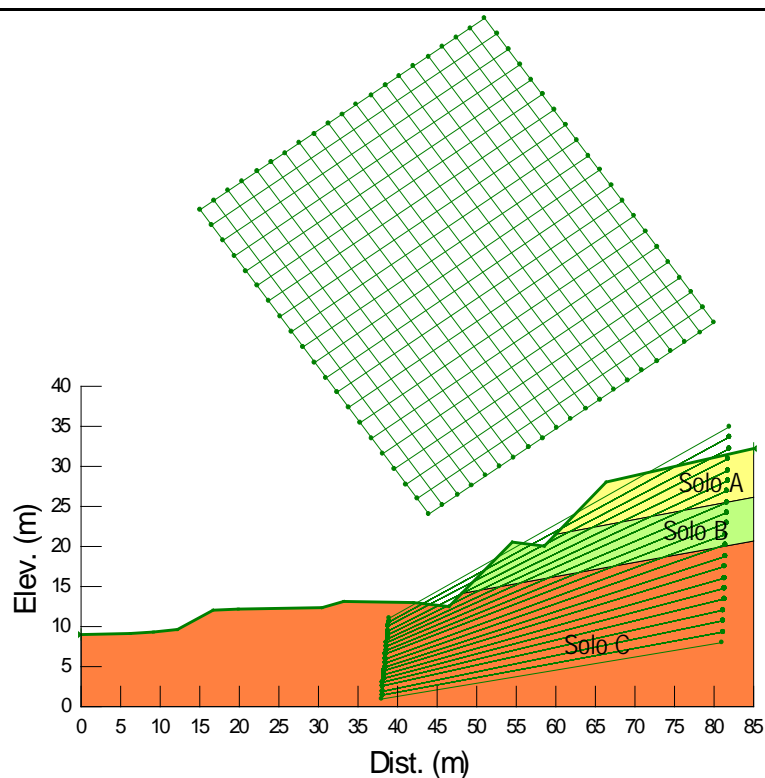
Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	φ' (°)
A	Argila arenosa (SR)	5 – 9	18	25	15
B	Argila silto-arenosa (SR)	9 – 12	18	30	17
C	Silte areno-argiloso (SR)	17 – 20	20	27	28

Legenda: c' – Coesão efetiva; φ' - Ângulo de atrito efetivo do solo; γ – Peso específico natural.

### 29.2. Análises de Estabilidade

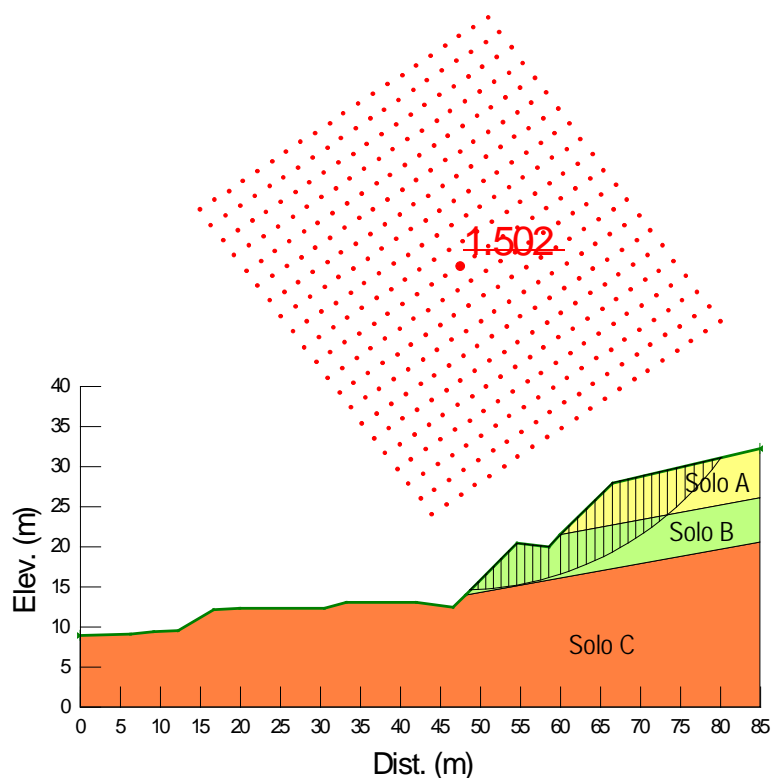
A Figura 29.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 153+780.





**Figura 29.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 153+780).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 29.3.



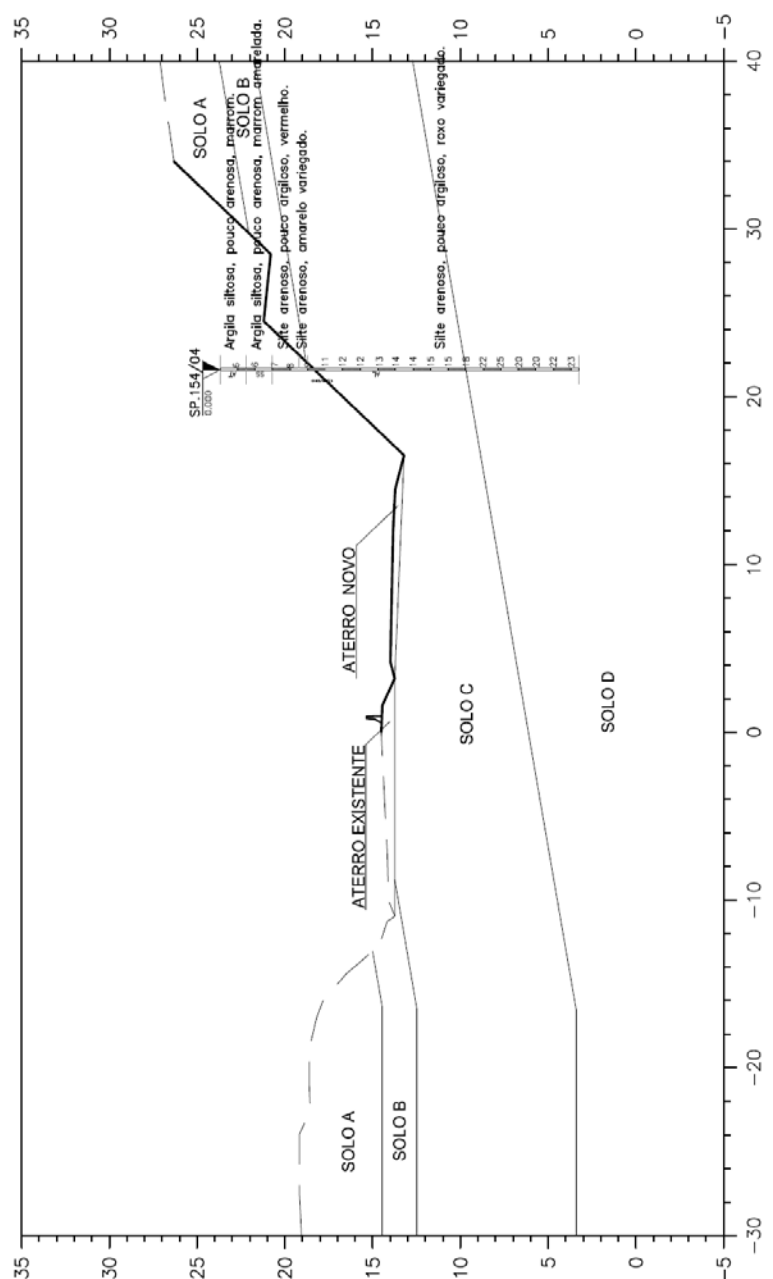
**Figura 29.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Corte - Estaca km 153+780).

A partir da Figura 29.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,502 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória.

### 30. ESTACA KM 154+718.720 (CORTE)

#### 30.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 30.1.



**Figura 30.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 154+718.720 – Corte).

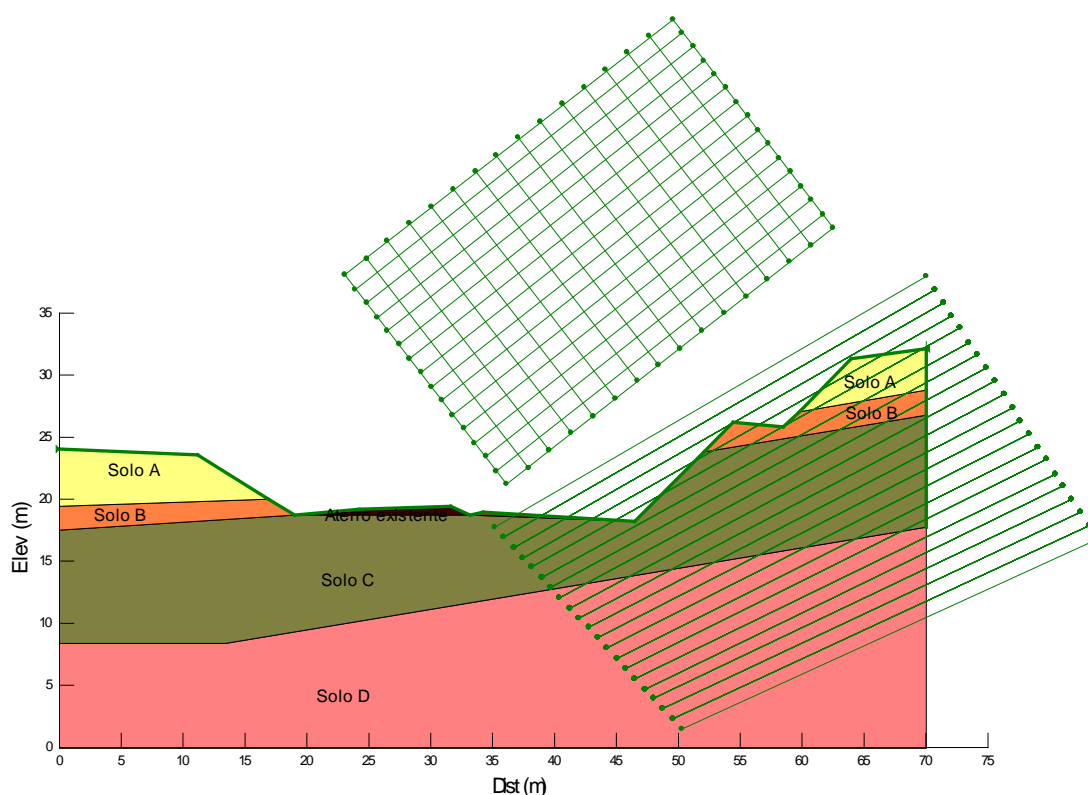
**Tabela 30.2–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila siltosa	6	18	20	15
B	Silte arenoso	7-8	18	18	22
C	Silte arenoso	11-15	19	22	25
D	Silte arenoso	20-23	20	25	28
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  – Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

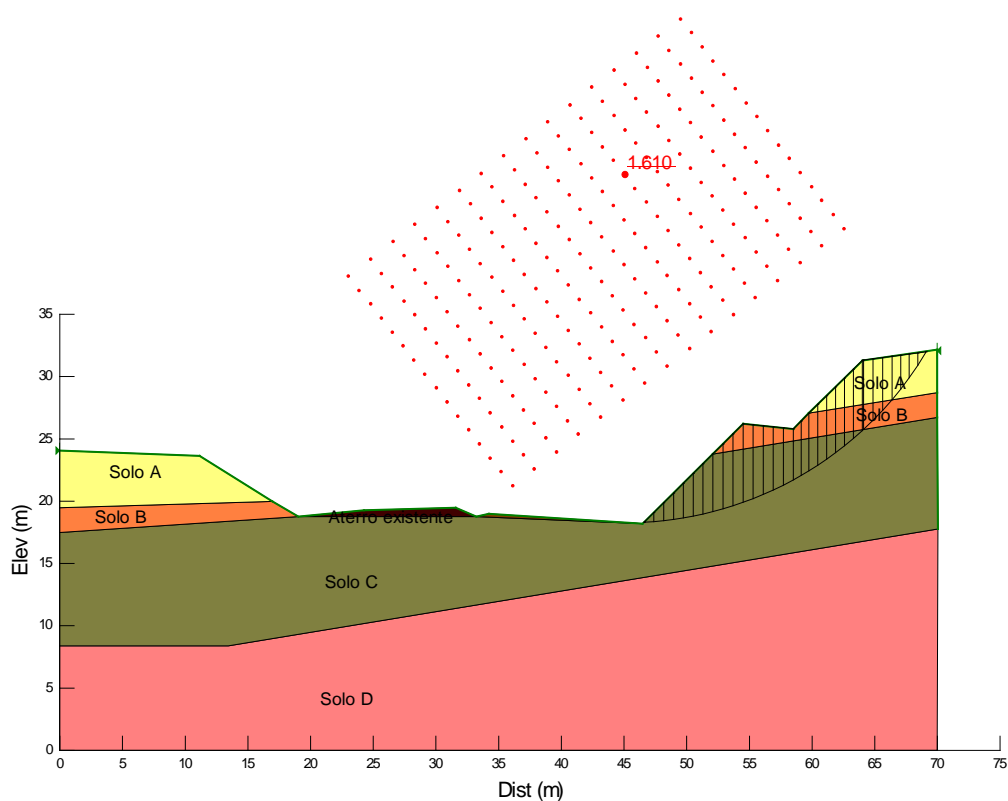
### 30.2. Análises de Estabilidade

A Figura 30.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 154+718.720.



**Figura 30.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 154+718.720 - Corte).

Foram verificadas 5376 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,610 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 30.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

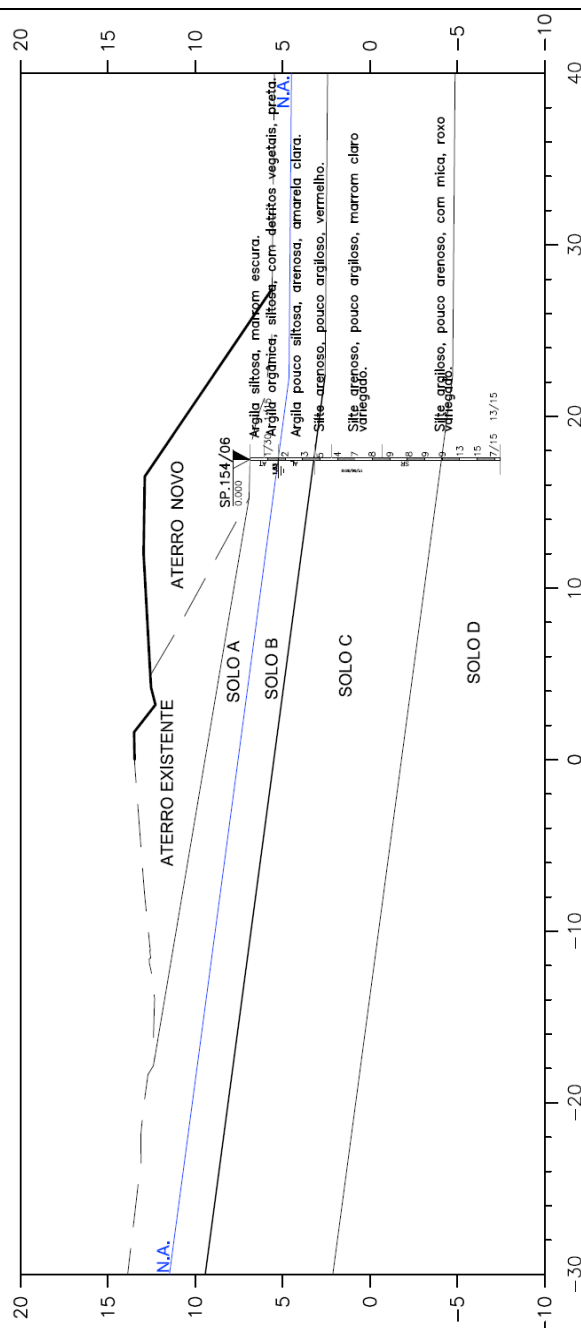


**Figura 30.3**–Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Estaca km 154+718.720 – Corte).

## 31. ESTACA KM 154+920 (ATERRO)

### 31.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 31.1.



**Figura 31.4**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 154+920 – Aterro).

**Tabela 1.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila orgânica, siltosa (AL)	1	14	15	0	2000	0,4
B	Argila pouco siltosa (AL)	2-3	17	15	15	8000	0,3
C	Silte arenoso (SR)	4-9	18	18	22	9000	0,3
D	Silte arenoso (SR)	13-15	18	22	25	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

No Solo A ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. A Tabela 31.2 apresenta os valores adotados.

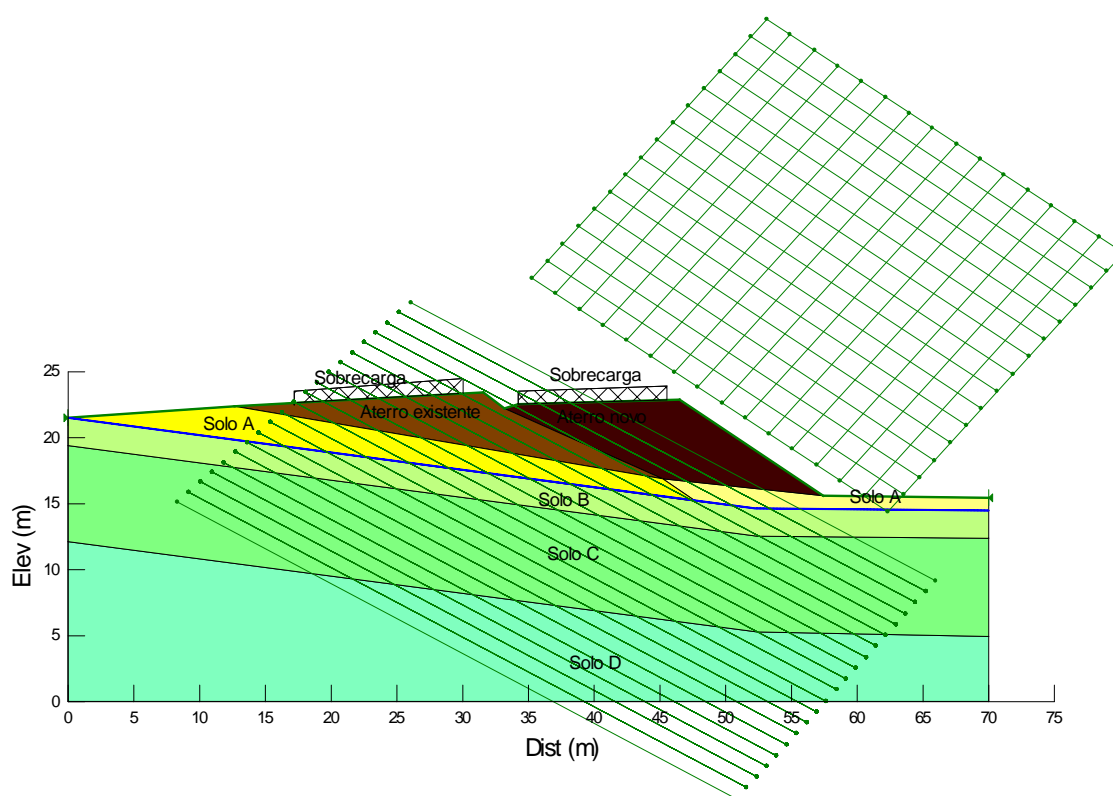
**Tabela 1.2 – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.**

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

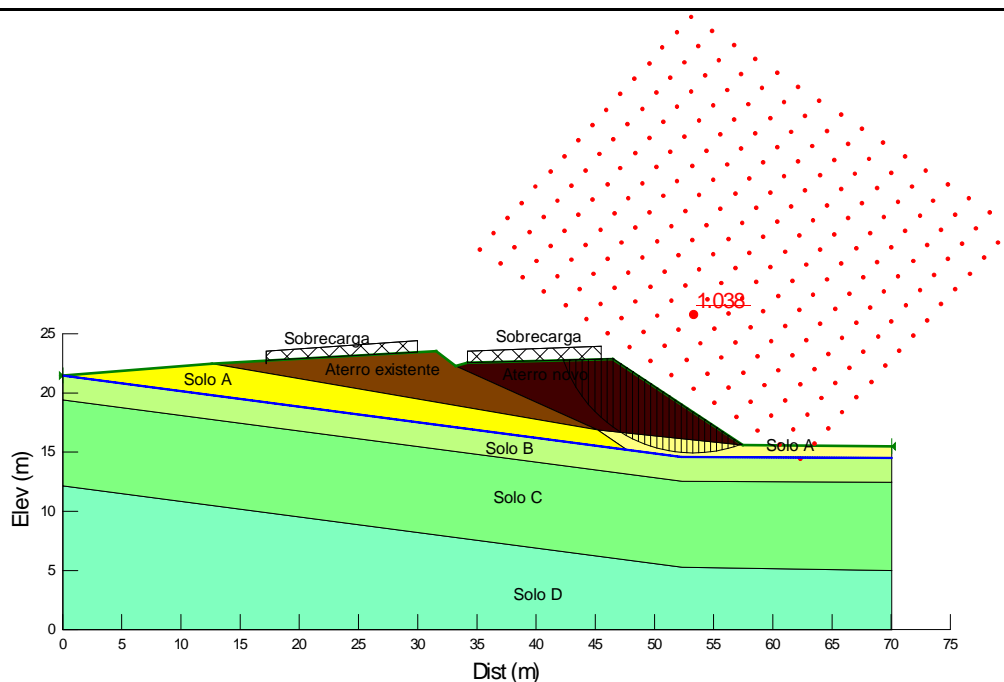
### 31.2. Análises de Estabilidade

A Figura 31.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 154+920.



**Figura 31.5 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 154+920 – Aterro).**

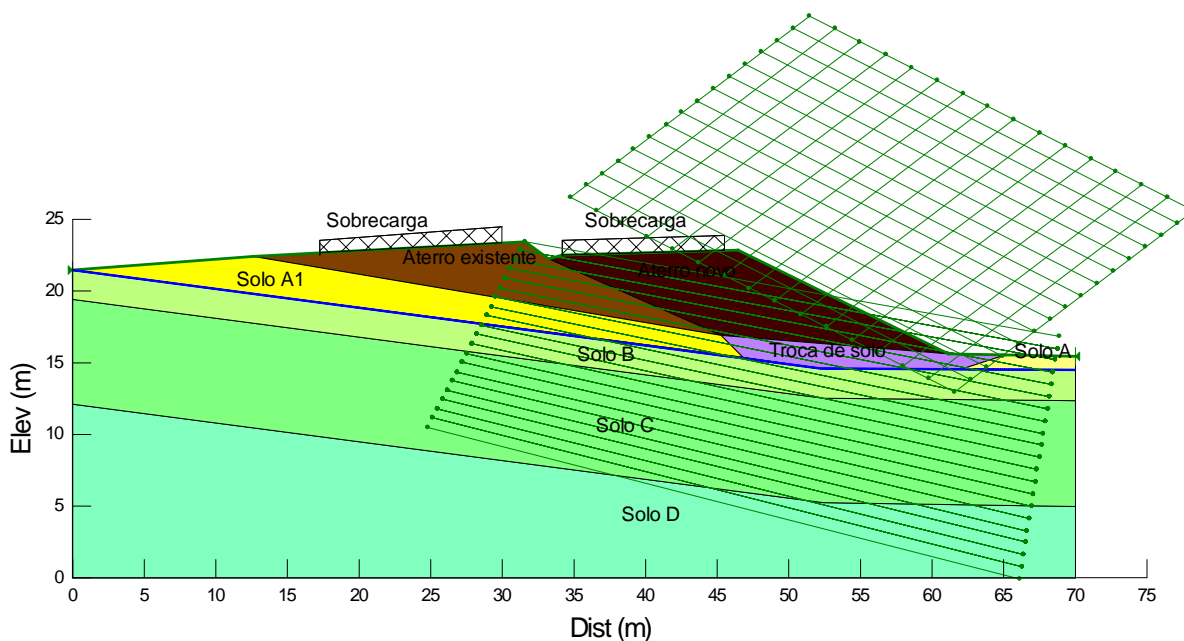
Foram verificadas 5376 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,038 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 31.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 31.6**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 154+920 – Aterro).

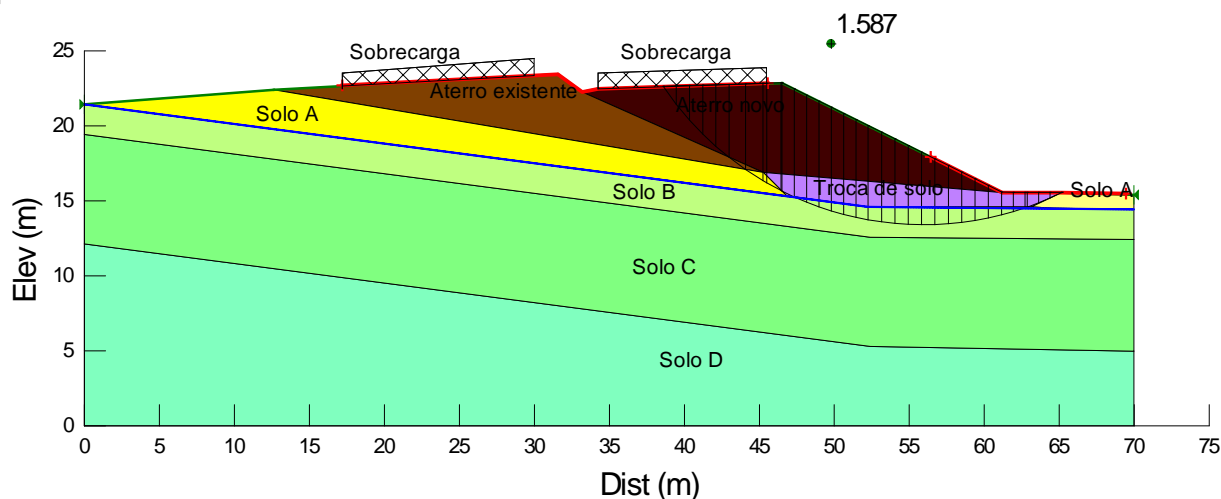
Para estabilização do aterro sugere-se, inicialmente, o tratamento de fundação do aterro por meio da substituição do solo de fundação e o abatimento do talude para inclinação 2:1 (H:V). Caso seja necessário, devido a presença do nível d'água, deve-se utilizar camada drenante com adequada transição granulométrica. A fundação do aterro deve ser verificada e liberada por técnico especializado.

A Figura 31.4 apresenta a análise de estabilidade considerando a solução proposta.



**Figura 31.7**– Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 154+920 – Aterro – Troca de solo).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,587 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 31.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com troca do solo mole apresenta estabilidade satisfatória.

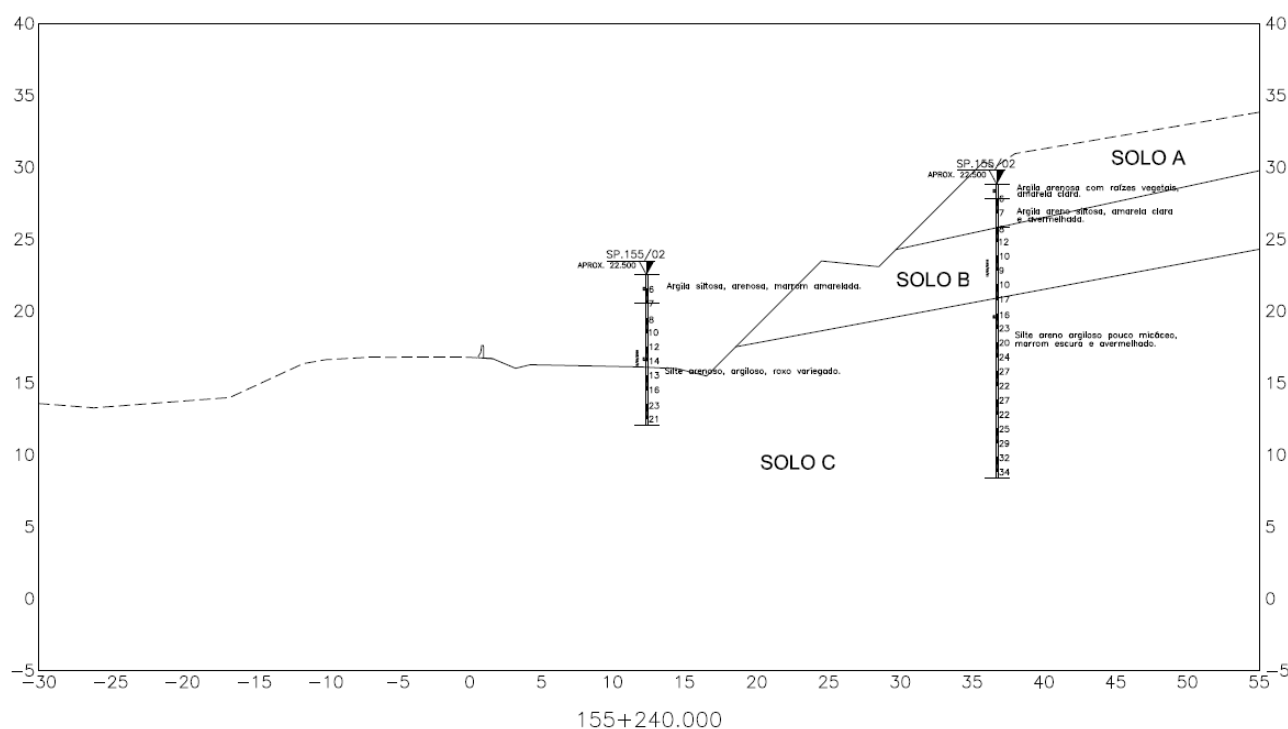


**Figura 1.8**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 154+920 – Aterro – Troca de solo).

## 32. ESTACA KM 155+240 (CORTE)

### 32.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 32.1.

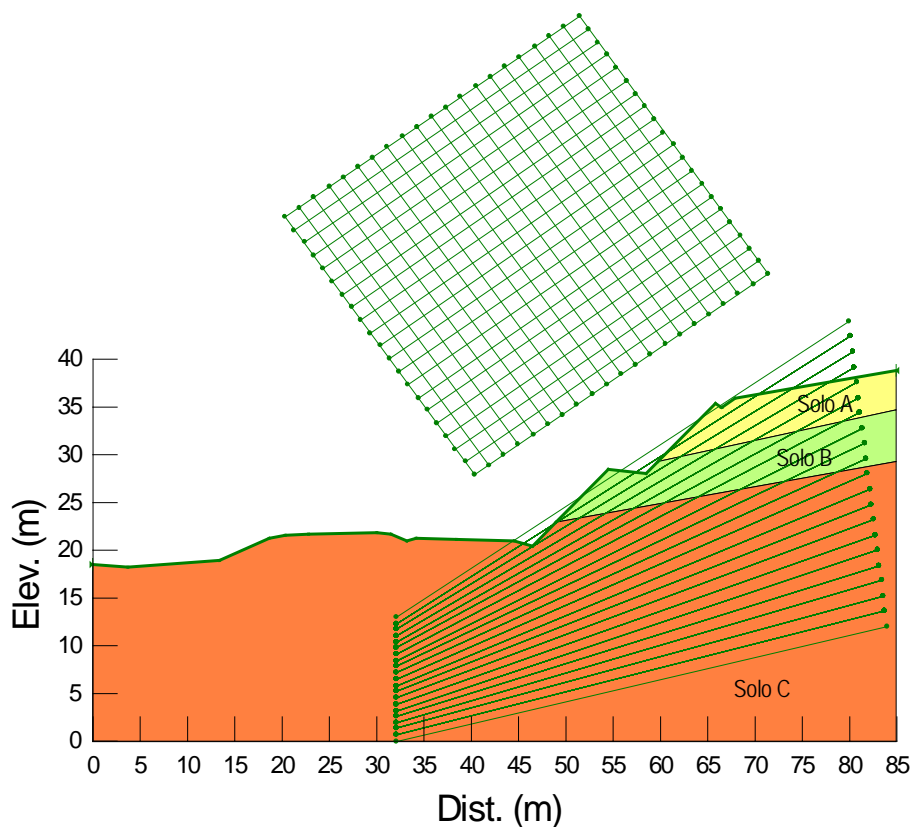


**Figura 32.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 155+240 - Corte).



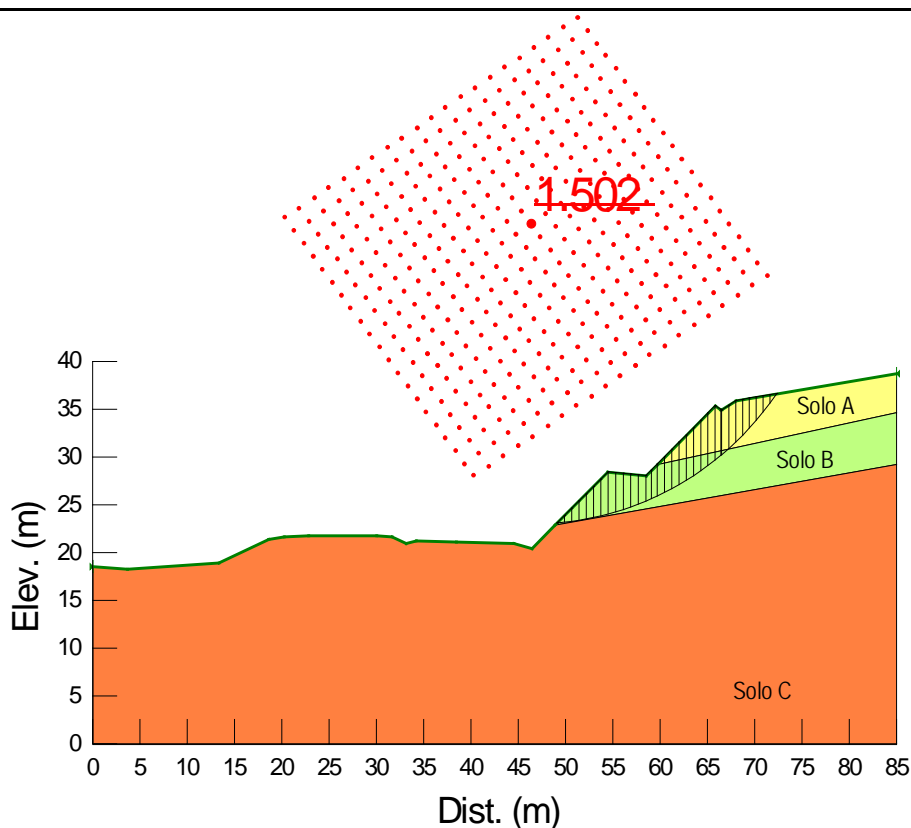
### 32.2. Análises de Estabilidade

A Figura 32.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 155+240.



**Figura 32.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 155+240).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 32.3.



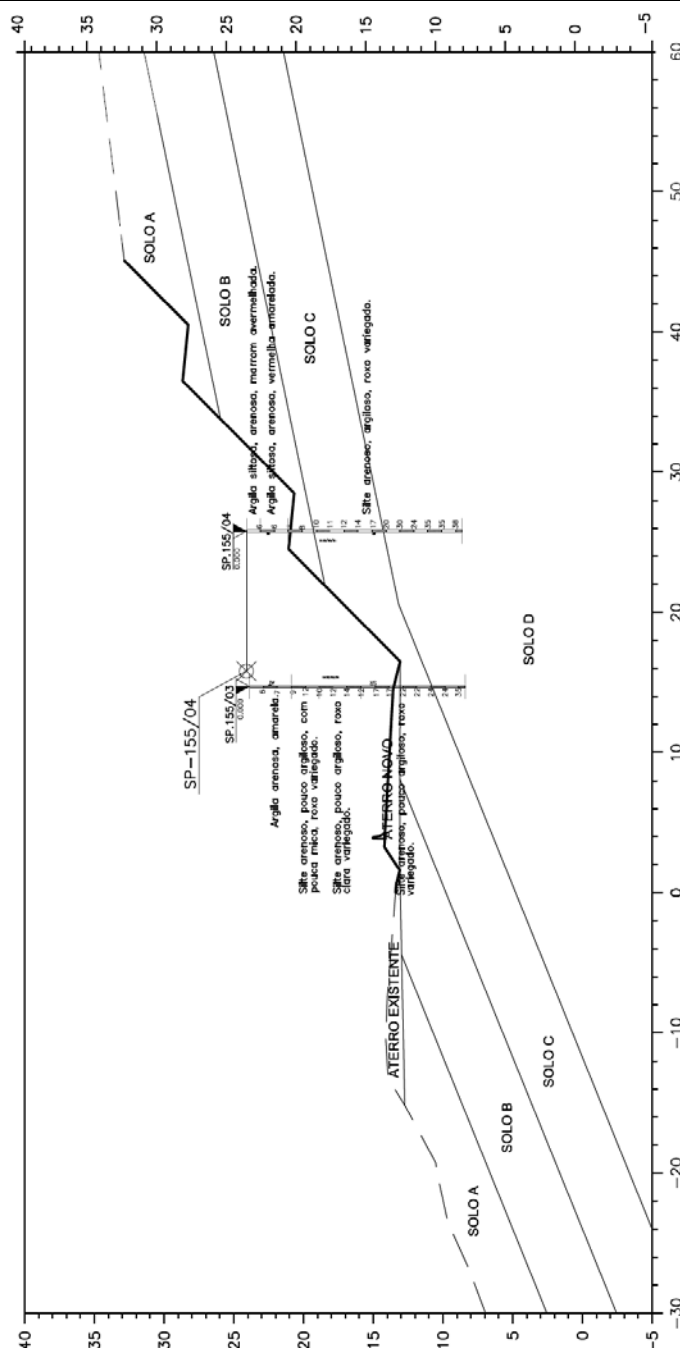
**Figura 32.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Corte - Estaca km 155+240).

A partir da Figura 32.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,502 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória.

### 33. ESTACA KM 155+500 (CORTE)

#### 33.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 33.1.



**Figura 33.9**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 155+500 – Corte).

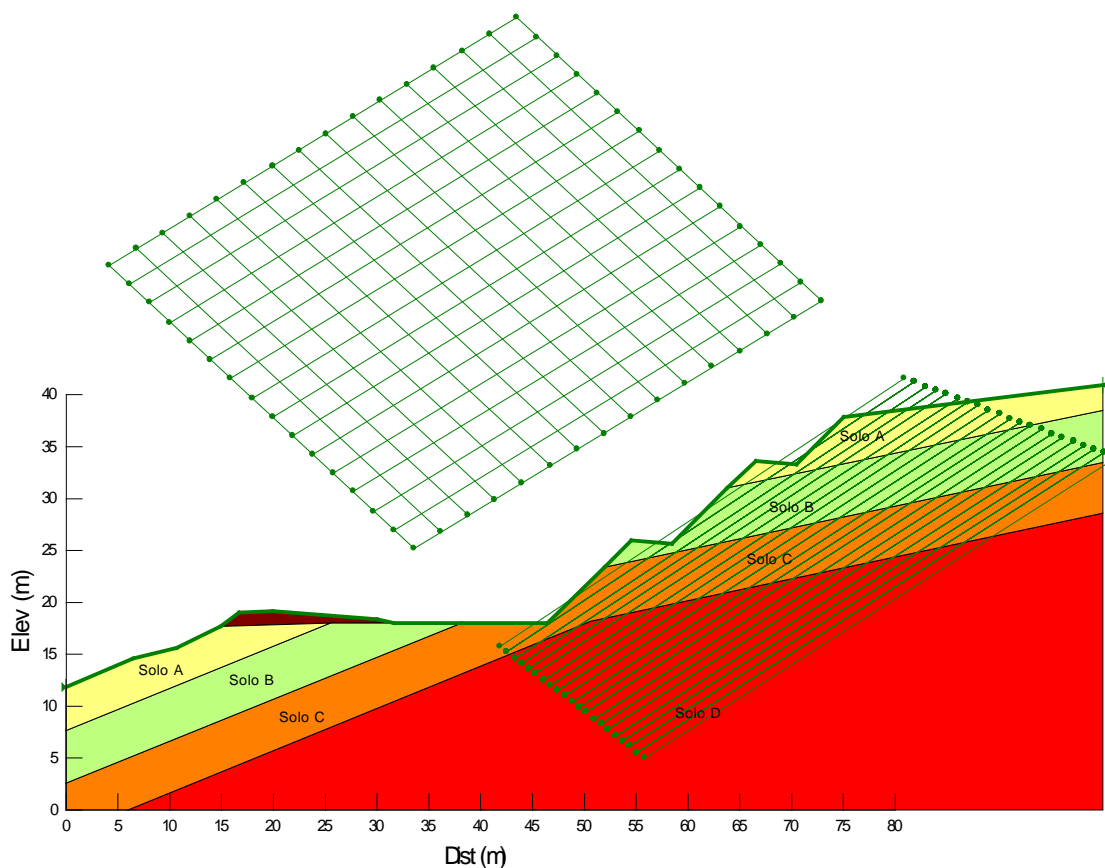
**Tabela 33.3**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	γ(kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	φ (°)
A	Argila siltosa (SS)	6-7	18	20	15
B	Silte arenoso (SR)	8-12	18	18	25
C	Silte arenoso (SR)	17-22	20	22	28
D	Silte arenoso (SR)	24-30	20	25	30
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva; φ' - Ângulo de atrito efetivo do solo; γ – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade; ν – coeficiente de Poisson.

### 33.2. Análises de Estabilidade

A Figura 33.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 155+500.



**Figura 33.10** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 155+500 - Corte).

Foram verificadas 5376 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,510 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 33.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

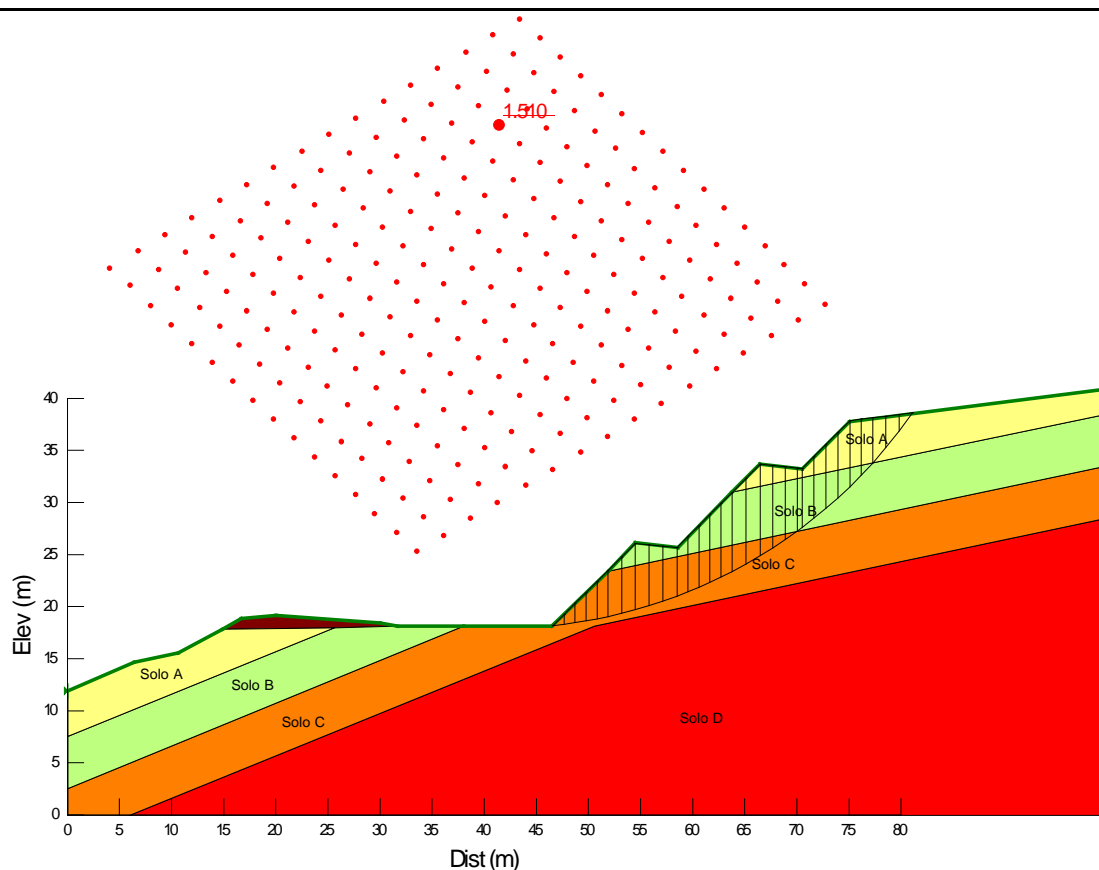
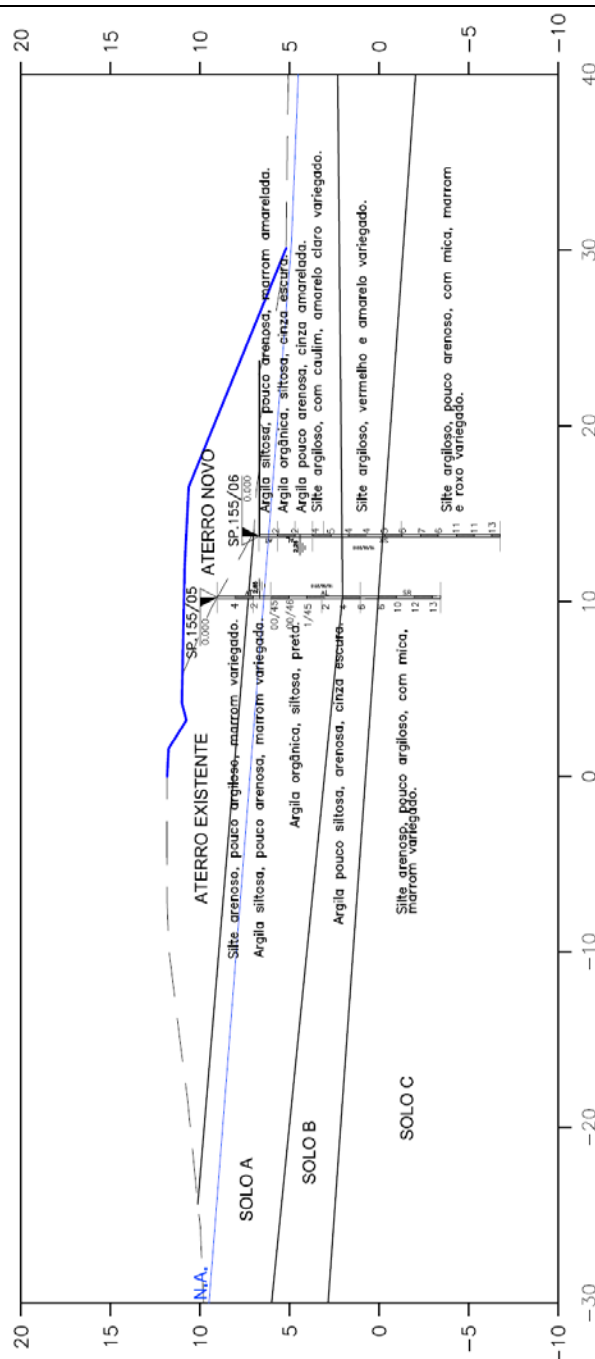


Figura 33.11– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 155+500 – Corte).

## 34. ESTACA KM 155+700 (ATERRO)

### 34.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 34.1.



**Figura 34.12**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 155+700 – Aterro).

**Tabela 34.4**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A1	Argila orgânica, siltosa (AL)	P/45 – 1/45	14	c = f(z)*	0	2000	0,4
A2	Argila orgânica, siltosa (AL)	P/45 – 1/45	15	c = f(z)*	0	2000	0,4
B	Argila pouco siltosa (AL)	2-6	17	15	15	8000	0,35
C	Silte arenoso (SR)	10-13	18	18	25	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo A foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo A1:  $S_u = 15$  kPa (topo da camada) e  $S_{u\text{máx}} = 25$  kPa (base da camada).

Solo A2:  $S_u = 6$  kPa (topo da camada) e  $S_{u\text{máx}} = 12$  kPa (base da camada).

No Solo A ocorrerá recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. A Tabela 34.2 apresenta os valores adotados.

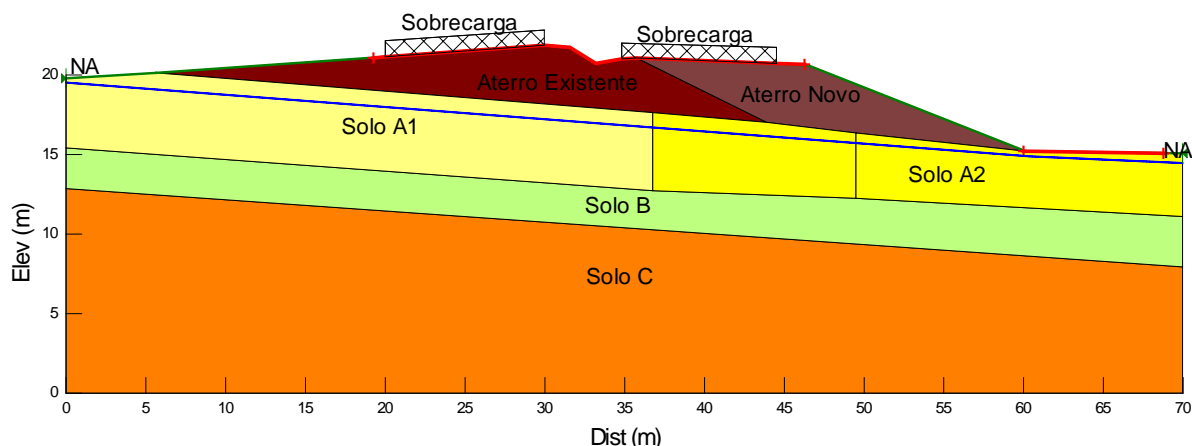
**Tabela 34.5** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

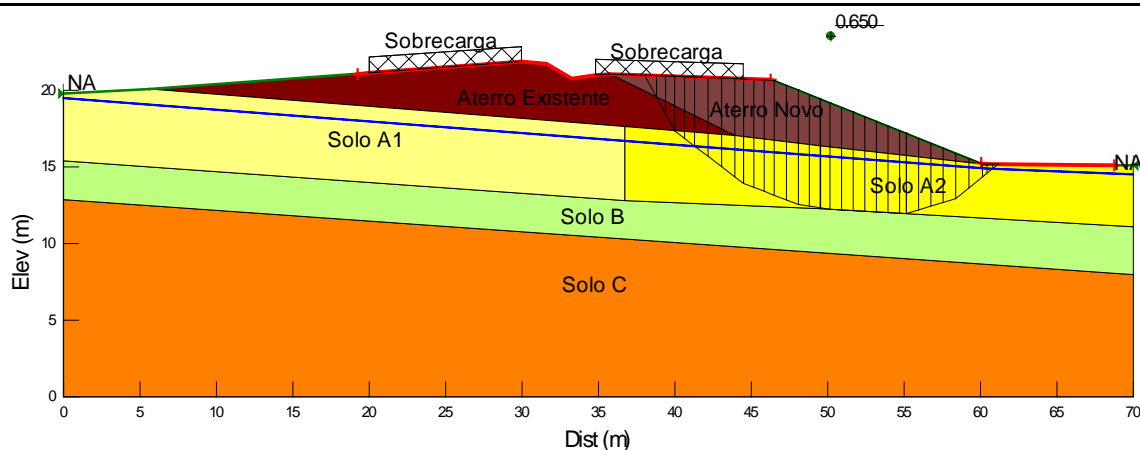
### 34.2. Análises de Estabilidade

A Figura 34.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 155+700.



**Figura 34.13** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 155+700 – Aterro).

Foram verificadas 1219 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Janbu para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 34.3.



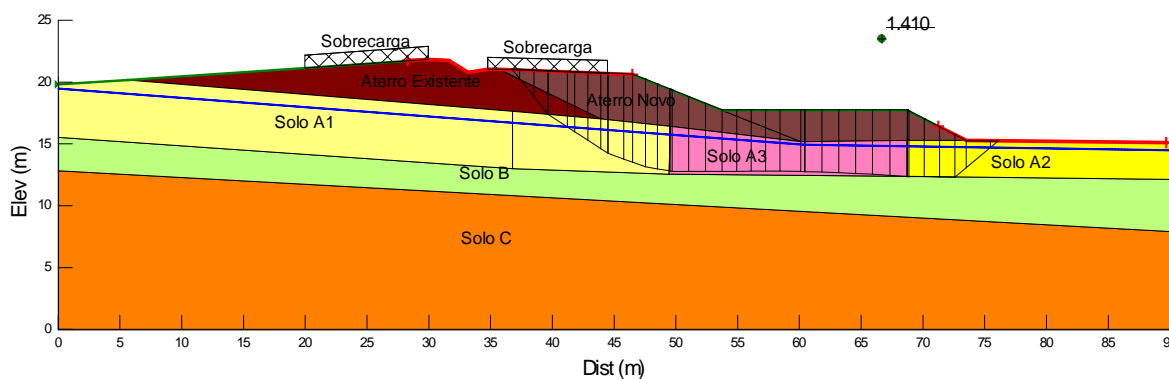
**Figura 34.14**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 155+700 – Aterro).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 0,650 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 34.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica, ou seja, aterro sem berma de equilíbrio e inclinação da saia de 2,5:1 (H:V).

Apresenta-se a seguir a verificação e avaliação de algumas alternativas para a estabilização do referido aterro.

### Utilização de Berma de Equilíbrio

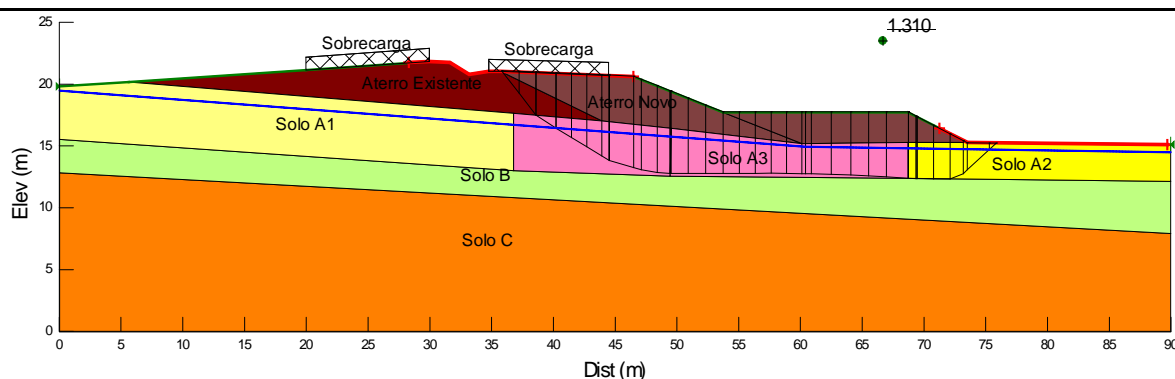
A Figura 34.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,5 m de altura e 15,0 m de largura. Foi considerado o ganho de resistência do solo mole devido a construção do aterro novo da berma de equilíbrio. Assim, adotou-se para o solo A3,  $S_u = 12$  kPa (topo da camada) e  $S_{umax} = 18$  kPa (base da camada).



**Figura 34.15** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 155+700 – Berma de equilíbrio).

A Figura 34.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização em condição provisória.





**Figura 34.5** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 155+700 – Berma de equilíbrio – Condição Provisória).

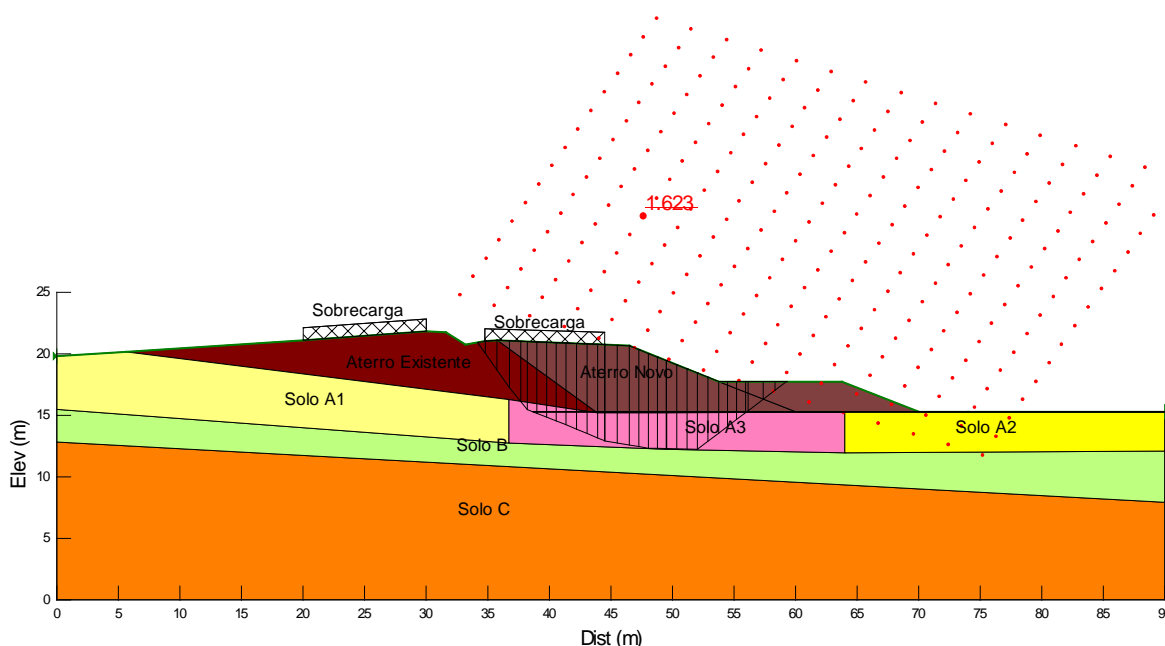
### Reforço Basal com Geogrelha e Berma de Equilíbrio

Com o objetivo de reduzir a largura da berma de equilíbrio e, conseqüentemente, diminuir os volumes de terraplenagem e as possíveis desapropriações, foi realizado o pré-dimensionamento da solução alternativa considerando a construção do aterro com a utilização de reforço basal com geogrelha e berma de equilíbrio.

Apresenta-se a seguir os resultados do pré-dimensionamento da referida solução:

- Resistência nominal de tração da geogrelha: 700 kN/m;
- Berma de equilíbrio: altura de 2,5 m e largura de 10,0 m.

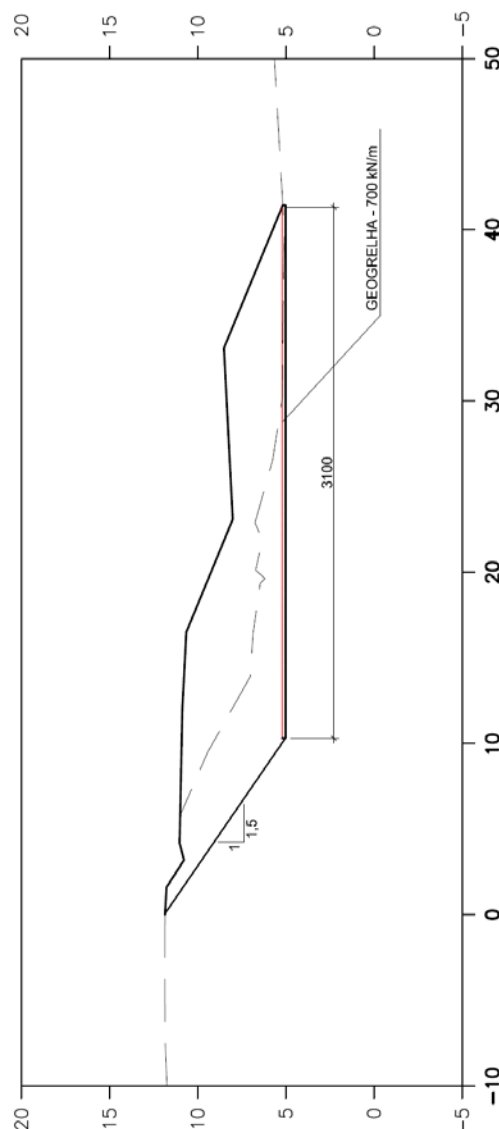
A Figura 34.6 apresenta a verificação de estabilidade considerando a situação proposta, ou seja, reforço basal com geogrelha e berma de equilíbrio com 10 m de comprimento.



**Figura 34.6**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Reforço Basal e Berma de equilíbrio).

O fator de segurança obtido para a análise apresentada na Figura 34.6 é de 1,623 em fase final da obra. O Fator de segurança obtido para a solução de estabilização proposta em fase provisória é de 1,439.

A Figura 34.7 apresenta a seção típica para a Solução de Aterro com Reforço Basal e Berma de Equilíbrio de 10,0 m de largura.



**Figura 34.7** – Seção Típica Estaca 155+700 (Reforço Basal e Berma de Equilíbrio).

Cabe ressaltar que esta solução considera a construção do aterro em etapas. O processo de adensamento deve ser verificado e confirmado por meio de instrumentação adequada. Para a instalação da Geogrelha será necessário a escavação do aterro existente. As análises de estabilidade mostraram que a escavação prevista pouco altera o fator de segurança atual do aterro existente. Recomenda-se que a escavação seja realizada em nichos e que uma faixa de 1,5 m a partir da crista da escavação seja interdita ao tráfego.

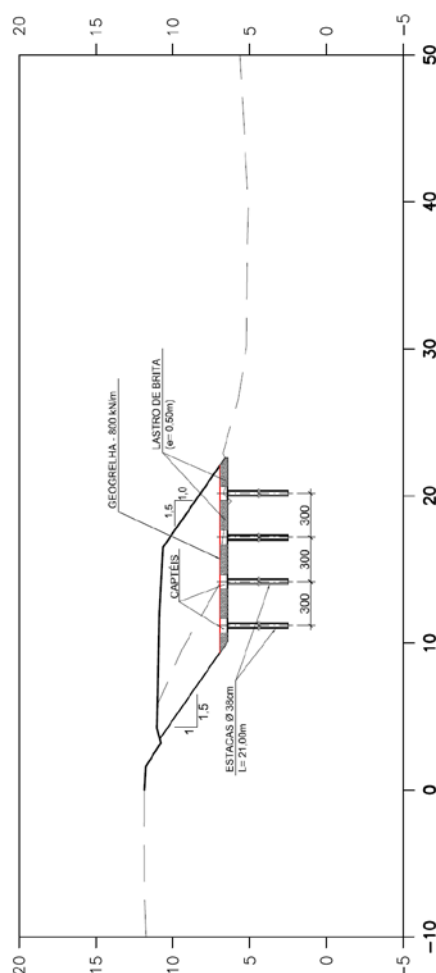
### Aterro Estaqueado Reforçado com Geogrelha

Com o objetivo de eliminar o tempo de espera para a construção do aterro, foi realizado o pré-dimensionamento da solução alternativa com o emprego de Aterro Estaqueado e Reforçado com Geogrelha.

Apresenta-se a seguir os resultados do pré-dimensionamento da referida solução:

- Aterro sem berma de equilíbrio e inclinação de 1,5:1 (H:V);
- Resistência nominal de tração da geogrelha: 800 kN/m;
- Estacas centrifugadas pré-moldadas de concreto:
  - diâmetro externo: 38 cm;
  - comprimento estimado: 21,0 m;
  - Malha de distribuição em planta: 3,0 x 3,0 m;
  - Capitel de concreto: 1,0 x 1,0 x 0,5 m.

A Figura 34.8 apresenta a seção típica para a Solução de Aterro Estaqueado e Reforçado com Geogrelha.



**Figura 34.8** – Seção Típica Estaca 155+700 (Aterro estaqueado e reforçado com geogrelhas).

A Tabela 34.3 apresenta as vantagens e desvantagens das soluções de estabilização discutidas anteriormente para a seção analisada.

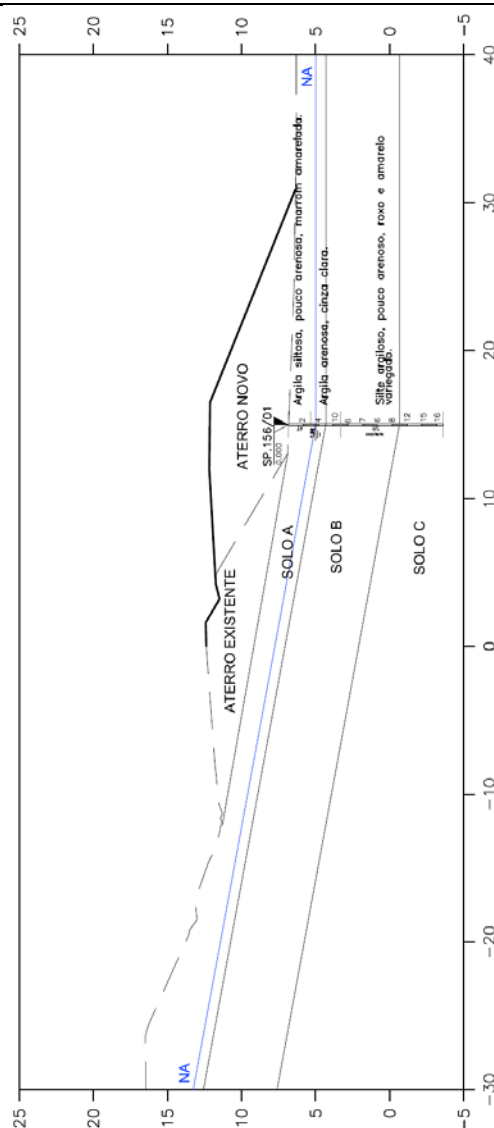
**Tabela 34.6 – Vantagens e desvantagens das soluções de estabilização propostas.**

Solução de Estabilização	Vantagens	Desvantagens
- Solução 1: Berma de 15,0 m (Aterro em Etapas)	- Depende apenas de serviços de terraplenagem.	- Tempo estimado de obra elevado, 8 meses (a ser confirmado); - Grau de segurança da obra aproximadamente $1,4 < 1,5$ . - Necessita de monitoramento e ensaios para a verificação.
- Solução 2: Reforço Basal e Berma de 10,0 m (Aterro em Etapas)	- Reduz o volume de terraplenagem se comparado com a Solução 1.	- Tempo estimado de obra elevado, 6 meses (a ser confirmado); - Necessita de interdição parcial da pista para a escavação do aterro existente; - Necessita de monitoramento para a verificação.
-Solução 3: Aterro Estaqueado e Reforçado com Geogrelha	- Menor volume de terraplenagem; - Menor tempo de execução.	- Necessita de equipamentos e materiais específicos;

### 35. ESTACA KM 156+040 (ATERRO)

#### 35.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 35.1.



**Figur 35.16**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 156+040 – Aterro).

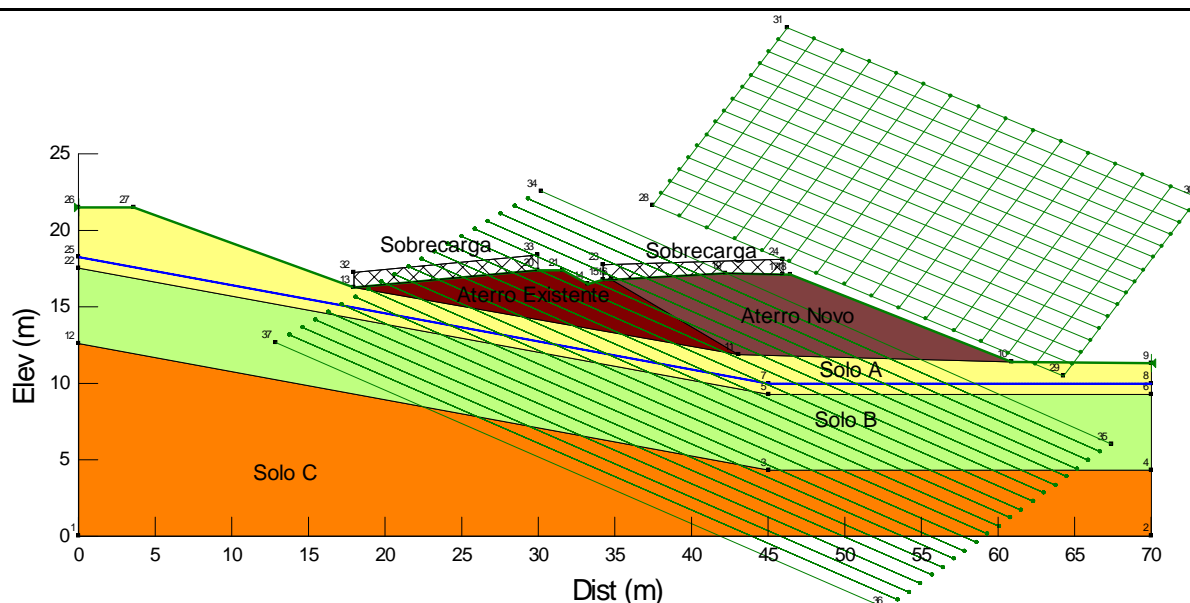
**Tabela 35.7**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila siltosa (AL)	2-4	17	15	15	8000	0,35
B	Silte argiloso (SR)	6-8	18	15	18	9000	0,3
C	Silte argiloso (SR)	12-16	18	15	20	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

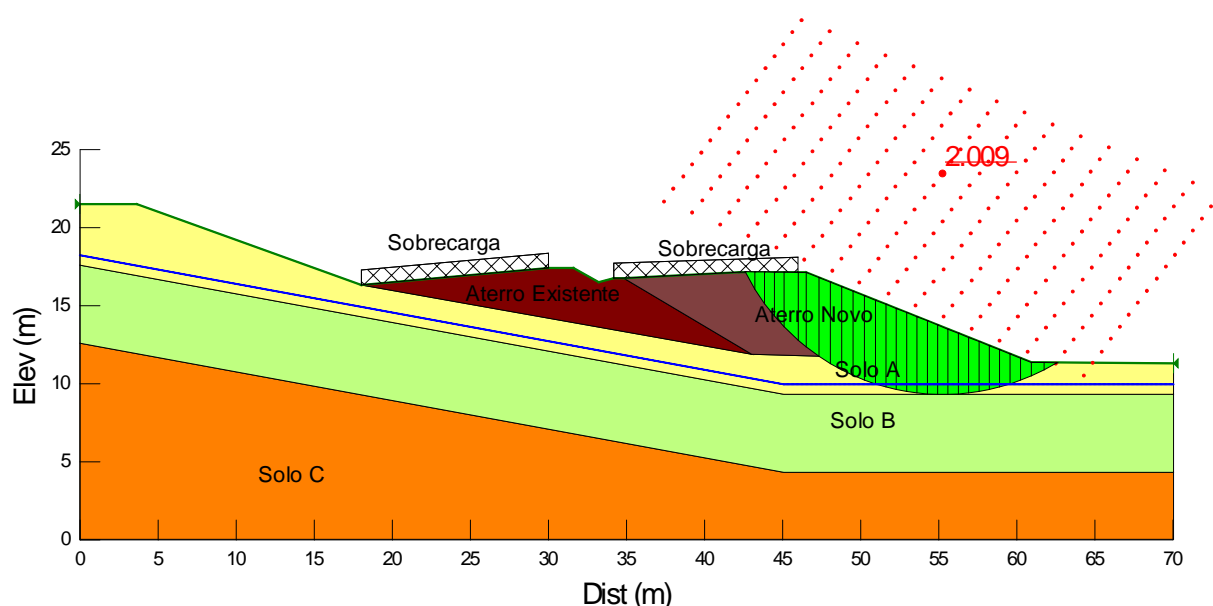
### 35.2. Análises de Estabilidade

A Figura 35.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 156+040.



**Figura 35.17** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 156+040 – Aterro).

Foram verificadas 5376 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 2,009 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 35.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

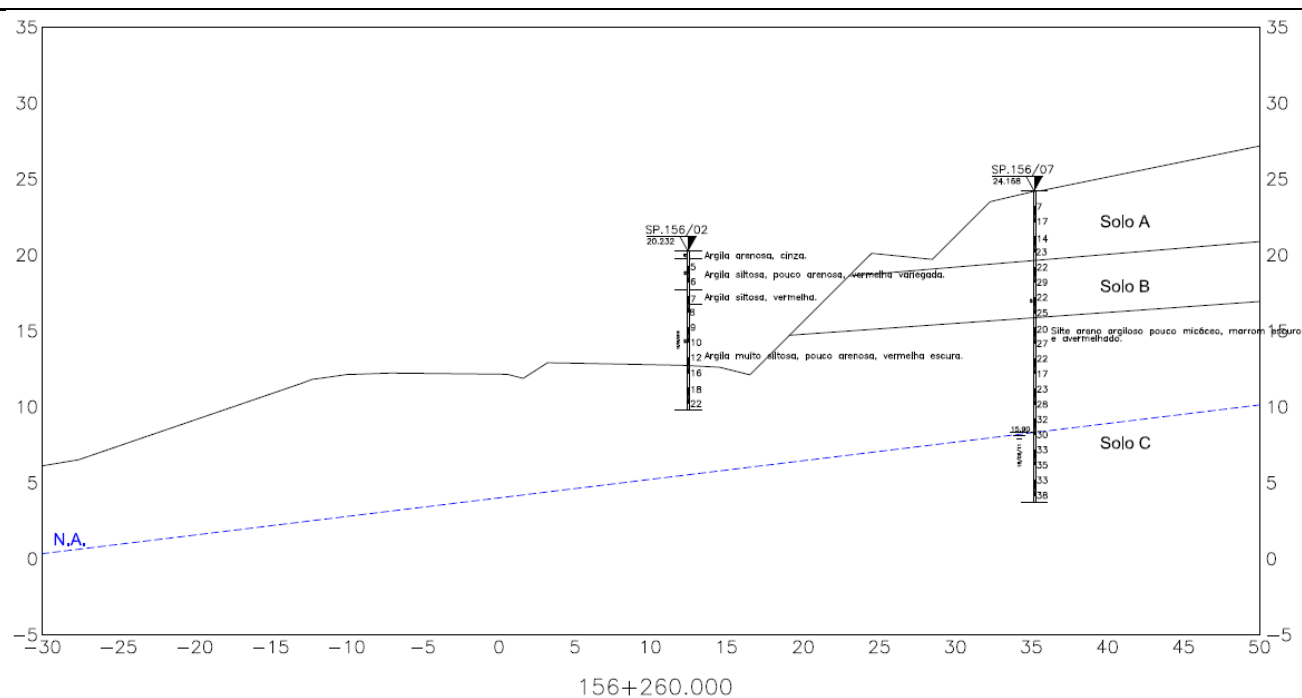


**Figura 35.18** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 156+040 – Aterro).

## 36. ESTACA KM 156+260 (CORTE)

### 36.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 36.1.



**Figura 36.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 156+260 - Corte).

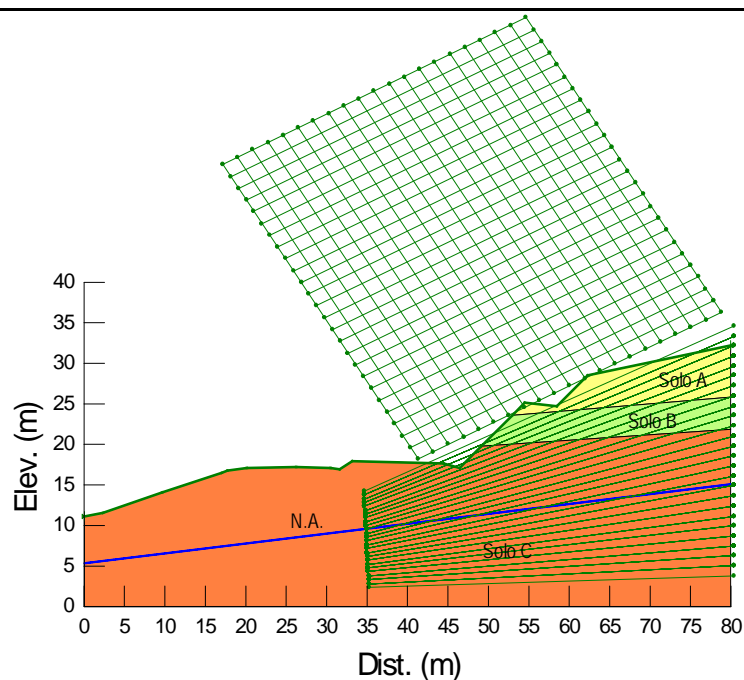
**Tabela 36.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	$N_{SPT}$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
A	Argila siltosa pouco arenosa (SR)	5 – 6	17	20	15
B	Argila muito siltosa pouco arenosa (SR)	7 – 9	18	25	17
C	Argila muito siltosa pouco arenosa (SR)	12 – 22	19	30	18

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural.

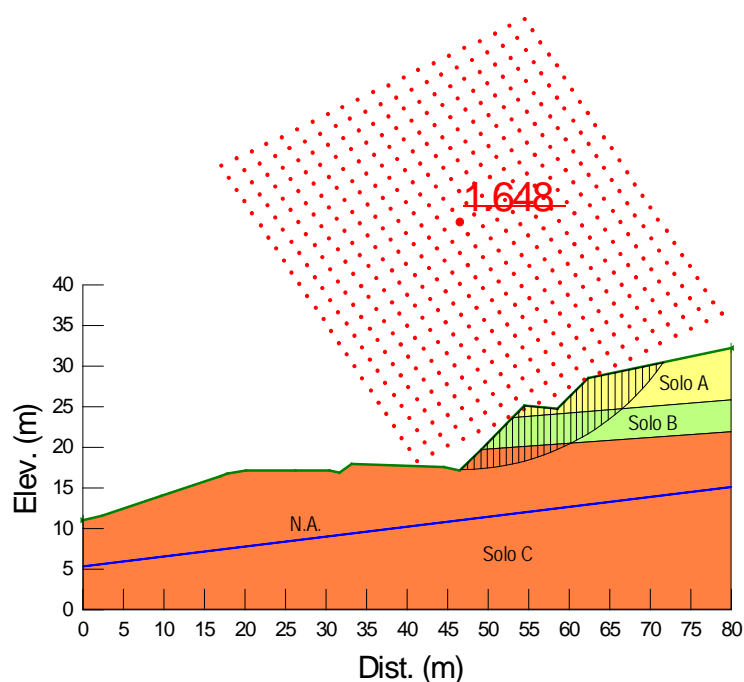
### 36.2. Análises de Estabilidade

A Figura 36.2 apresenta a geometria e os horizontes de solo utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 156+260.



**Figura 36.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Corte– Estaca km 156+260).

Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 36.3.



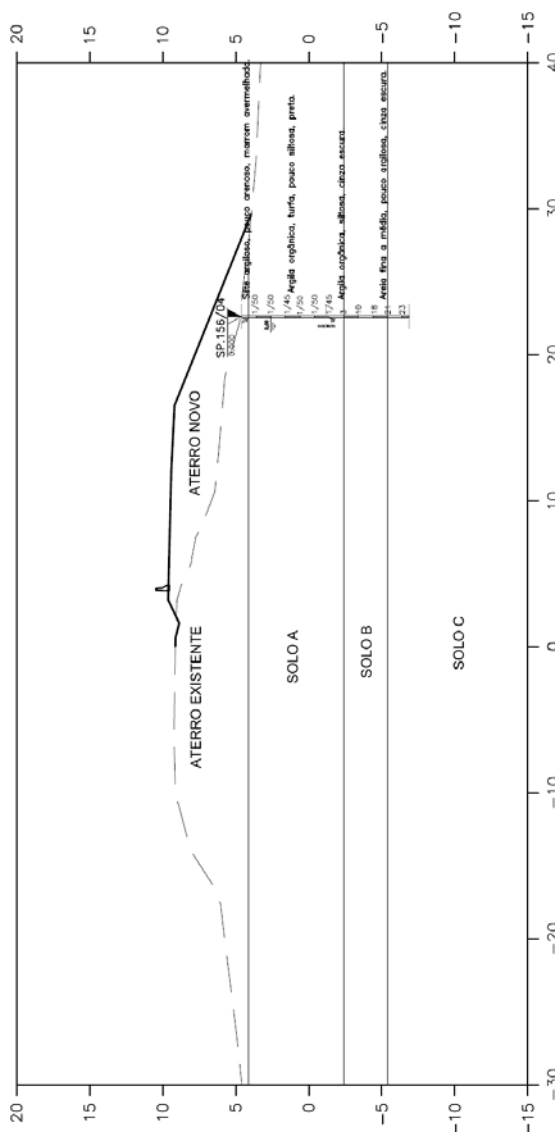
**Figura 36.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Corte - Estaca km 156+260).

A partir da Figura 36.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,648 > 1,5$ , portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória.



### 37. ESTACA KM 156+580 (ATERRO)

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 37.1.



**Figura 37.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 156+580 – Aterro).

**Tabela 37.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A1	Argila orgânica (AL)	1/45	14	c = f(z)*	0	2000	0,4
B	Areia fina a média (AL)	10-20	18	0	28	8000	0,35
C	Areia fina a média (AL)	23	19	0	29	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo A foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/v$  (Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo A1:  $S_u = 18$  kPa (topo da camada) e  $S_{u\text{máx}} = 28$  kPa (base da camada).

Solo A2:  $S_u = 6$  kPa (topo da camada) e  $S_{u\text{máx}} = 15$  kPa (base da camada).

No Solo A ocorrerá recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. A Tabela 16.2 apresenta os valores adotados.

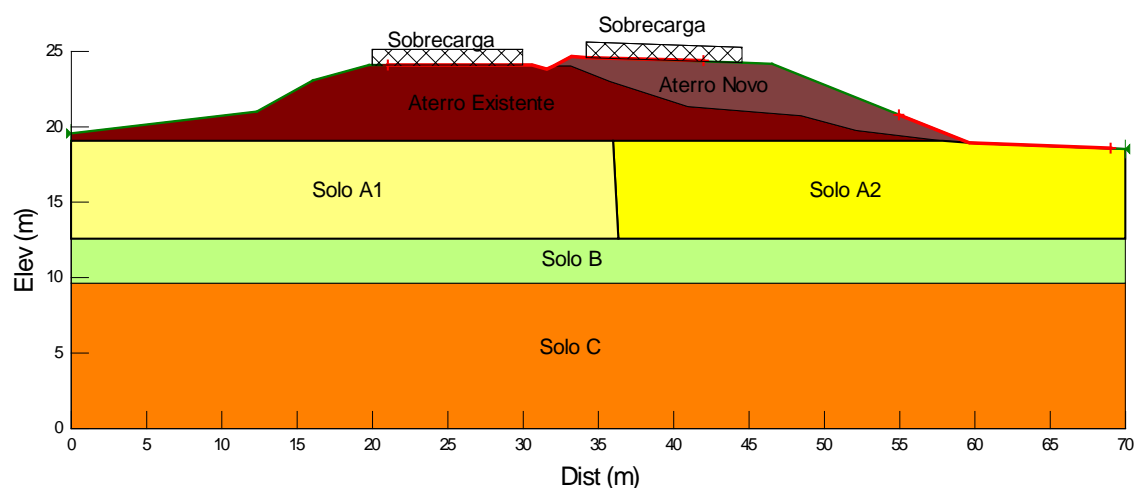
**Tabela 37.2** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

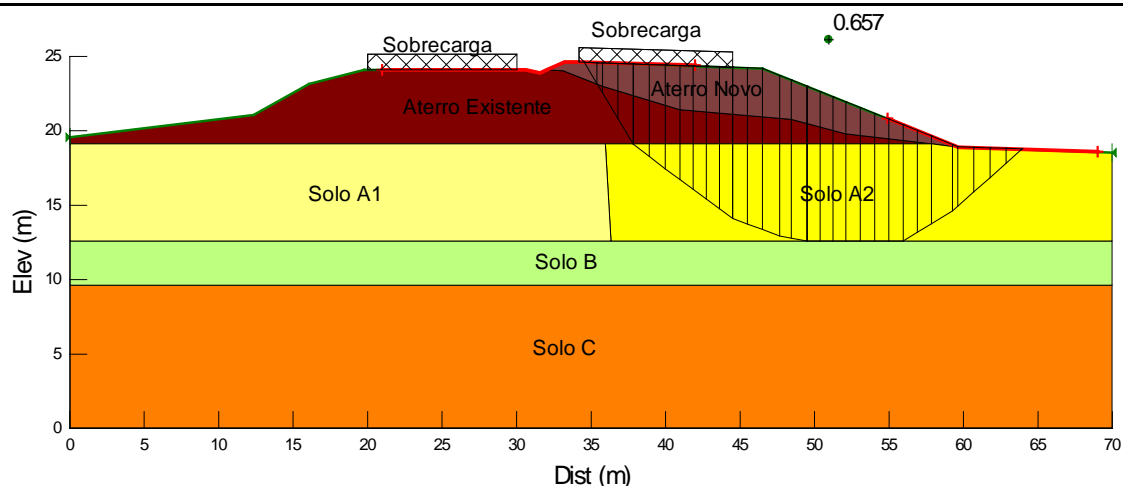
### 37.2. Análises de Estabilidade

A Figura 37.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 156+580.



**Figura 37.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 156+580 – Aterro).

Foram verificadas 1446 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Janbu para a seção analisada, conforme apresentado na Figura 37.3.

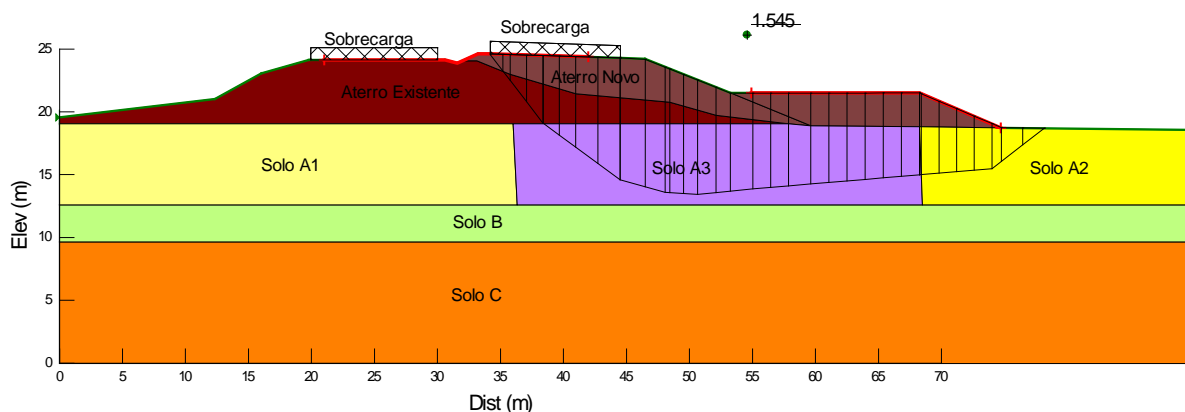


**Figura 37.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Estaca km 156+580 – Aterro).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 0,657 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 37.3.

### Utilização de Berma de Equilíbrio

A Figura 37.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,5 m de altura e 15,0 m de largura. Foi considerado o adensamento do solo mole localizado abaixo do aterro novo. Assim, adotou-se para o solo A3,  $S_u = 12$  kPa (topo da camada) e  $S_{um\acute{a}x} = 18$  kPa (base da camada).



**Figura 37.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 156+580 – Berma de equilíbrio).

O fator de segurança obtido na análise apresentada na Figura 37.4 é de 1,545, atendendo às recomendações. Conclui-se que a utilização a solução de estabilização do aterro com berma de equilíbrio de 15 m de extensão e 2,5 m de altura apresenta estabilidade satisfatória. Para a análise desta solução, considerando a situação provisória, foi obtido o fator de segurança igual a 1,366.

### Reforço Basal com Geogrelha e Berma de Equilíbrio

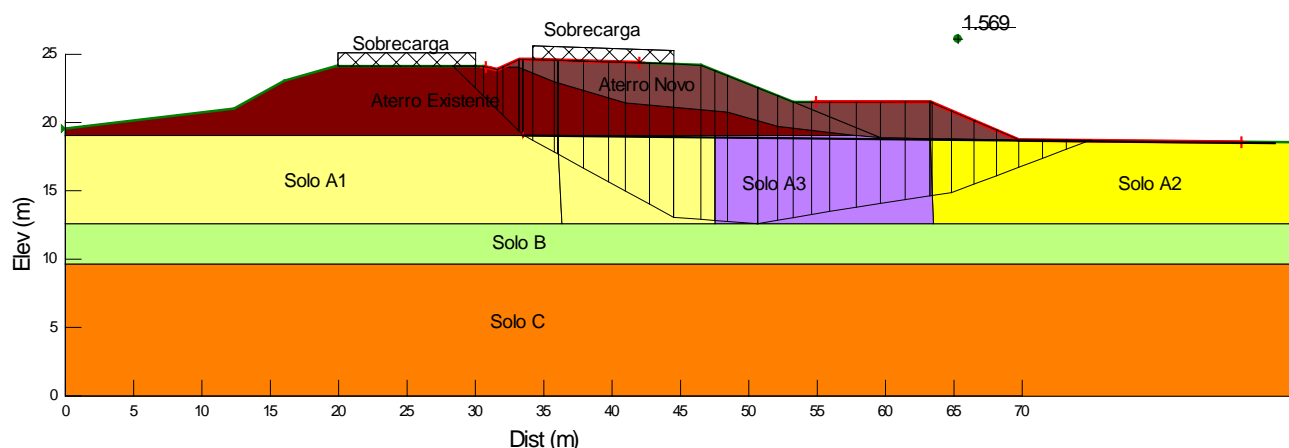
Com o objetivo de reduzir a largura da berma de equilíbrio e, conseqüentemente, diminuir os volumes de terraplenagem e as possíveis desapropriações, foi realizado o pré-dimensionamento da

solução alternativa considerando a construção do aterro com a utilização de reforço basal com geogrelha e berma de equilíbrio.

Apresenta-se a seguir os resultados do pré-dimensionamento da referida solução:

- Resistência nominal de tração da geogrelha: 700 kN/m;
- Berma de equilíbrio: altura de 2,5 m e largura de 10,0 m.

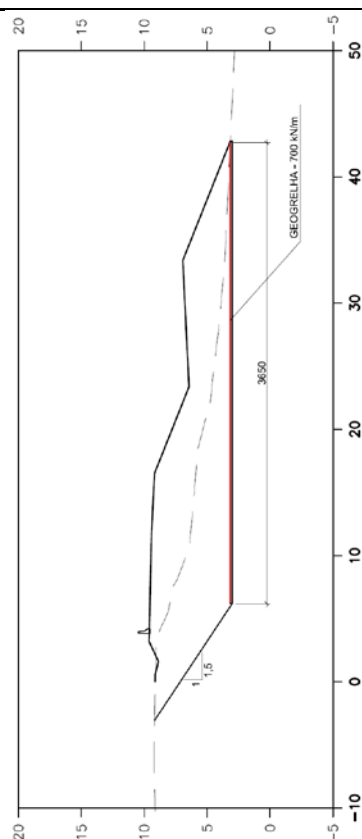
A Figura 37.5 apresenta a verificação de estabilidade considerando a situação proposta, ou seja, reforço basal com geogrelha e berma de equilíbrio com 10 m de comprimento.



**Figura 37.5**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Reforço Basal e Berma de equilíbrio).

O fator de segurança obtido para a análise apresentada na Figura 37.5 é de 1,569 em fase final da obra. O Fator de segurança obtido para a solução de estabilização proposta em fase provisória é de 1,470.

A Figura 37.6 apresenta a seção típica para a Solução de Aterro com Reforço Basal e Berma de Equilíbrio de 10,0m de largura.



**Figura 37.6 – Seção Típica Estaca 156+580 (Reforço Basal e Berma de Equilíbrio).**

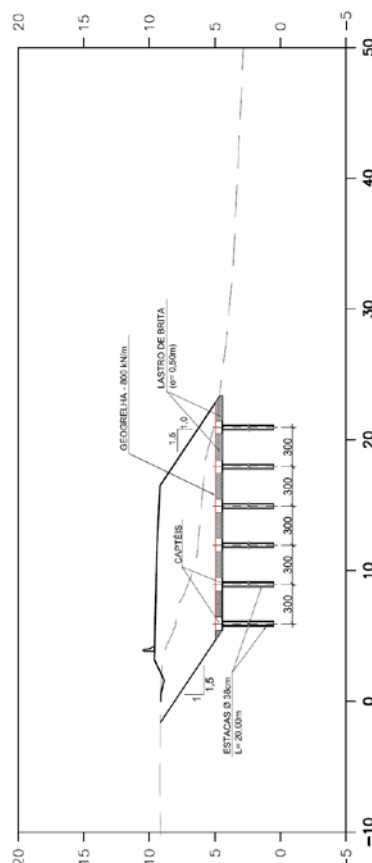
### ***Aterro Estaqueado Reforçado com Geogrelha***

Com o objetivo de eliminar o tempo de espera para a construção do aterro, foi realizado o pré-dimensionamento da solução alternativa com o emprego de Aterro Estaqueado e Reforçado com Geogrelha.

Apresenta-se a seguir os resultados do pré-dimensionamento da referida solução:

- Aterro sem berma de equilíbrio e inclinação de 1,5:1 (H:V);
- Resistência nominal de tração da geogrelha: 800 kN/m;
- Estacas centrifugadas pré-moldadas de concreto:
  - diâmetro externo: 38 cm;
  - comprimento estimado: 20,0 m;
  - Malha de distribuição em planta: 3,0 x 3,0 m;
  - Capitel de concreto: 1,0 x 1,0 x 0,5 m.

A Figura 37.7 apresenta a seção típica para a Solução de Aterro Estaqueado e Reforçado com Geogrelha.



**Figura 37.7** – Seção Típica Estaca 156+580 (Aterro estaqueado e reforçado com geogrelhas).

A Tabela 37.3 apresenta as vantagens e desvantagens das soluções de estabilização discutidas anteriormente neste relatório.

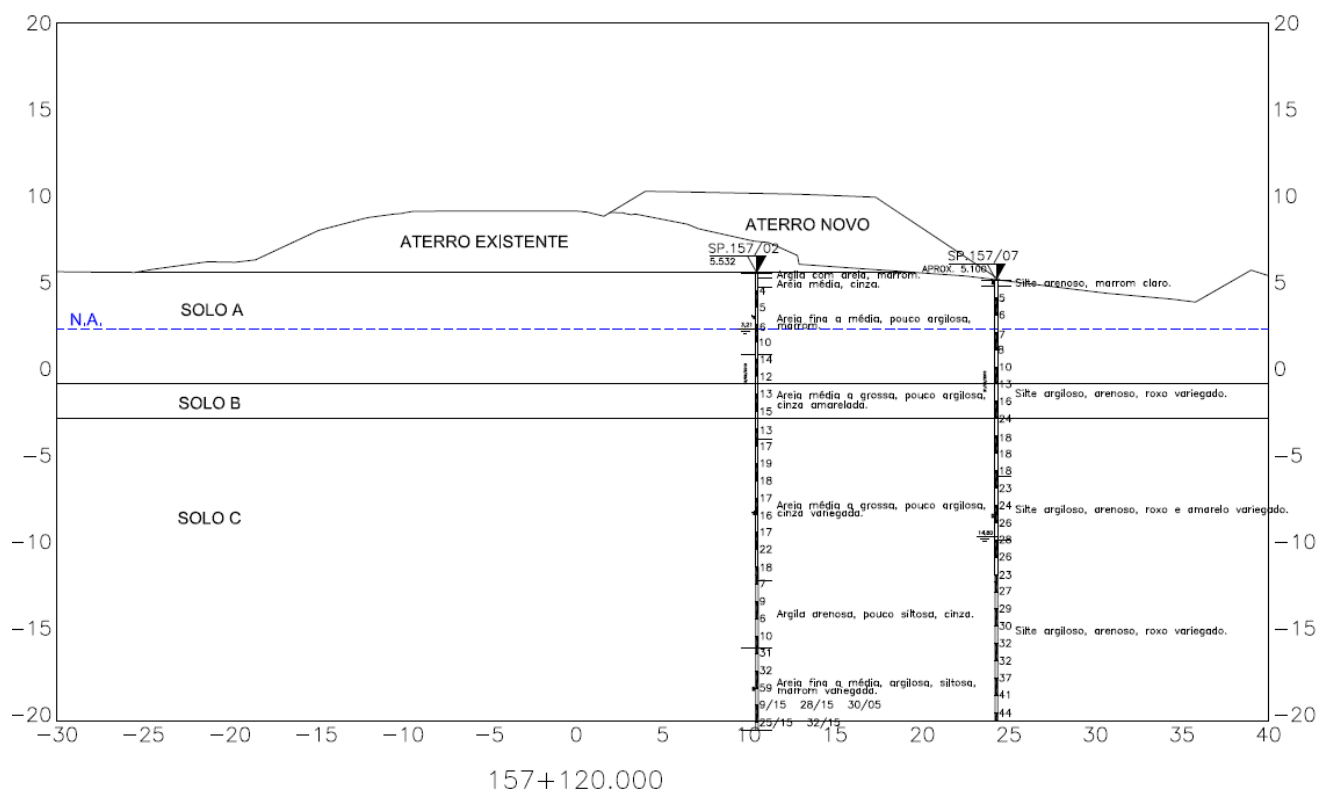
**Tabela 37.3** – Vantagens e desvantagens das soluções de estabilização propostas.

Solução de Estabilização	Vantagens	Desvantagens
- Solução 1: Berma de 15,0 m (Aterro em Etapas)	- Depende apenas de serviços de terraplenagem.	- Tempo estimado de obra elevado, 6 meses (a ser confirmado);  - Necessita de monitoramento e ensaios para a verificação.
- Solução 2: Reforço Basal e Berma de 10,0 m (Aterro em Etapas)	- Reduz o volume de terraplenagem se comparado com a Solução 1.	- Tempo estimado de obra elevado, 6 meses (a ser confirmado); - Necessita de interdição parcial da pista para a escavação do aterro existente; - Necessita de monitoramento para a verificação.
- Solução 3: Aterro Estaqueado e Reforçado com Geogrelha	- Menor volume de terraplenagem; - Menor tempo de execução.	- Necessita de equipamentos e materiais específicos;

### 38. ESTACA KM 157+120 (ATERRO)

#### 38.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 38.1.



**Figura 38.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 157+120 - Aterro).

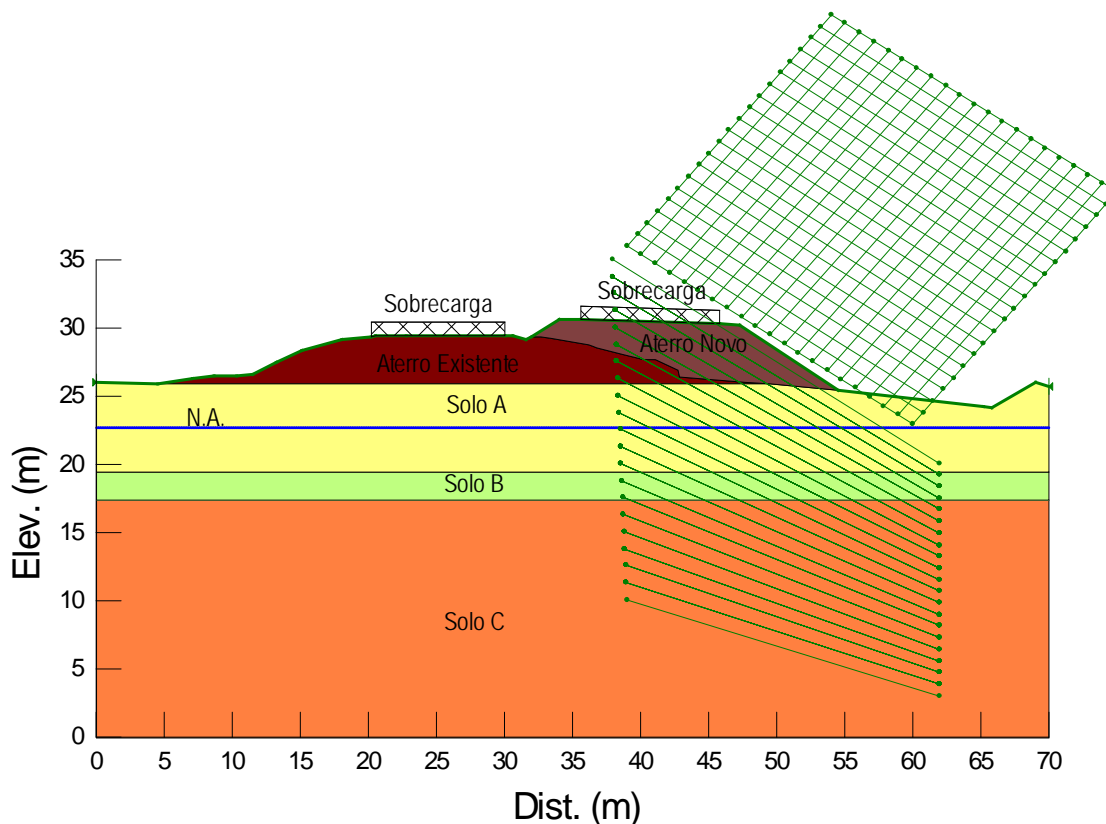
**Tabela 38.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Silte argilo-arenoso (SR)	5 - 10	17	15	23	10500	0,30
B	Silte argilo-arenoso (SR)	13 - 15	18	20	25	11000	0,30
C	Silte argilo-arenoso (SR)	15 - 25	20	25	28	11500	0,25
Aterro Existente			19	18	20	8200	0,30
Aterro Novo			19	20	25	8500	0,30

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

### 38.2. Análises de Estabilidade

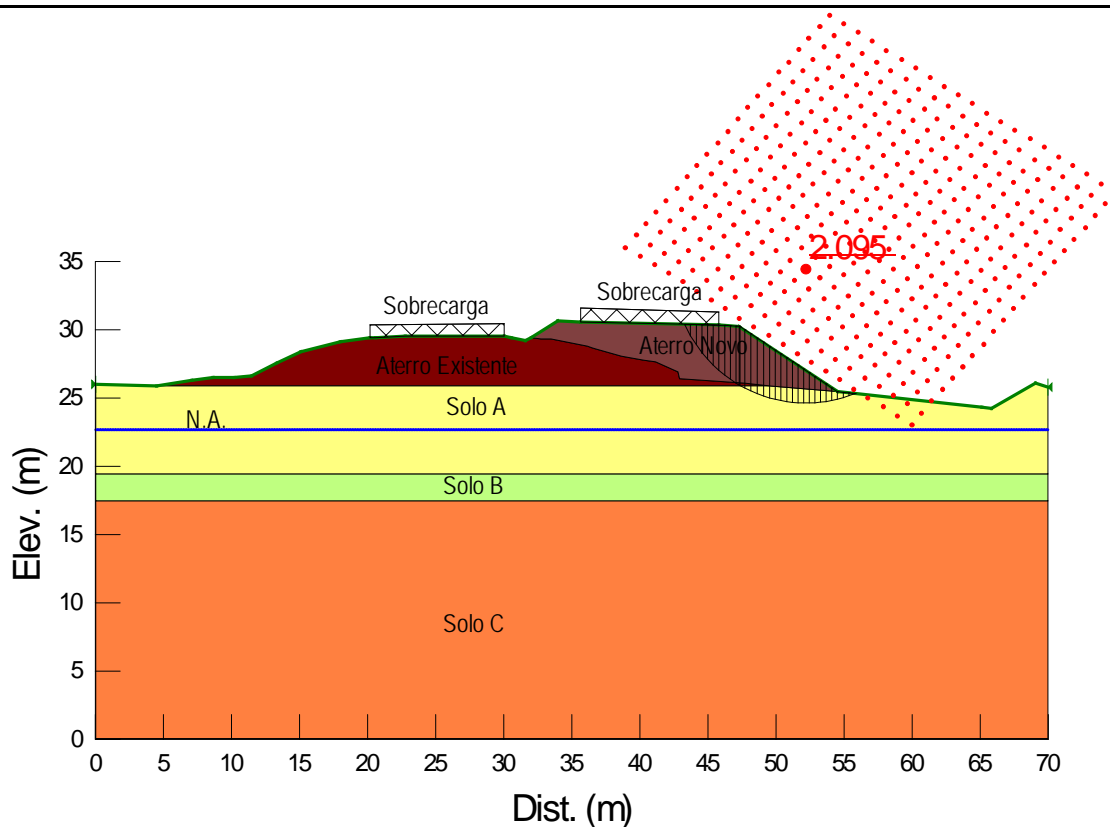
A Figura 38.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 157+120.



**Figura 38.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Aterro – Estaca km 157+120).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais, foi obtida a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada, conforme apresentado na Figura na Figura 38.3.





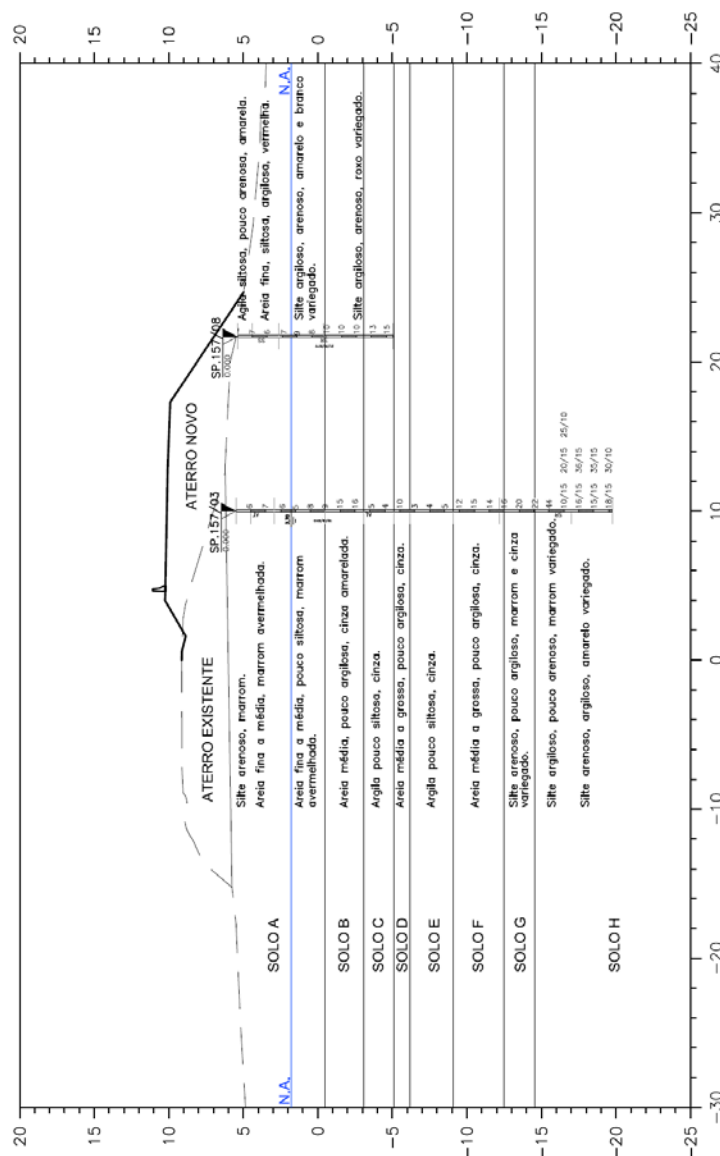
**Figura 38.3** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 157+120).

A partir da Figura 38.3, observa-se que o fator de segurança obtido foi de  $FS = 2,095 > 1,5$ . Portanto, conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

## 39. ESTACA KM 157+180 (ATERRO)

### 39.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 39.1.



**Figura 39.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 157+180 – Aterro).

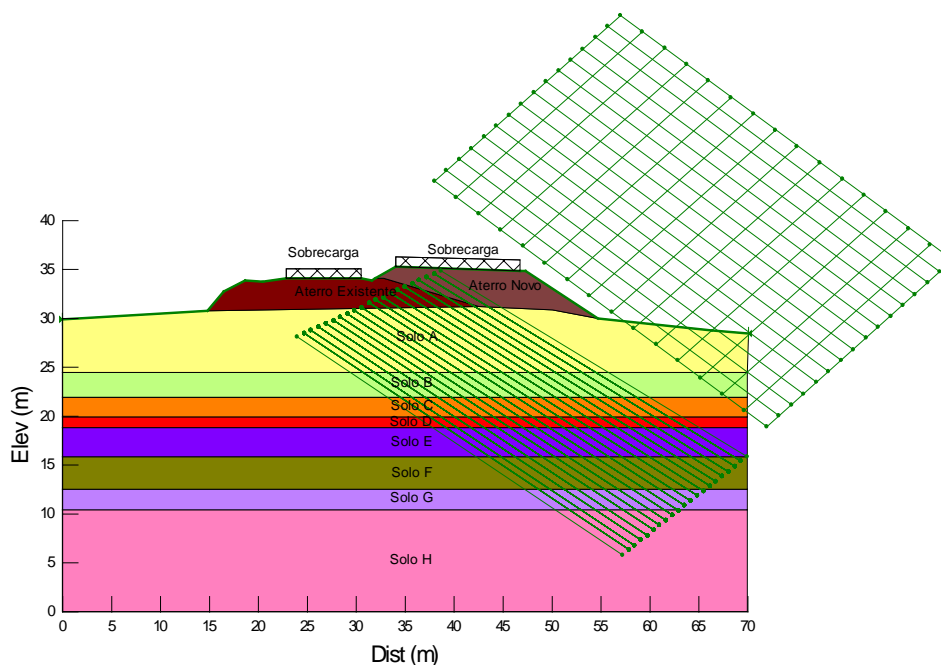
**Tabela 39.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Areia fina a média (AL)	5-9	17	0	27	9000	0,3
B	Areia média (AL)	15-16	19	0	28	11000	0,3
C	Argila pouco siltosa (AL)	4-5	18	18	15	8000	0,35
D	Areia média a grossa (AL)	10	17	0	27	10000	0,3
E	Argila pouco siltosa (AL)	3-5	18	18	15	7000	0,3
F	Areia média a grossa (AL)	12-16	19	0	28	10000	0,3
G	Silte arenoso (SR)	20-22	20	25	28	13000	0,3
H	Silte argiloso/arenoso (SR)	44-50	20	25	30	15000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  – Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

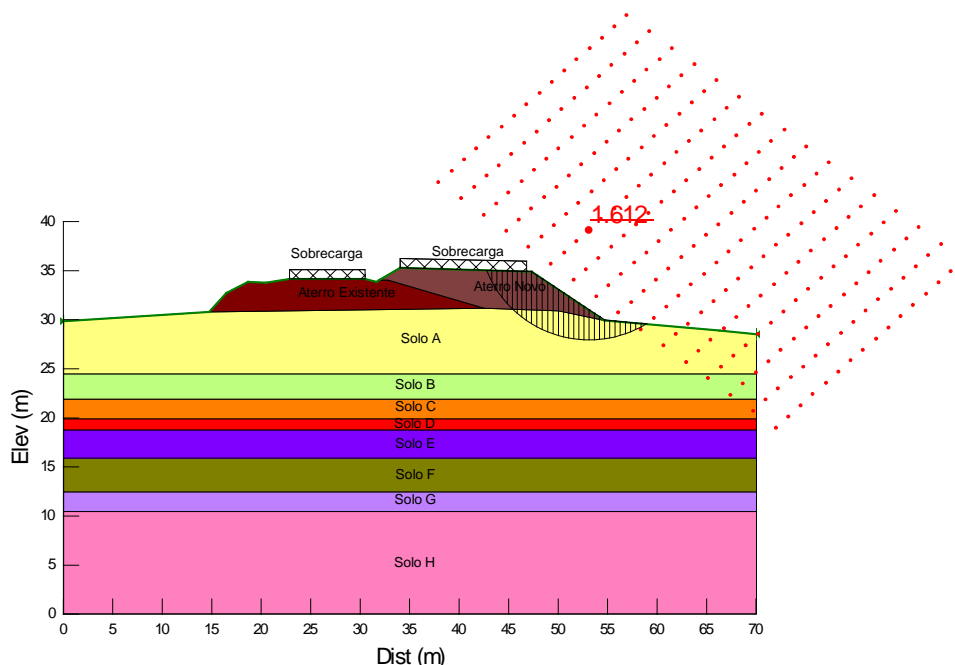
### 39.2. Análises de Estabilidade

A Figura 39.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 157+180.



**Figura 39.1** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 157+180 – Aterro).

Foram verificadas 5376 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,612 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 39.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com troca do solo mole apresenta estabilidade satisfatória.

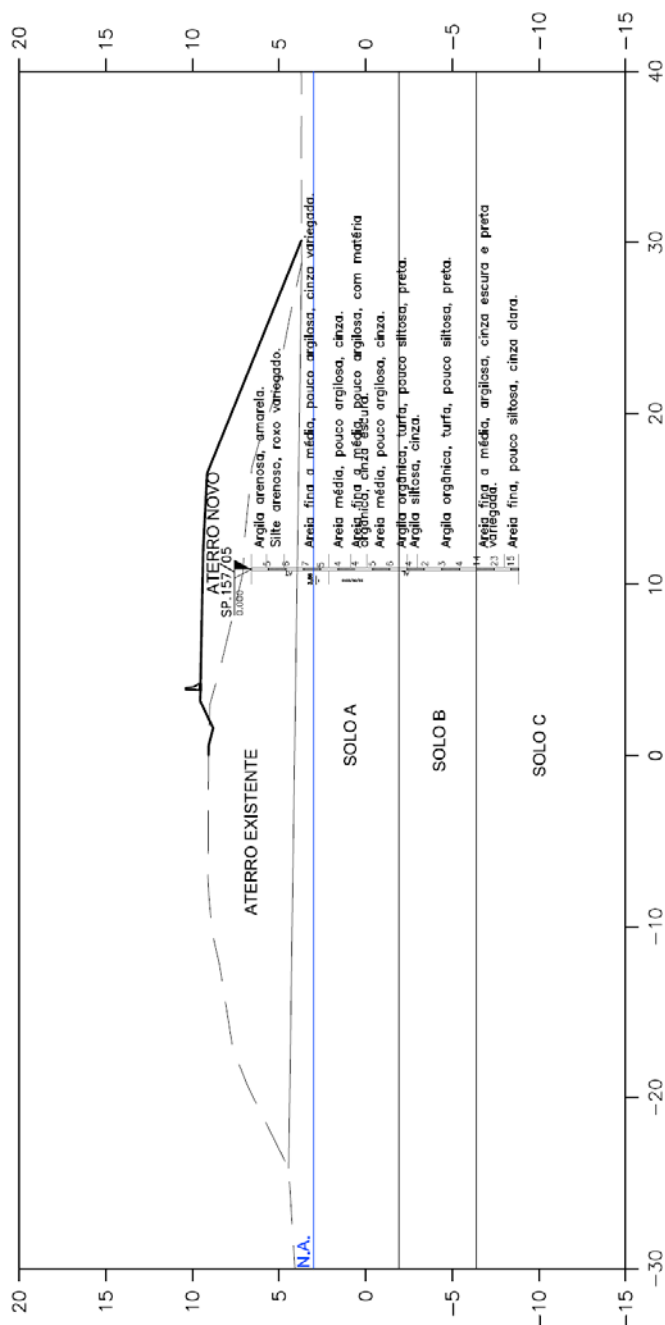


**Figura 39.2**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 157+180 – Aterro).

## 40. ESTACA KM 157+520 (ATERRO)

### 40.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 40.1.



**Figura 40.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 157+520 – Aterro).

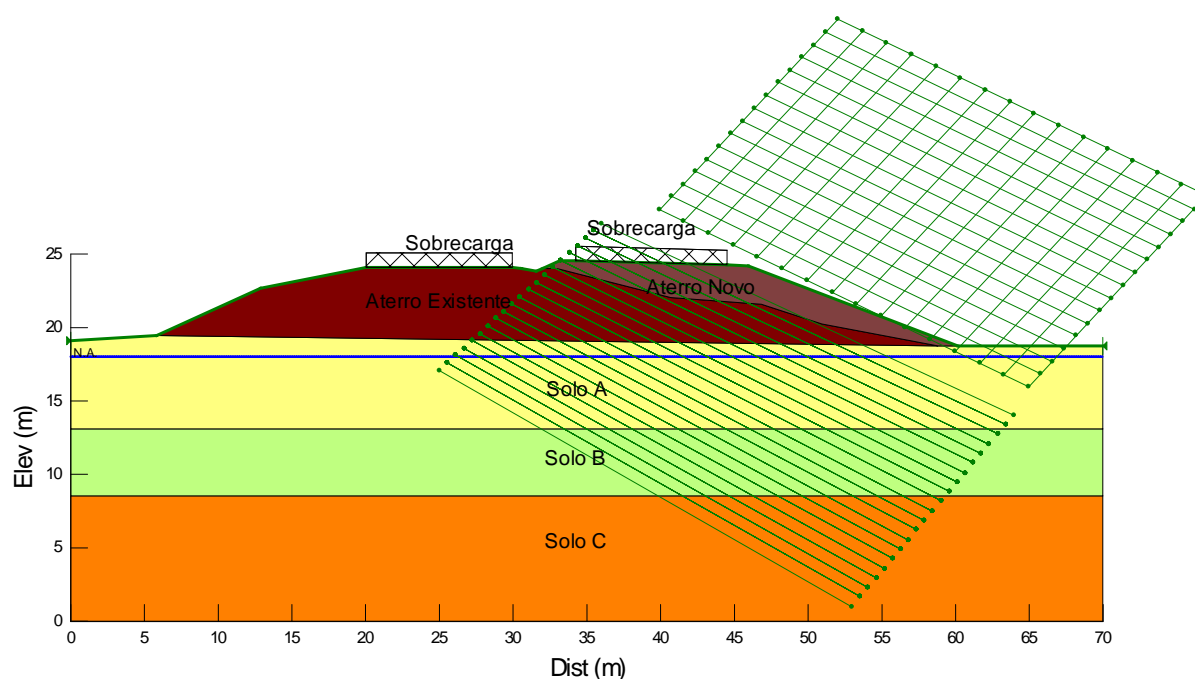
**Tabela 40.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Silte arenoso (AL)	7-9	17	15	20	9000	0,3
B	Silte arenoso (AL)	11-15	18	18	22	10000	0,3
C	Silte arenoso (AL)	18-25	20	20	28	12000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

#### 40. Análises de Estabilidade

A Figura 40.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 157+520.



**Figura 40.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 157+520 – Aterro).

Foram verificadas 5376 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 2,146 > 1,5, como ilustrado na Figura 40.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com troca do solo mole apresenta estabilidade satisfatória.

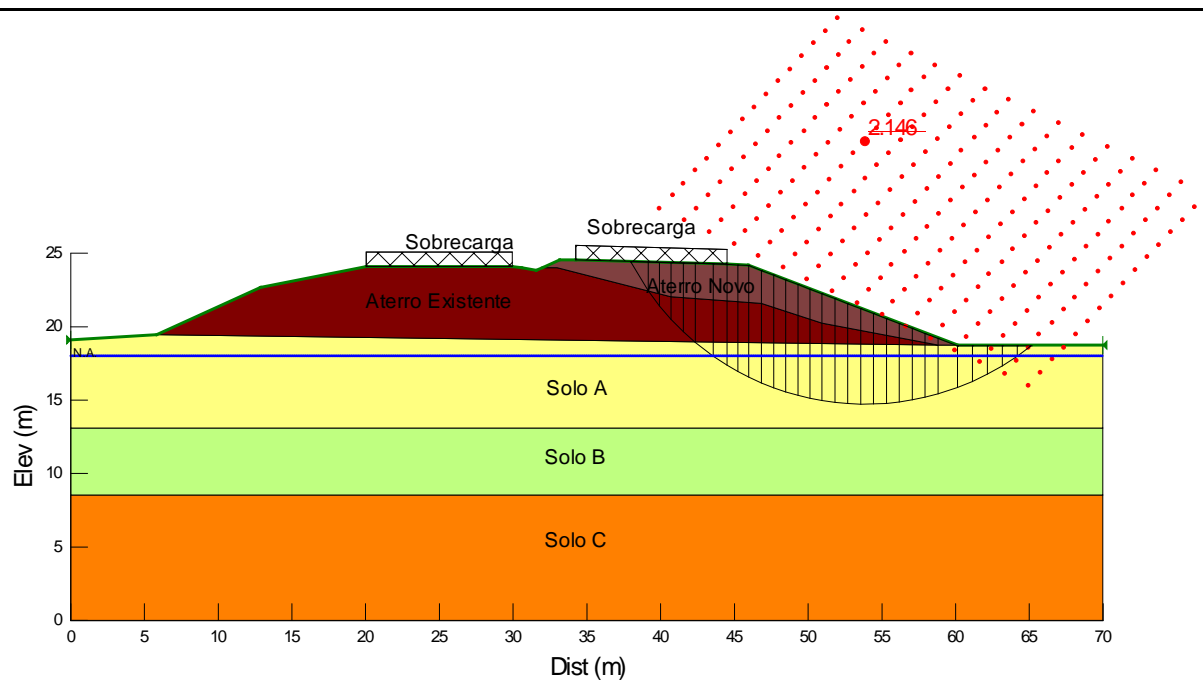
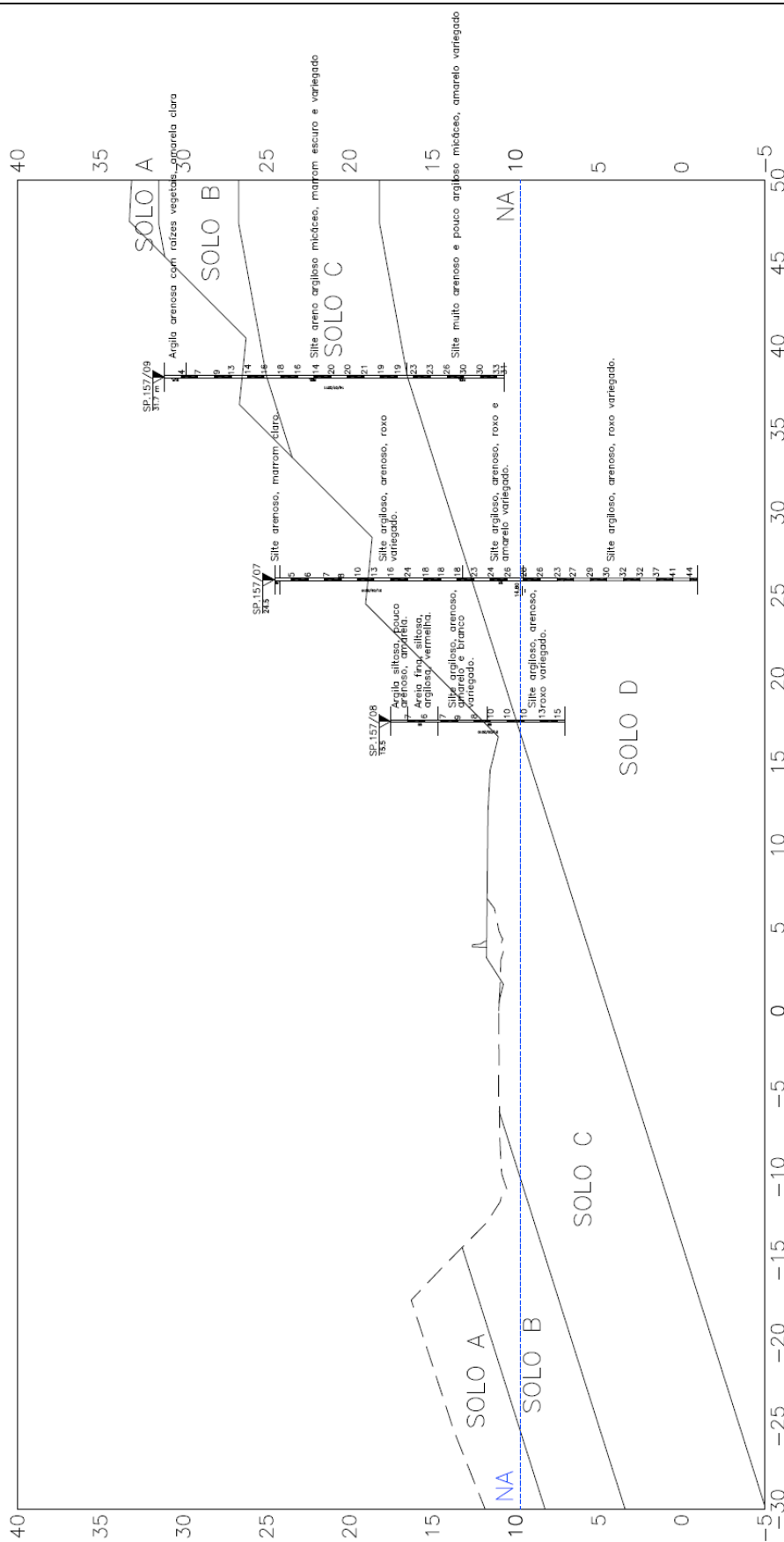


Figura 40.3– Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Estaca km 157+520 – Aterro).

## 41. ESTACA KM 157+860 (CORTE)

### 41.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 41.1.



**Figura 41.4**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 157+860 – Corte).

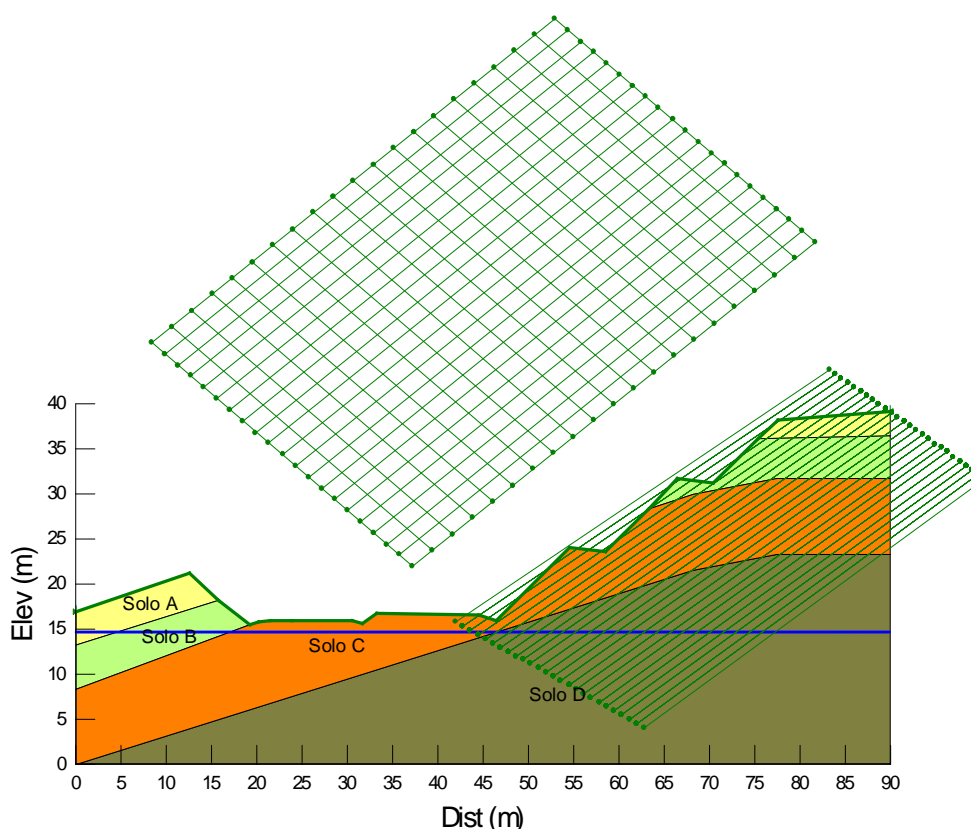
**Tabela 41.2**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	γ(kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	φ (°)
A	Argila arenosa	4	17	15	15
B	Silteareno-argiloso	7-16	18	18	26
C	Silteareno-argiloso	18-20	18	25	28
D	Silte arenoso	23-30	20	30	30
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva; φ' - Ângulo de atrito efetivo do solo; γ – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade; ν – coeficiente de Poisson.

#### 41.2. Análises de Estabilidade

A Figura 41.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 157+860.



**Figura 41.5** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 157+860 - Corte).

Foram verificadas 11466 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,561 > 1,5, como ilustrado na Figura 41.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.



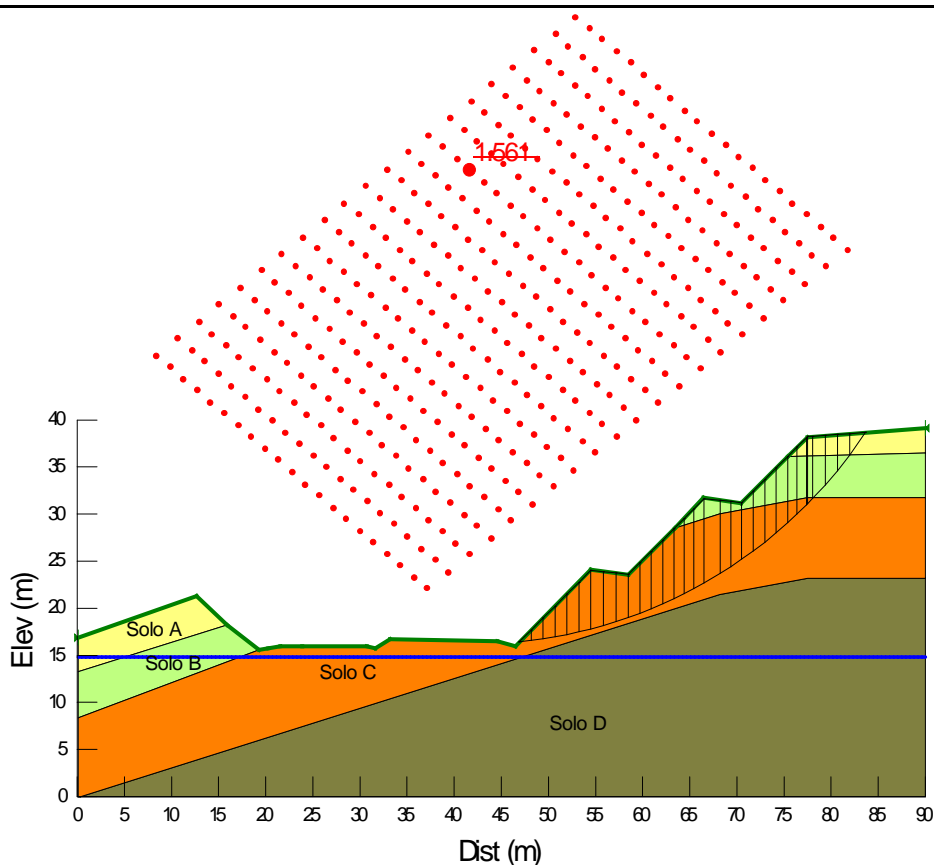
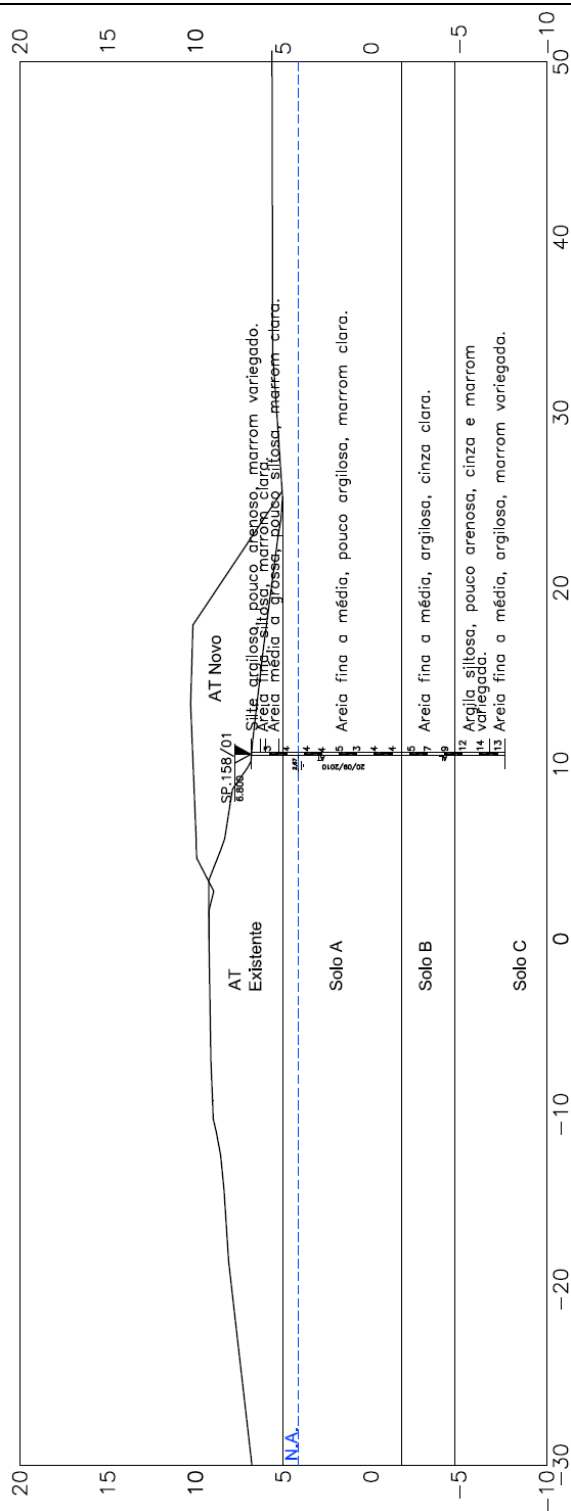


Figura 41.6– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 157+860 – Corte).

## 42. ESTACA KM 158+020 (ATERRO)

### 42.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 42.1.



**Figura 42.7**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 158+020 – Aterro).

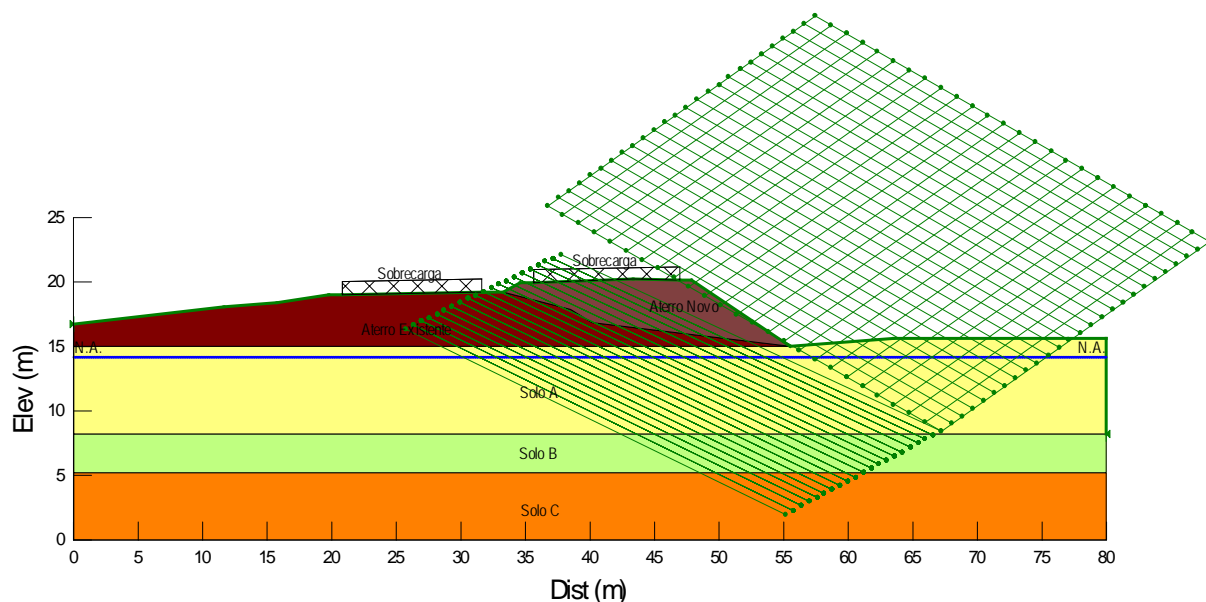
**Tabela 42.3**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Areia fina a média pouco argilosa	3-5	17	5	23	8000	0,3
B	Areia fina a média pouco argilosa	5-9	18	15	27	9000	0,3
C	Argila siltosa pouco arenosa	12-14	19	30	15	9000	0,35
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

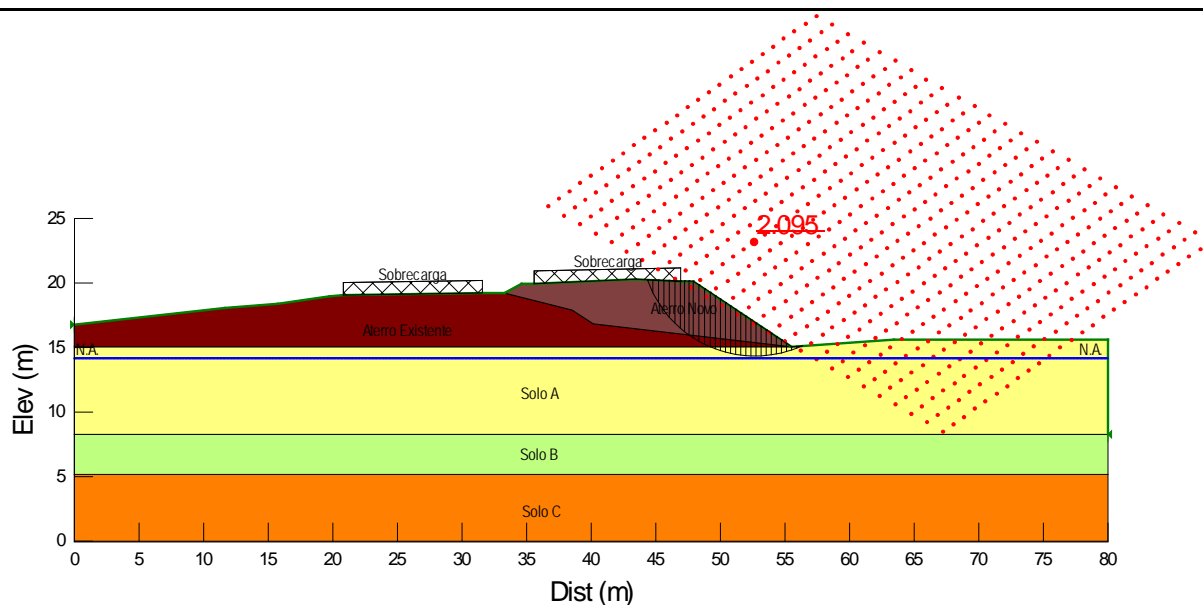
#### 42.2. Análises de Estabilidade

A Figura 42.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 158+020.



**Figura 42.8** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 158+020 – Aterro).

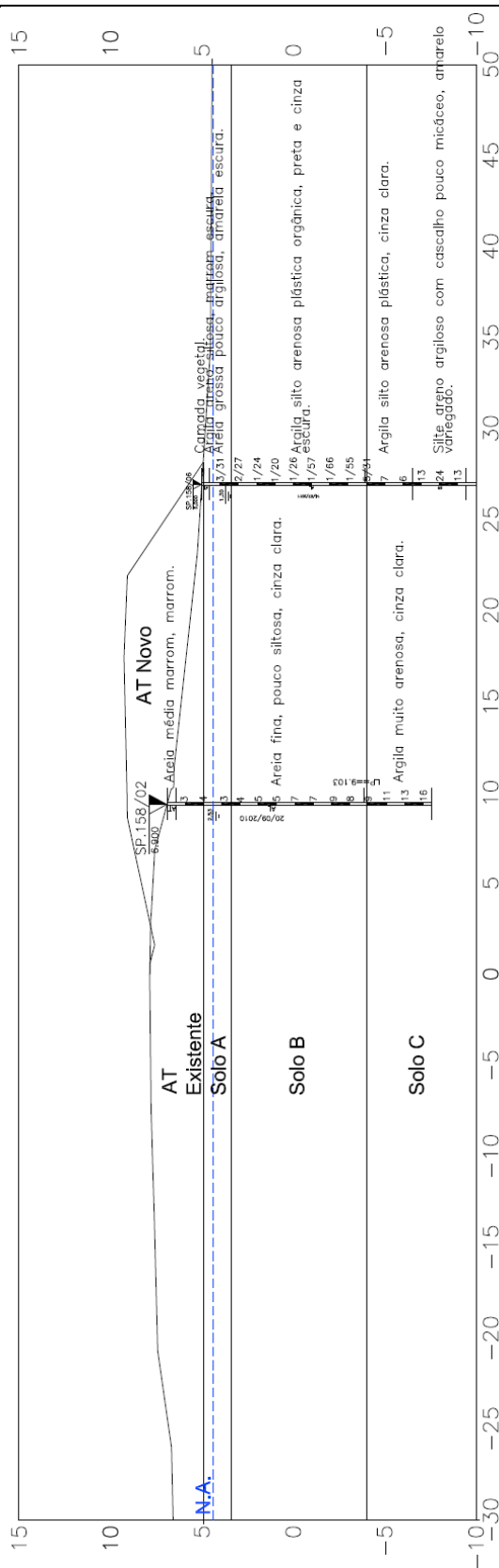
Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 2,095 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 42.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



### 43. ESTACA KM 158+440 (ATERRO)

#### 43.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 43.1.



**Figura 43.9**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 158+440 – Aterro).

**Tabela 43.4 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Areia grossa pouco argilosa	2-3	17	5	26	8000	0,3
B*	Argila silto-arenosa orgânica	0-1	15	c = f(z)*	0	2000	0,45
C	Argila silto-arenosa	7-13	18	25	15	10000	0,35
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo B foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo B1:  $S_u = 15$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 26$  kPa (base da camada).

Solo B2:  $S_u = 23$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 32$  kPa. (base da camada).

Solo B3:  $S_u = 13$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 23$  kPa. (base da camada).

Solo B4:  $S_u = 6$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 18$  kPa. (base da camada).

No Solo B ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 43.2.

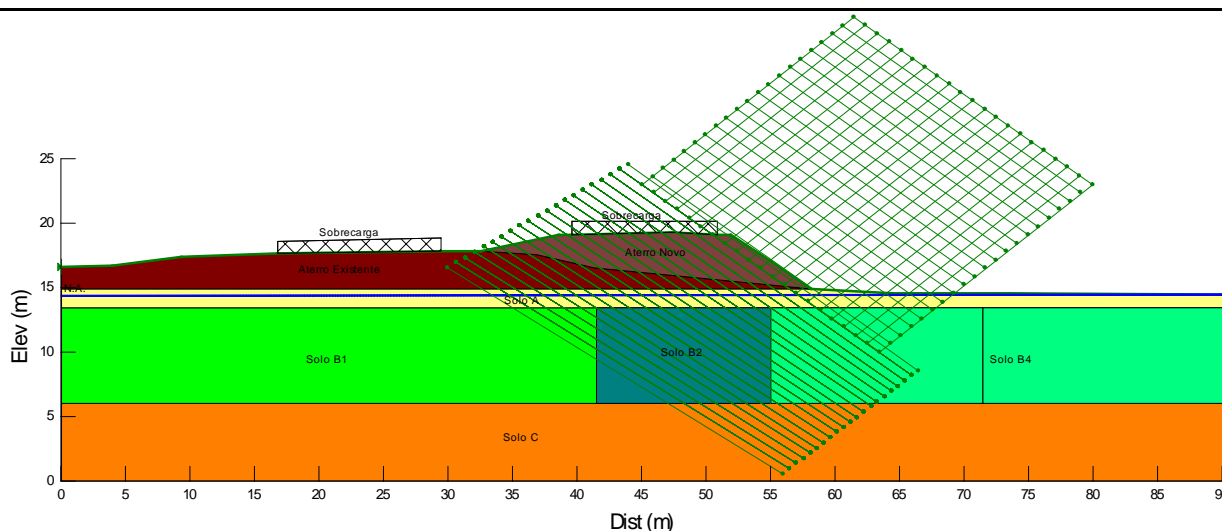
**Tabela 6.5 – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.**

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

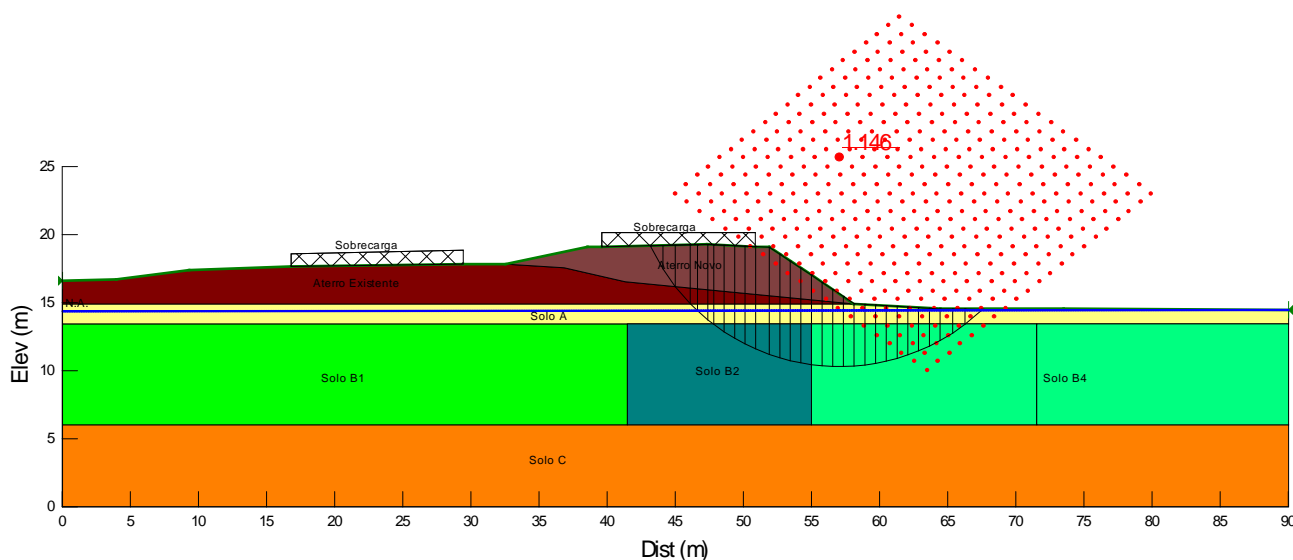
#### 43.2. Análises de Estabilidade

A Figura 43.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 158+440.



**Figura 43.10** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 158+440 – Aterro).

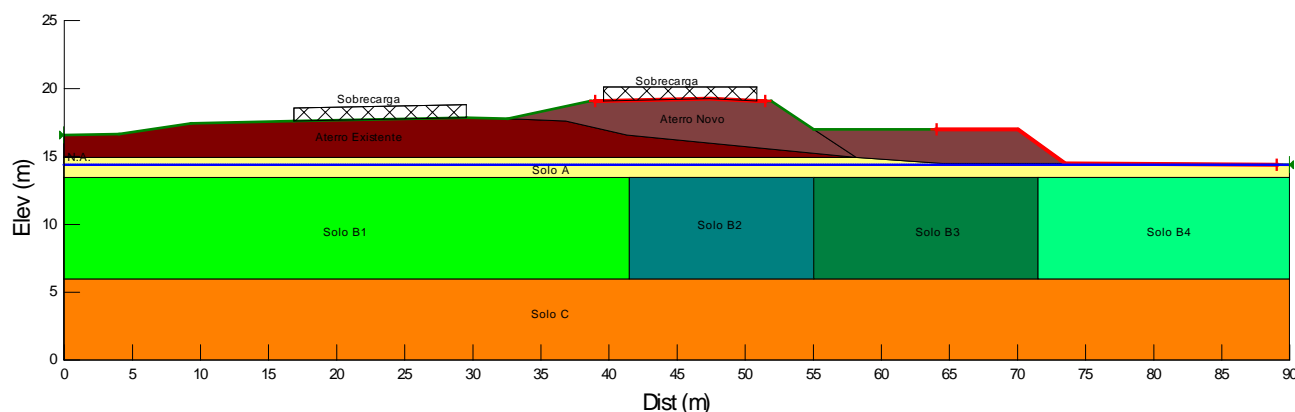
Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 0,994 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 43.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica.



**Figura 43.11**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 158+440 – Aterro).

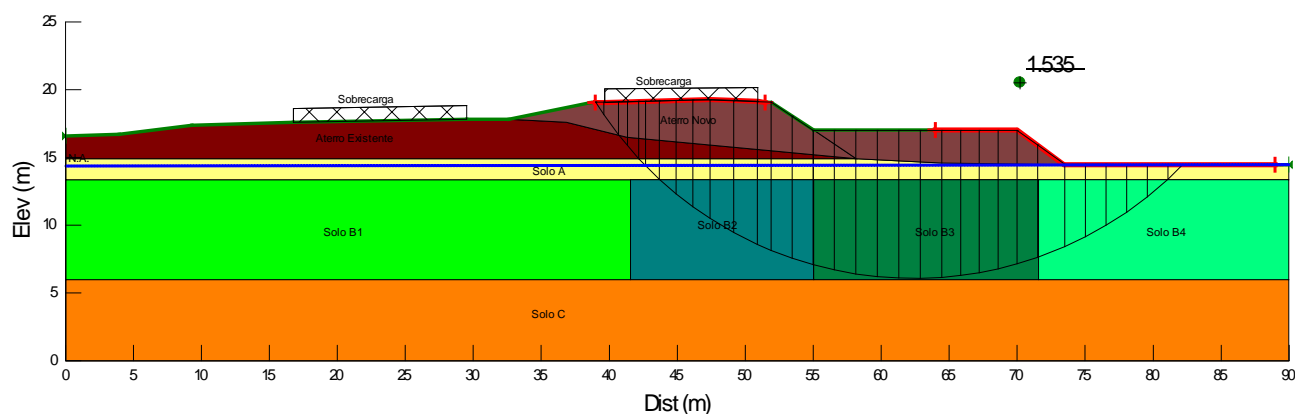
### **Utilização de Berma de Equilíbrio**

A Figura 43.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,5 m de altura e 15,0 m de largura.



**Figura 43.12** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 158+440 – Aterro).

A Figura 43.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



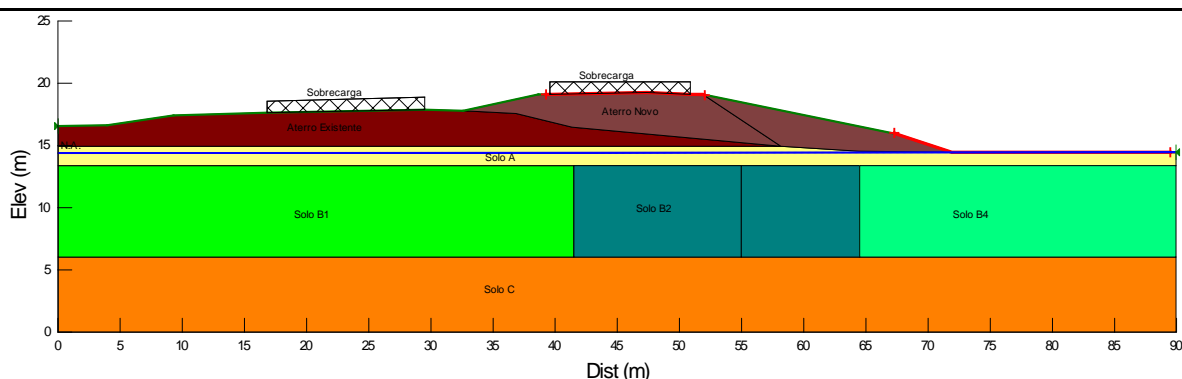
**Figura 43.13** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 158 + 440 – Berma de equilíbrio – Condição Provisória).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,535 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 43.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

### **Utilização de talude com inclinação variável**

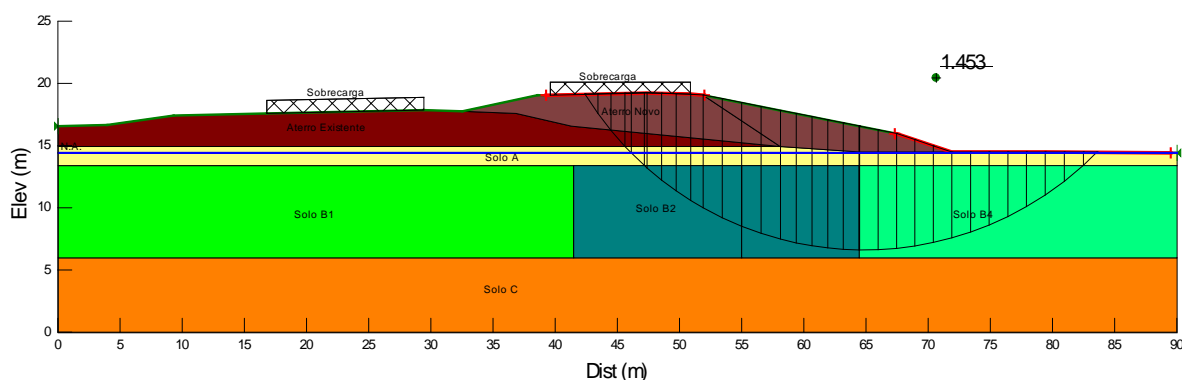
A Figura 43.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude com inclinação variável (5:1 até 2/3 da altura e 3:1 no terço inferior).





**Figura 43.14** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 158+440 – Aterro).

A Figura 43.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



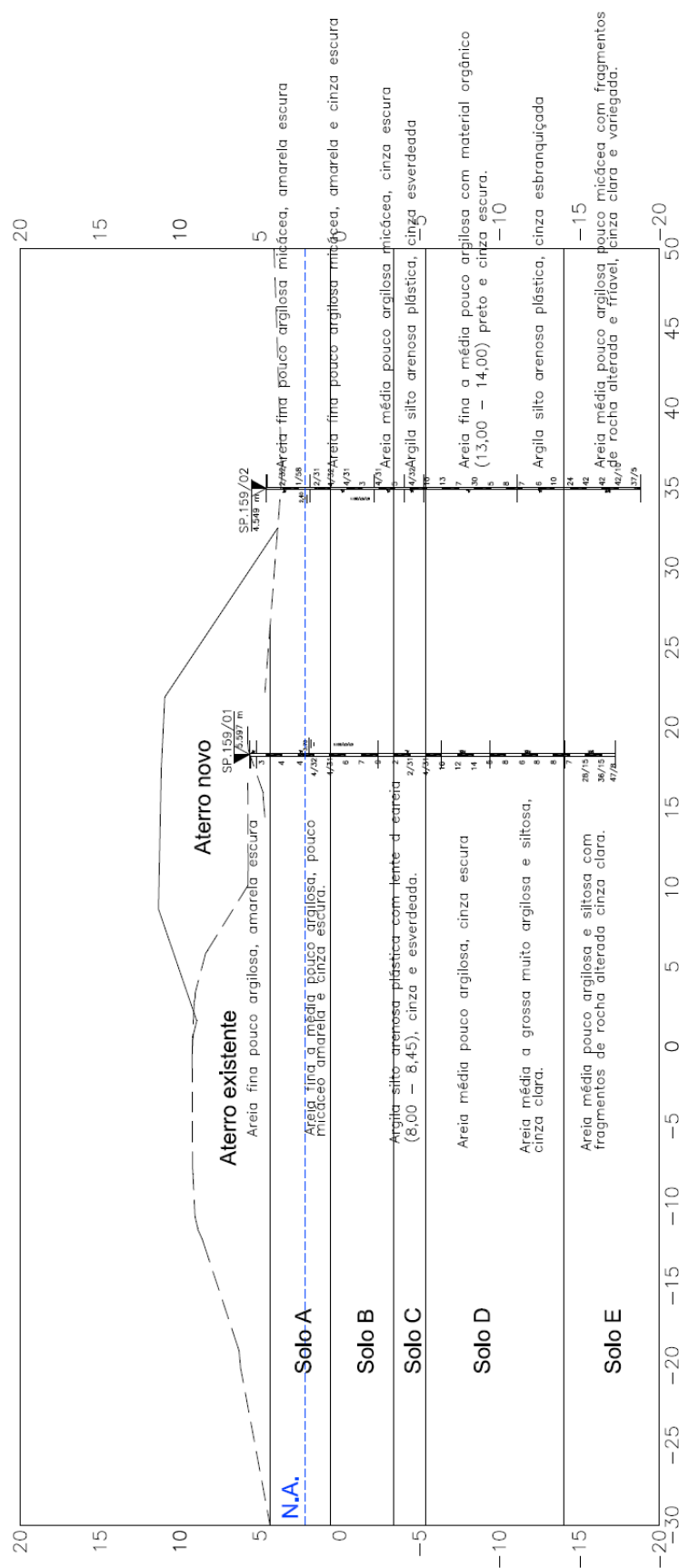
**Figura 43.15** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 158 + 440 – Aterro, Talude com inclinação variável).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,453$ , como ilustrado na Figura 43.7.

## 44. ESTACA KM 159+020 (ATERRO)

### 44.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 44.1.



**Figura 44.16**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 159+020 – Aterro).

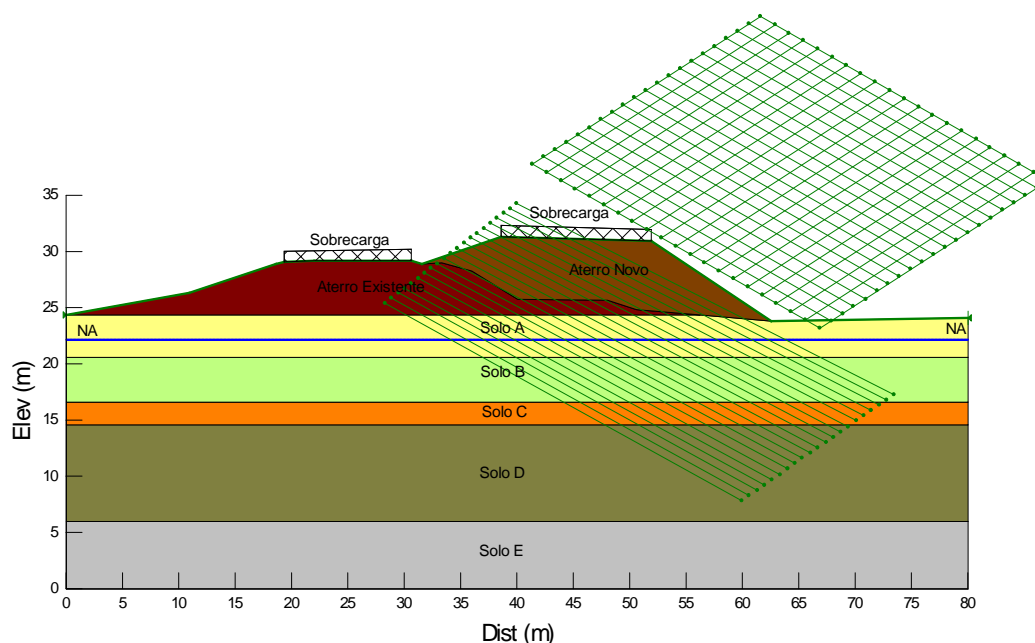
**Tabela 44.6 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Areia fina pouco argilosa	0-4	17	5	20	8000	0,35
B	Areia fina a média pouco argilosa	4-7	17	5	22	8000	0,3
C	Argila silto-arenosa plástica	2	16	15	15	7000	0,4
D	Areia média pouco argilosa	7-16	18	10	30	9000	0,3
E	Areia média muito argilosa	>30	20	10	33	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

#### 44.2. Análises de Estabilidade

A Figura 44.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 159+020.



**Figura 44.17** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 159+020 – Aterro).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,240 < 1,5, como ilustrado na Figura 44.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

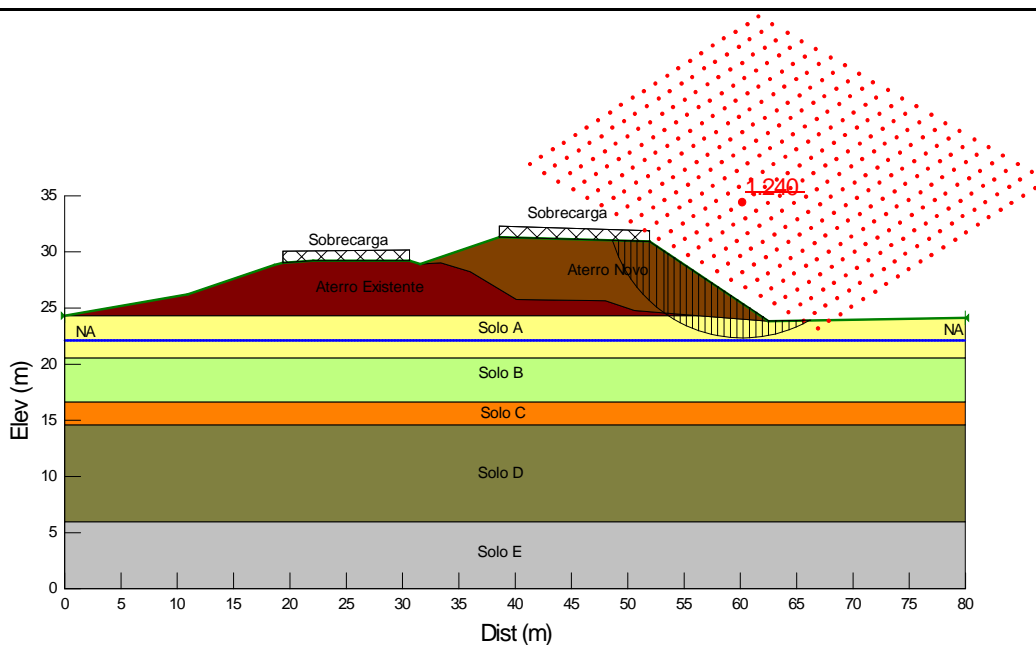


Figura 44.18– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 159+020 – Aterro).

### Utilização de Berma de Equilíbrio

A Figura 44.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,5 m de altura e 7,0 m de largura.

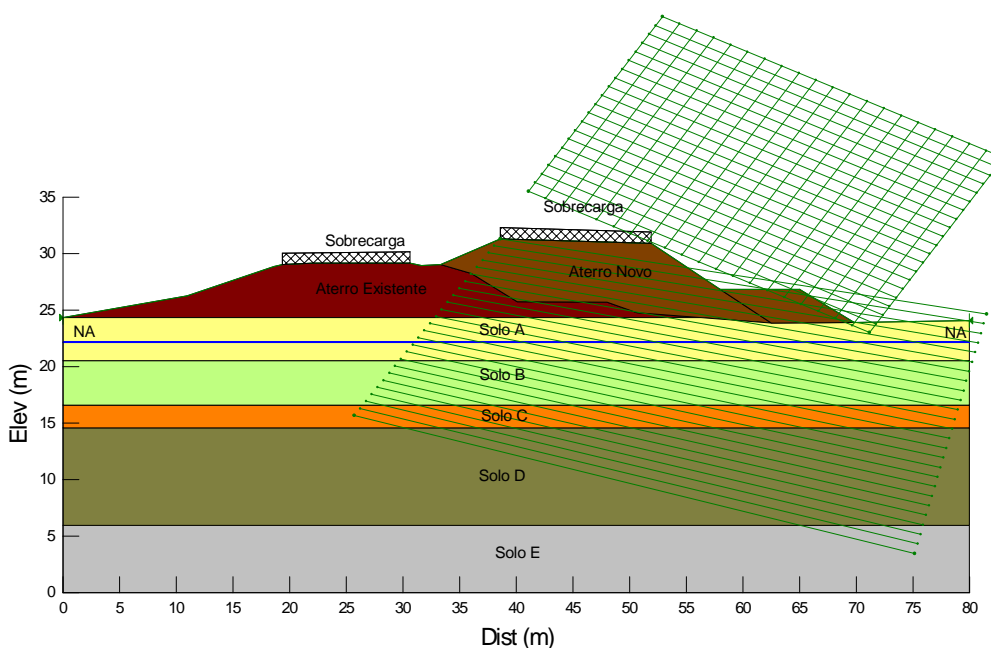
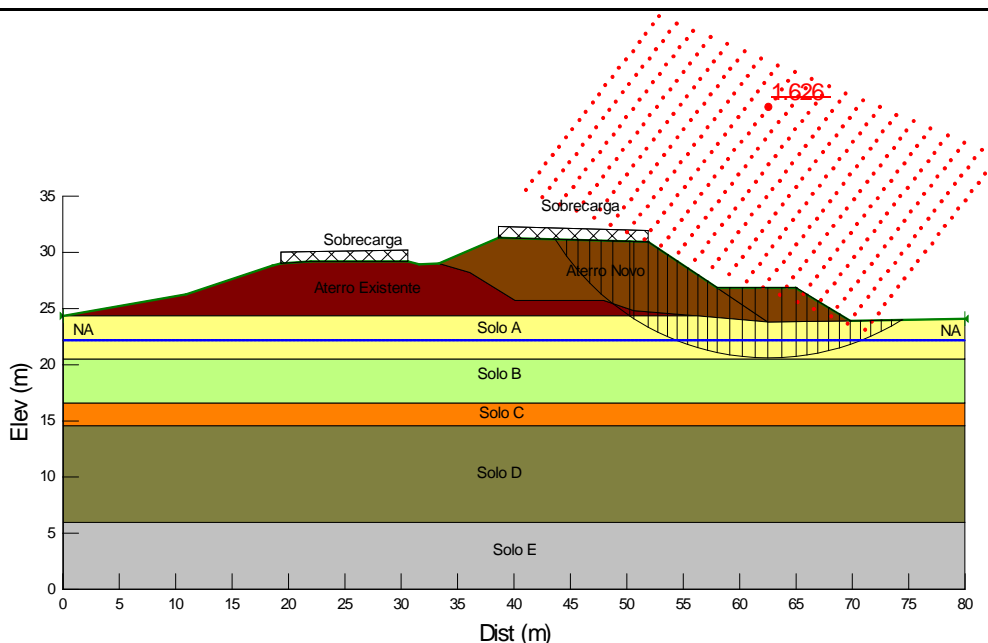


Figura 44.19 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 159+020 – Aterro).

A Figura 44.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

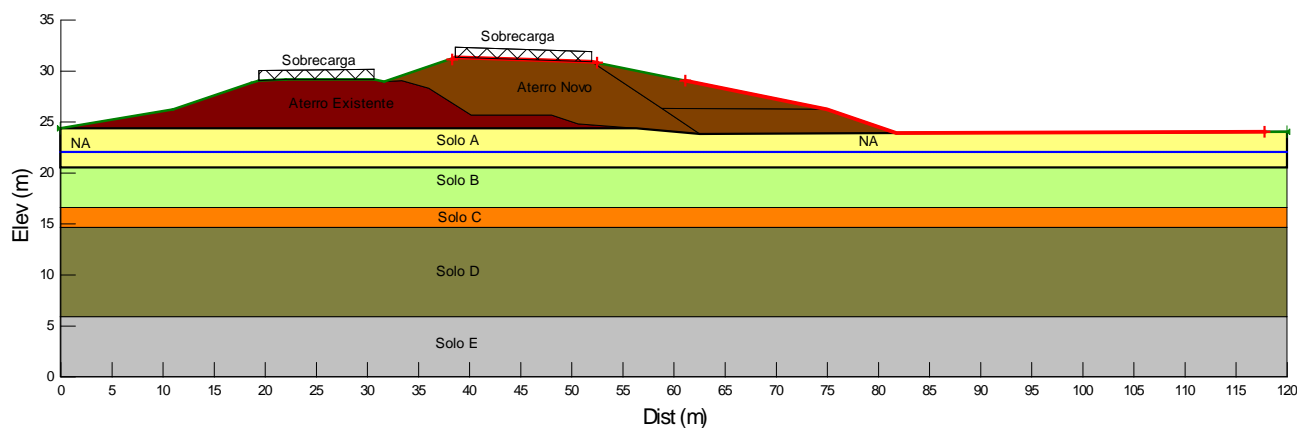


**Figura 44.20** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 159+020 – Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,626 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 44.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica.

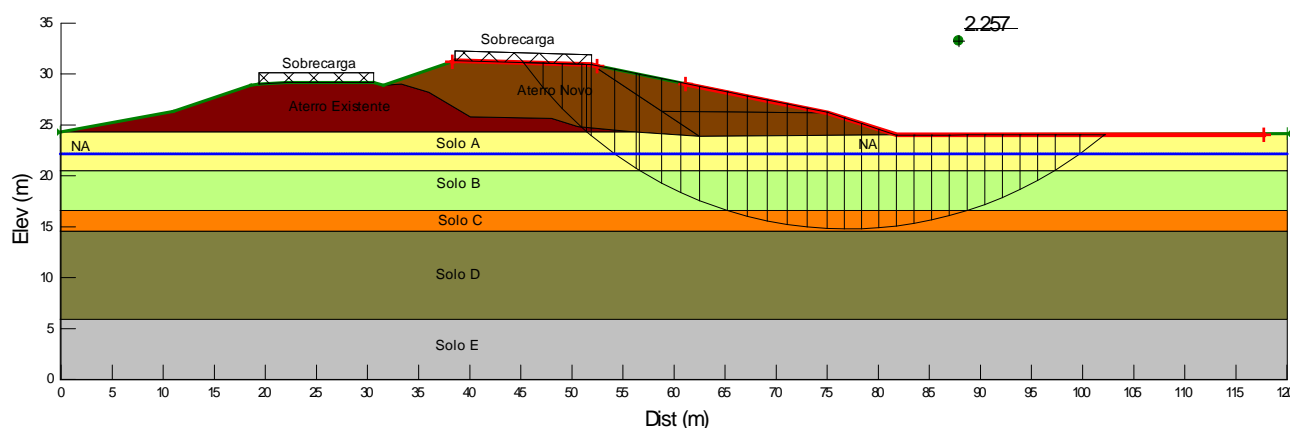
#### **Utilização de talude com inclinação variável**

A Figura 44.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude com inclinação variável (5:1 até 2/3 da altura e 3:1 no terço inferior).



**Figura 44.21** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 159+020 – Aterro).

A Figura 44.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



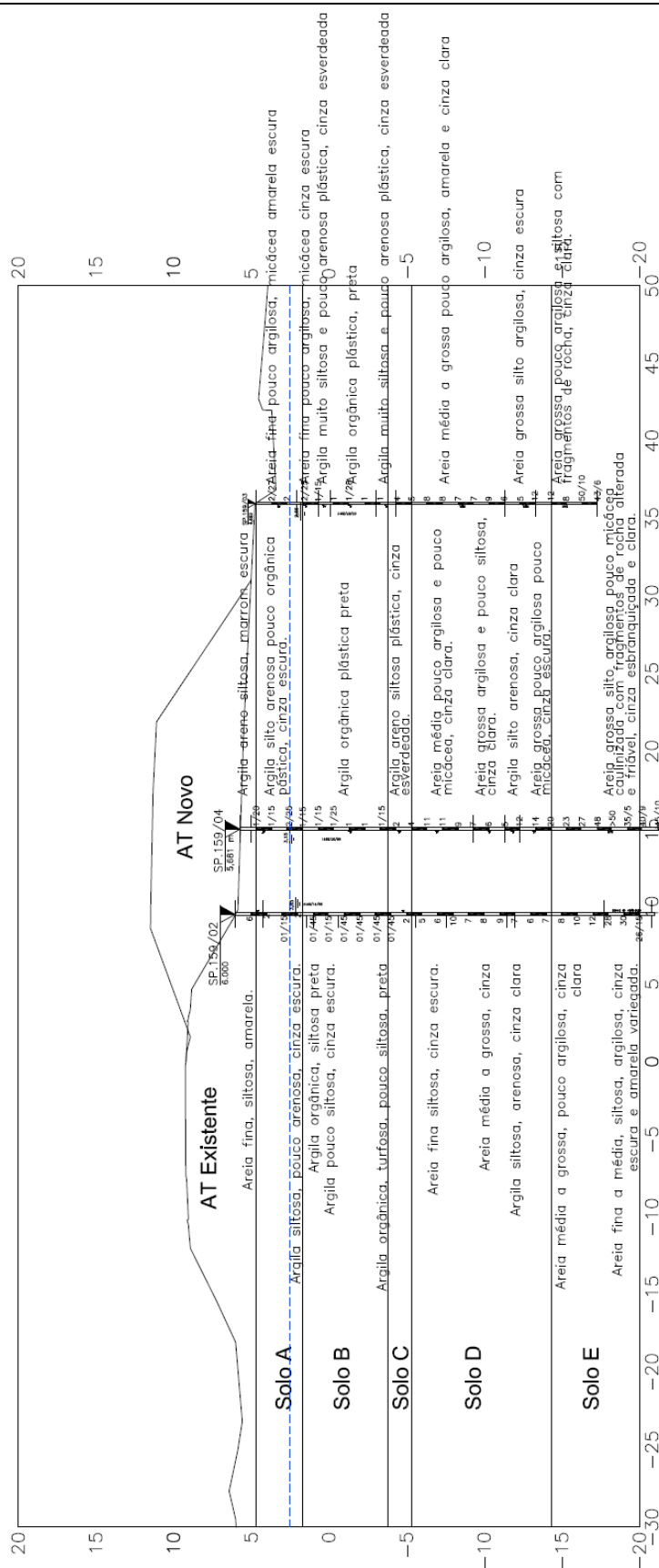
**Figura 44.22** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 159+020 – Aterro, Talude com inclinação variável).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 3,802$ , como ilustrado na Figura 44.7.

## 45. ESTACA KM 159+140 (ATERRO)

### 45.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 45.1.



**Figura 45.23**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 159+140 – Aterro).

**Tabela 45.7–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Areia fina pouco argilosa	1-2	15	15	10	7000	0,35
B*	Argila orgânica	0-1	14	c = f(z)*	0	2000	0,4
C	Areia grossa argilosa	5-7	16	15	15	8000	0,35
D	Areia grossa pouco argilosa	12-23	18	10	30	9000	0,3
E	Areia grossa pouco argilosa com fragmentos de rocha	>35	20	10	33	11000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo B foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo B1:  $S_u = 20$  kPa (topo da camada) e  $S_{u\text{máx}} = 35$  kPa (base da camada).

Solo B2:  $S_u = 22$  kPa (topo da camada) e  $S_{u\text{máx}} = 35$  kPa. (base da camada).

Solo B3:  $S_u = 17$  kPa (topo da camada) e  $S_{u\text{máx}} = 27$  kPa. (base da camada).

Solo B4:  $S_u = 12$  kPa (topo da camada) e  $S_{u\text{máx}} = 17$  kPa. (base da camada).

No Solo B ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 45.2.

**Tabela 45.8 –** Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

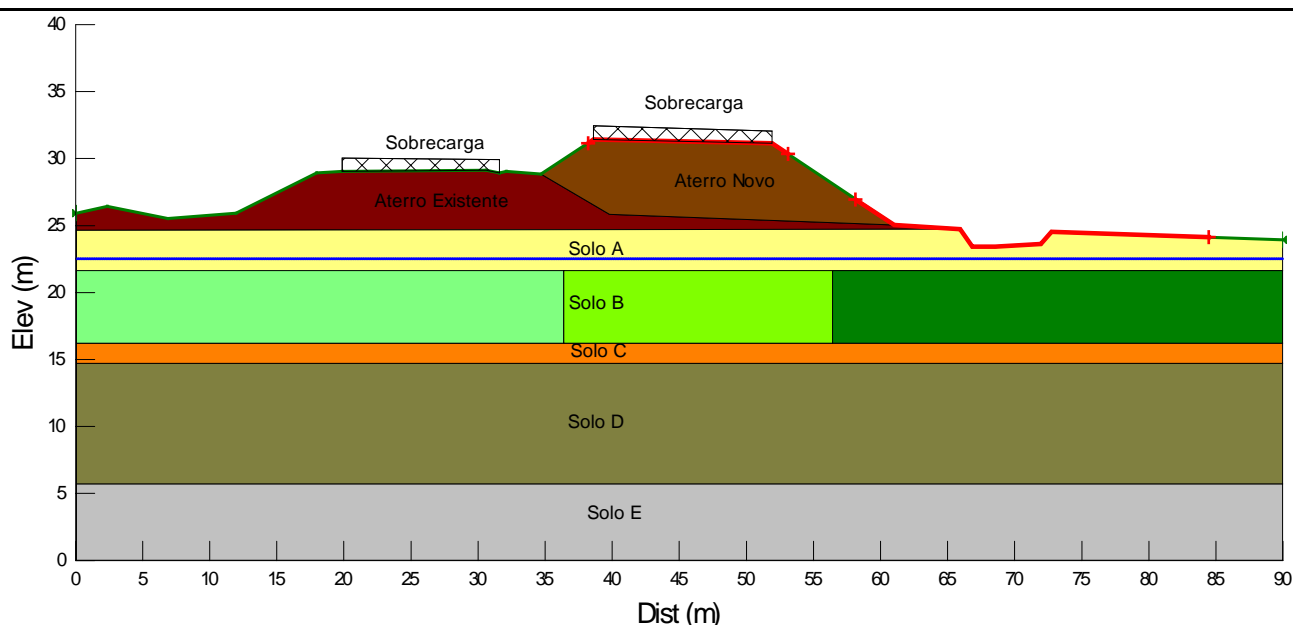
$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

#### 45.2. Análises de Estabilidade

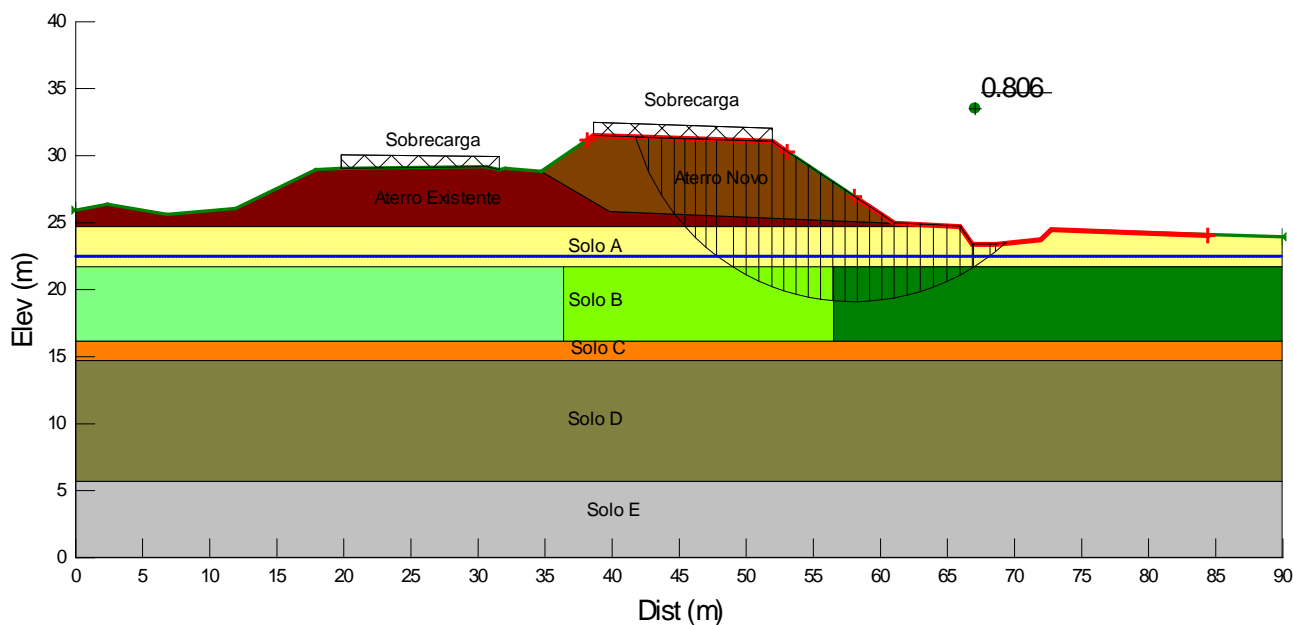
A Figura 45.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 159+140.





**Figura 45.24** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 159+140 – Aterro).

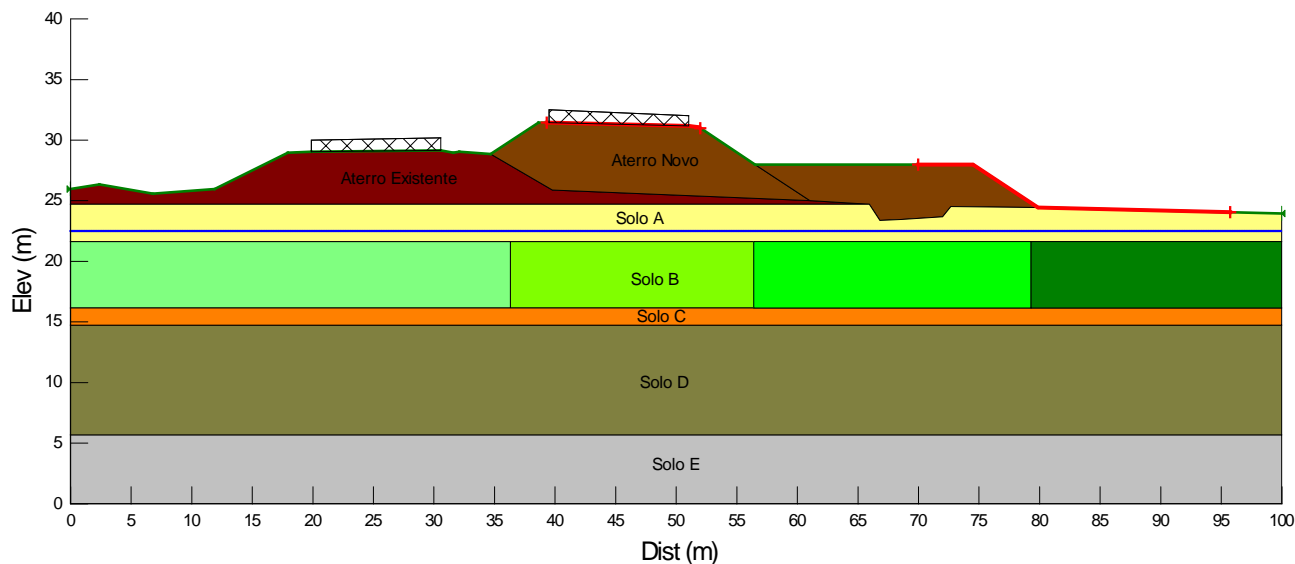
Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 0,806 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 45.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica.



**Figura 45.25**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 159+140 – Aterro).

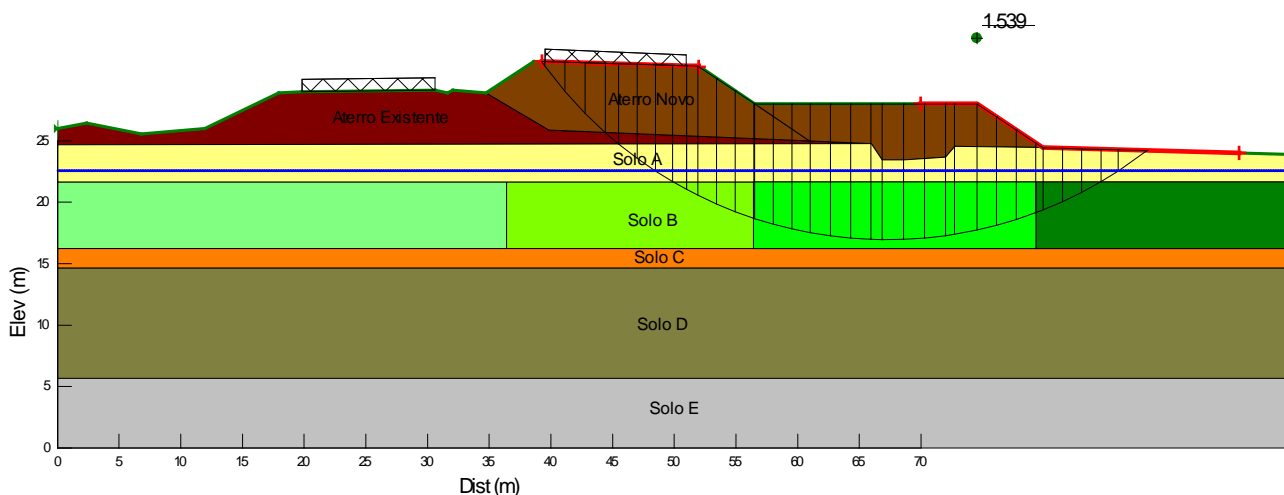
### Utilização de Berma de Equilíbrio

A Figura 45.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 3,5 m de altura e 18,0 m de largura.



**Figura 45.26** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 155+700 – Berma de equilíbrio).

A Figura 45.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



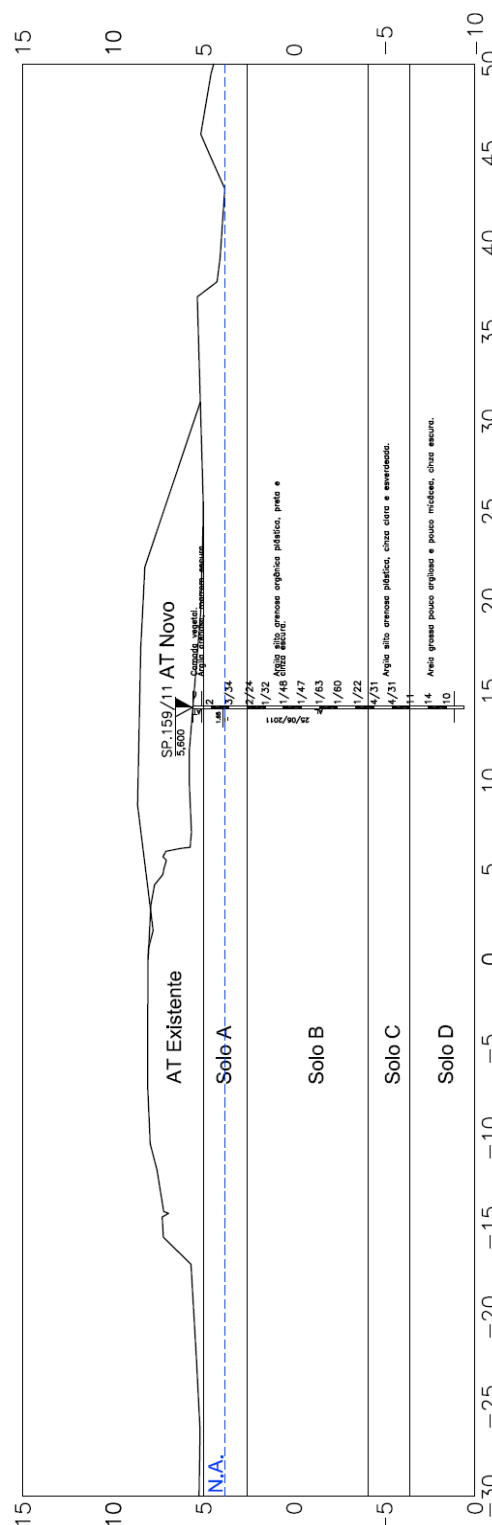
**Figura 45.27** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 159+140 – Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,539 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 45.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

## 46. ESTACA KM 159+660 (ATERRO)

### 46.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 46.1.



**Figura 46.28**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 159+660 – Aterro).

**Tabela 46.9**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila silto-arenosa	2	17	15	15	7000	0,35
B*	Argila silto-arenosa	0	15	c = f(z)*	0	2000	0,4
C	Argila silto-arenosa	4	17	18	15	8000	0,35
D	Areia grossa pouco argilosa	10-14	18	10	28	9000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo B foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7 (z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo B1:  $S_u = 18$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 28$  kPa (base da camada).

Solo B2:  $S_u = 19$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 29$  kPa. (base da camada).

Solo B3:  $S_u = 13$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 23$  kPa. (base da camada).

Solo B4:  $S_u = 7$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 17$  kPa. (base da camada).

No Solo B ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 46.2.

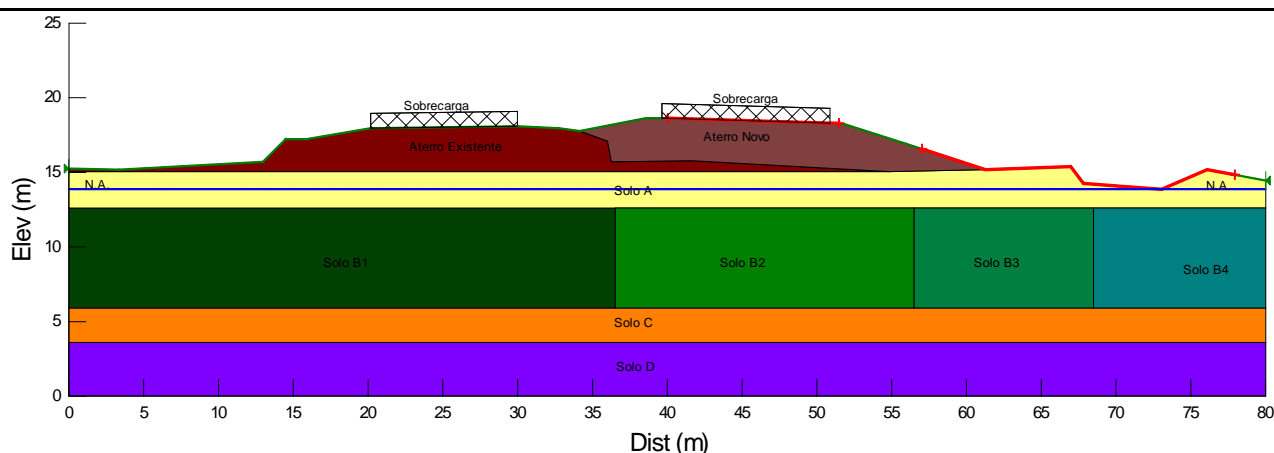
**Tabela 46.10** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

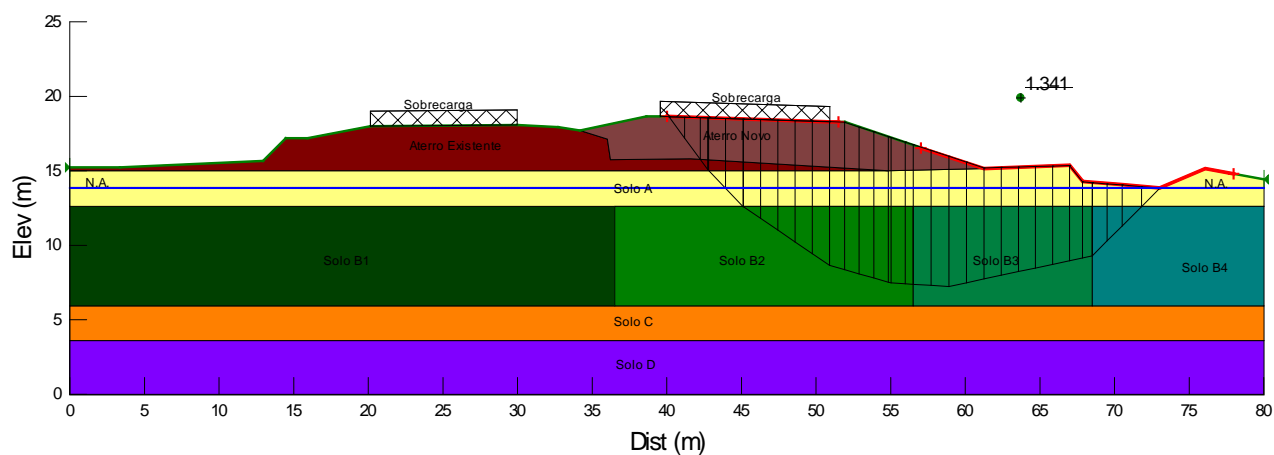
#### 46.2. Análises de Estabilidade

A Figura 46.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 159+660.



**Figura 46.29** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 159+660 – Aterro).

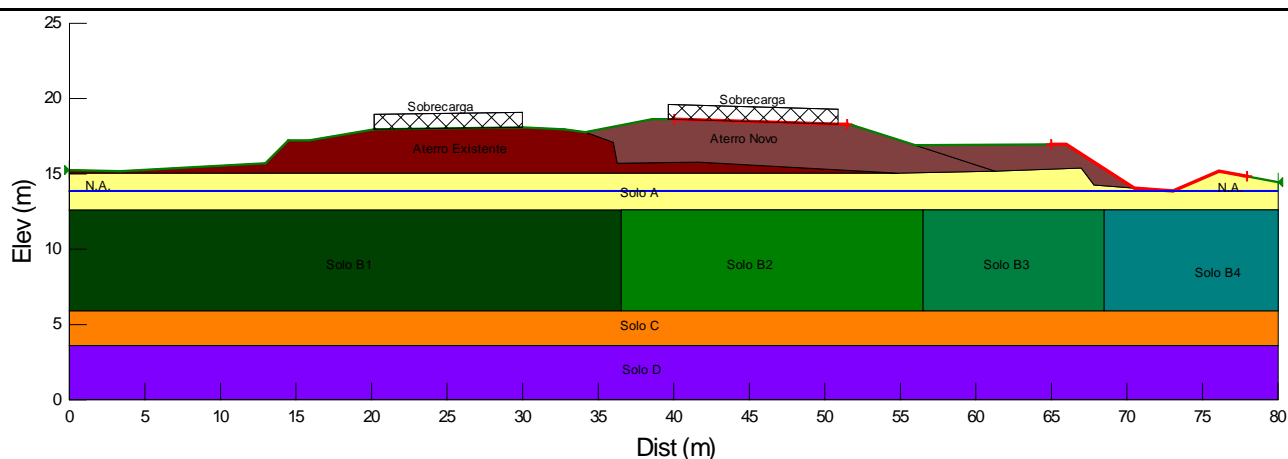
Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,475 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 46.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica.



**Figura 46.30**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 159+660 – Aterro).

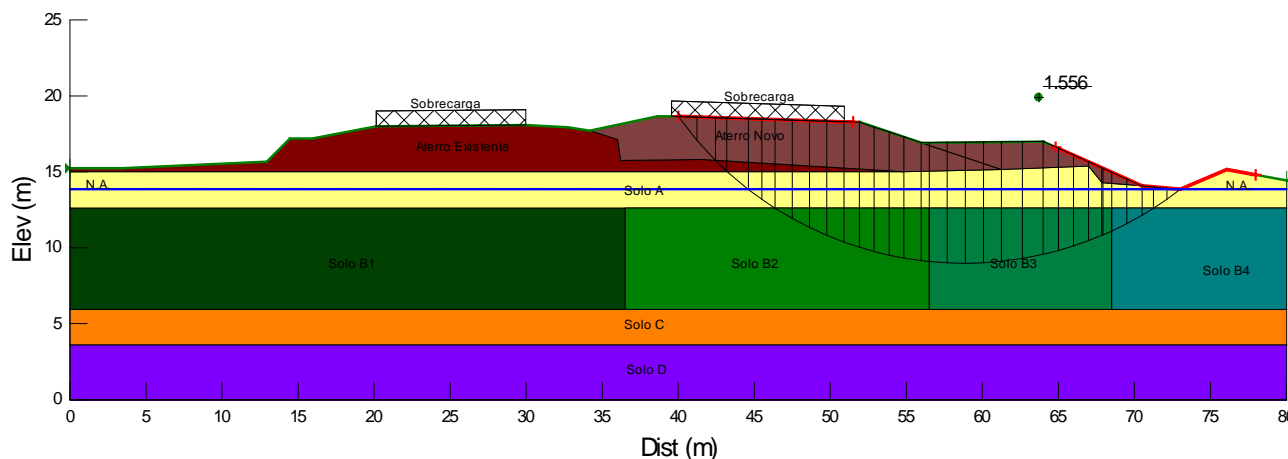
### **Utilização de Berma de Equilíbrio**

A Figura 46.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 3,0 m de altura e 8,0 m de largura.



**Figura 46.31** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 159+660 – Berma de equilíbrio).

A Figura 46.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

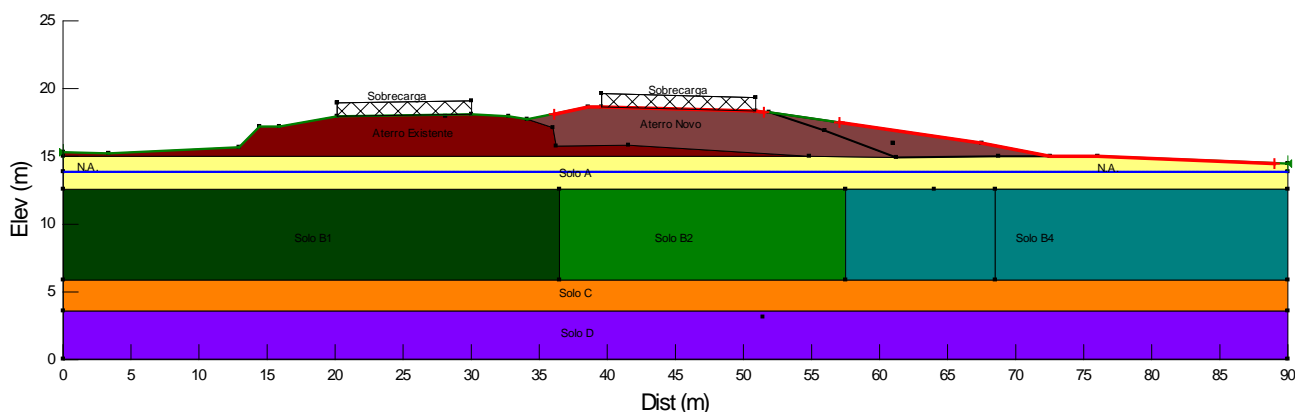


**Figura 46.32** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 159+660 – Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,622 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 9.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica

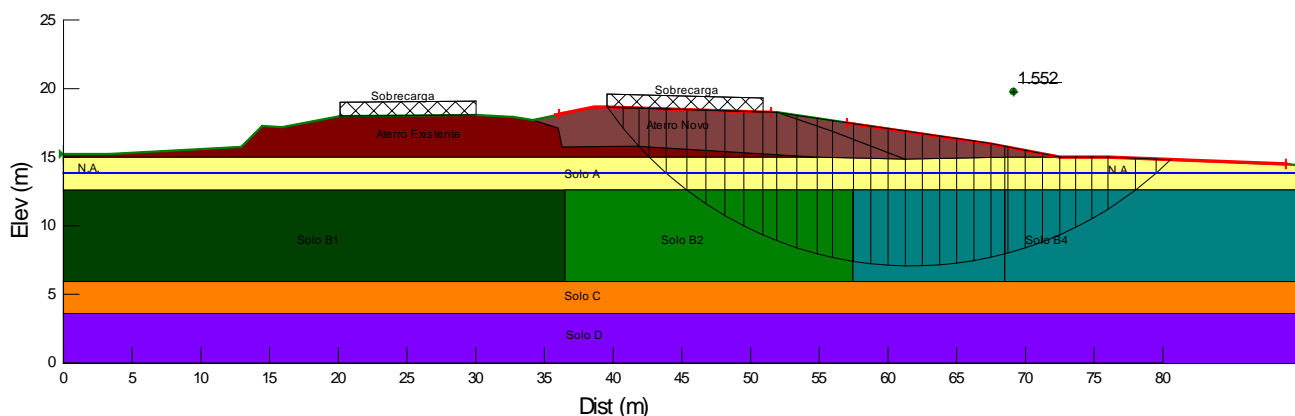
### **Utilização de talude com inclinação variável**

A Figura 46.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude com inclinação variável (7:1 até 2/3 da altura e 5:1 no terço inferior).



**Figura 46.33** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 159+660 – Aterro).

A Figura 46.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



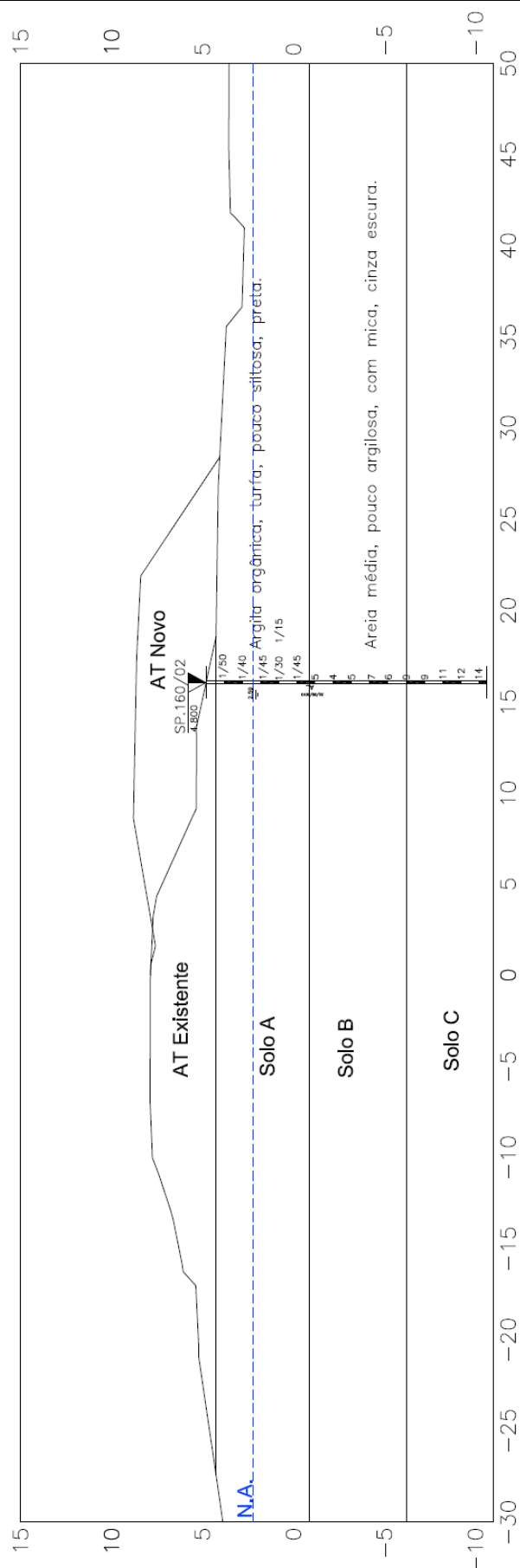
**Figura 46.34** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 159+660 – Aterro, Talude com inclinação variável).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,552$ , como ilustrado na Figura 46.7.

## 47. ESTACA KM 160+300 (ATERRO)

### 47.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 47.1.



**Figura 47.35**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 160+300– Aterro).



**Tabela 47.11** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A*	Argila orgânica	1/45	15	c = f(z)*	0	2000	0,45
B	Areia média pouco argilosa	4-6	17	10	25	8000	0,35
C	Areia média pouco argilosa	9-14	18	20	30	9000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo A foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo A1:  $S_u = 15$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 27$  kPa (base da camada).

Solo A2:  $S_u = 17$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 30$  kPa. (base da camada).

Solo A3:  $S_u = 12$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 22$  kPa. (base da camada).

Solo A4:  $S_u = 6$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 12$  kPa. (base da camada).

No Solo A ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 47.2.

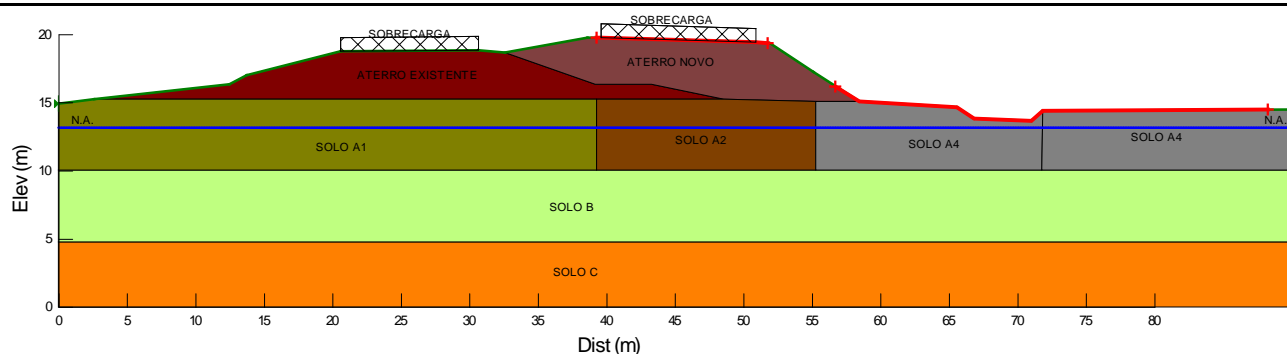
**Tabela 47.12** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

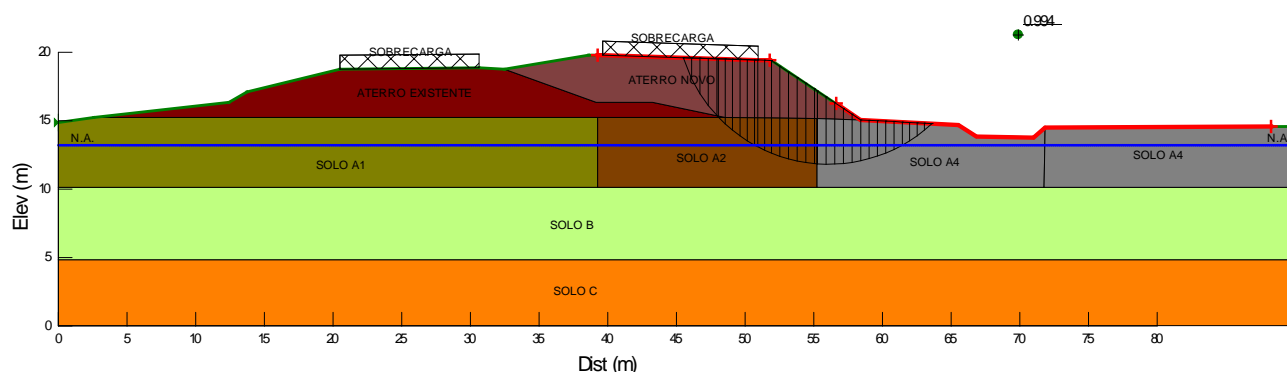
## 47.2. Análises de Estabilidade

A Figura 47.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 160+300.



**Figura 47.36** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 160+300– Aterro).

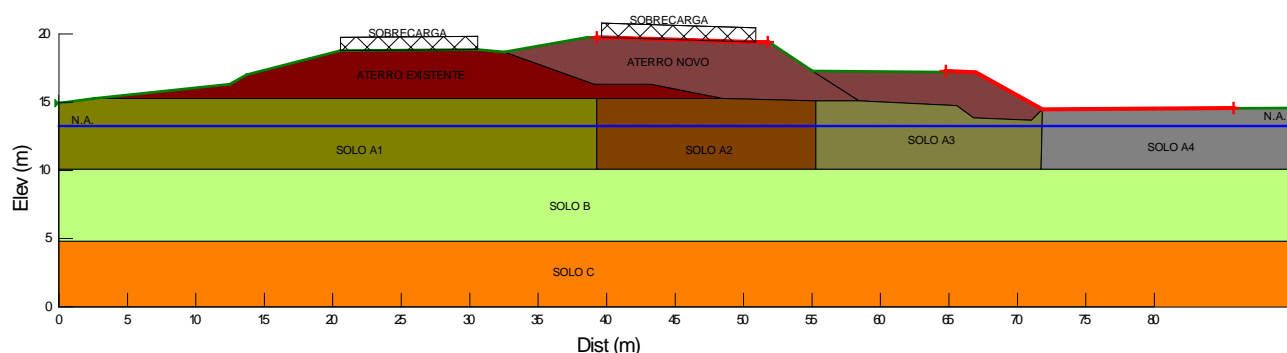
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 0,994 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 47.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 47.37**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 160+300– Aterro).

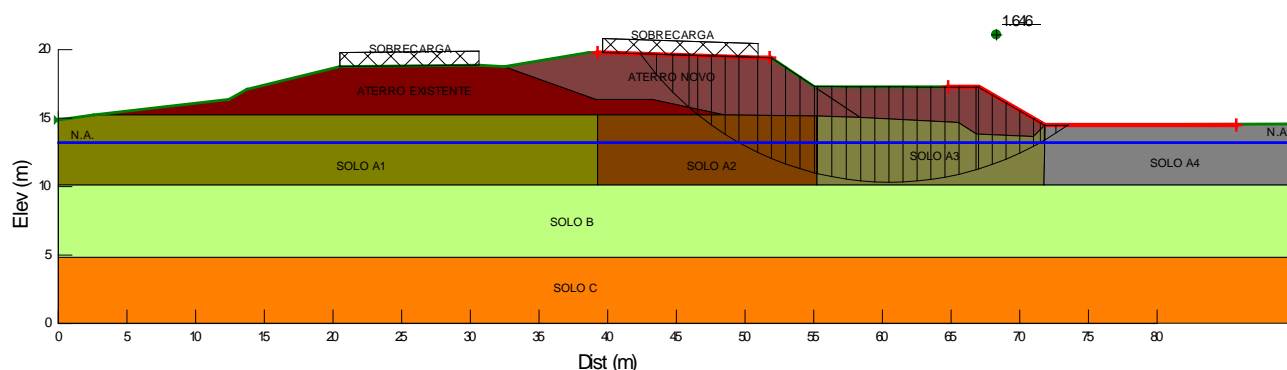
### Utilização de Berma de Equilíbrio

A Figura 47.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,5 m de altura e 12,0 m de largura.



**Figura 47.38** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 160+300– Berma de equilíbrio).

A Figura 47.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

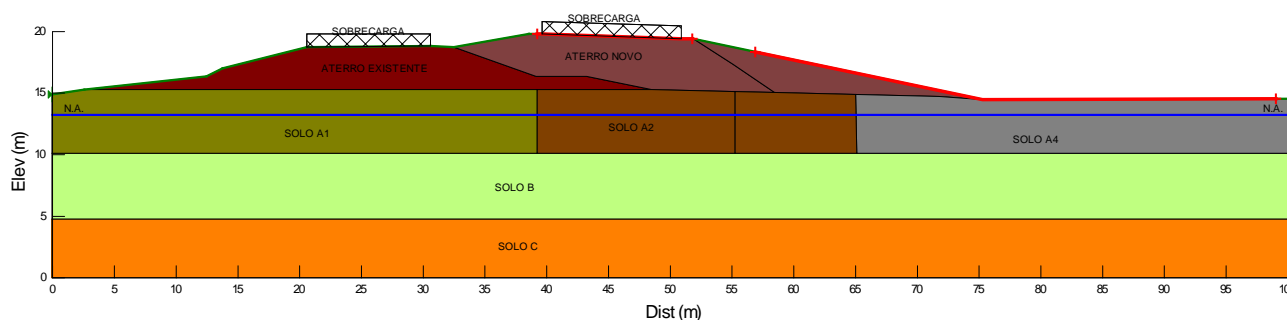


**Figura 47.39** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 160+300 – Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,646 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 47.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

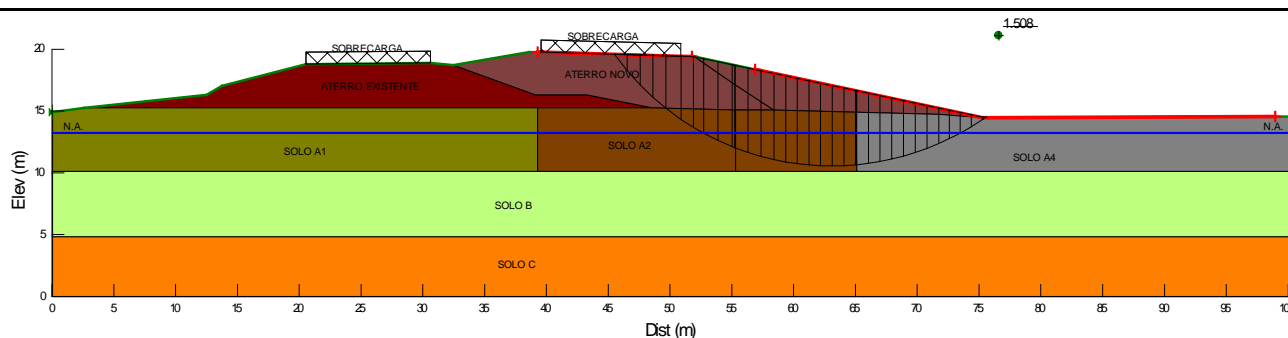
### **Utilização de talude abatido**

A Figura 47.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido (5:1, H:V).



**Figura 47.40** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 160+300 – Aterro).

A Figura 47.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



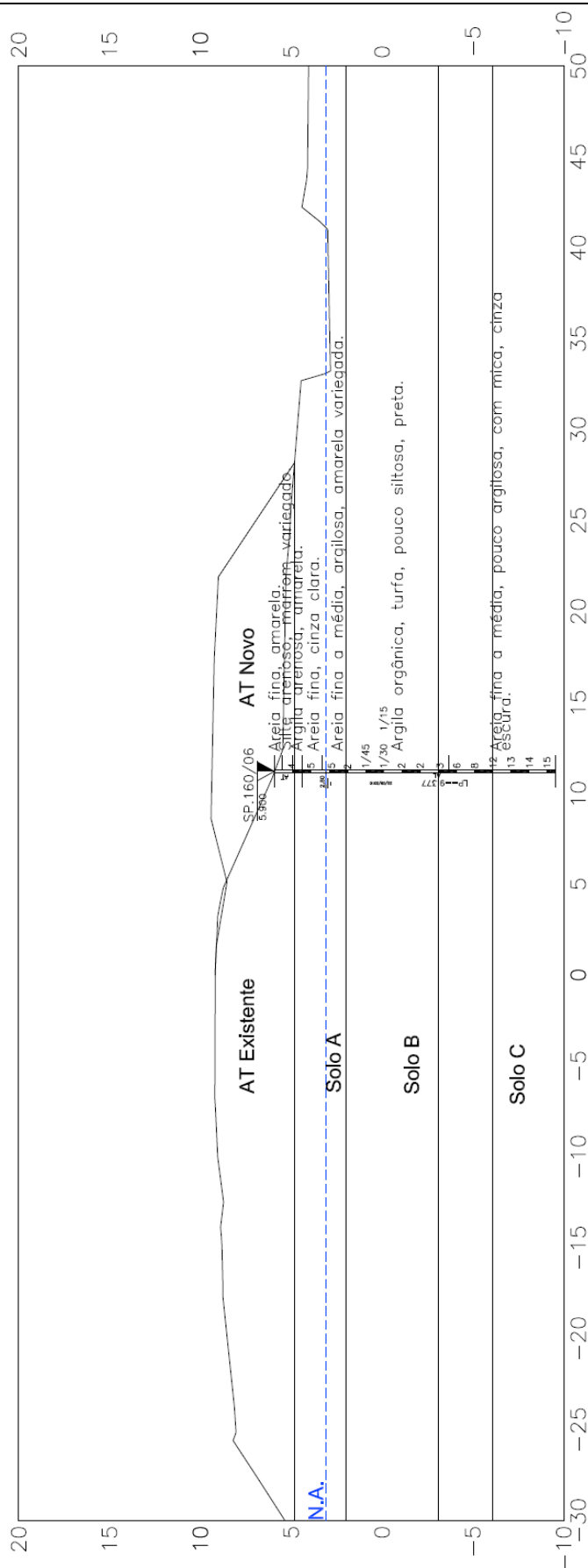
**Figura47.41** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 160+300 – Aterro, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,508$ , como ilustrado na Figura 47.7.

## 48. ESTACA KM 160+960 (ATERRO)

### 48.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 48.1.



**Figura 48.42**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 160+960 – Aterro).

**Tabela 48.13**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Areia fina a média argilosa	2-5	16	10	15	7000	0,35
B	Argila orgânica	1/45-2	15	c = f(z)*	0	2000	0,45
C	Areia fina a média pouco argilosa	6-8	17	10	25	8000	0,3
D	Areia fina a média pouco argilosa	12-15	18	10	29	9000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo B foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo B1:  $S_u = 25$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{m\acute{a}x}} = 32$  kPa (base da camada).

Solo B2:  $S_u = 25$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{m\acute{a}x}} = 32$  kPa. (base da camada).

Solo B3:  $S_u = 15$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{m\acute{a}x}} = 25$  kPa. (base da camada).

Solo B4:  $S_u = 7$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{m\acute{a}x}} = 17$  kPa. (base da camada).

No Solo B ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 11.2.

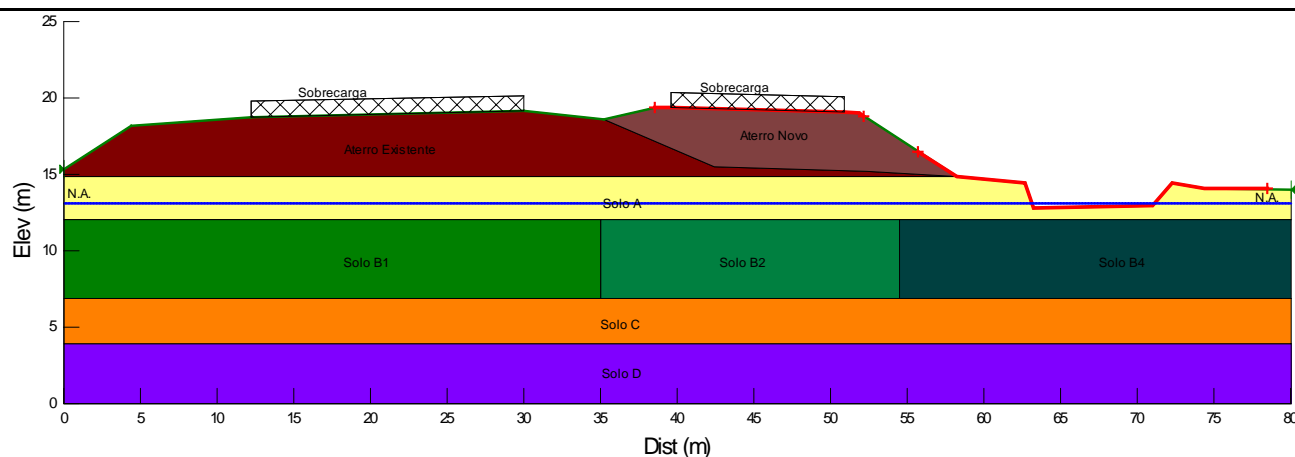
**Tabela 48.14** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

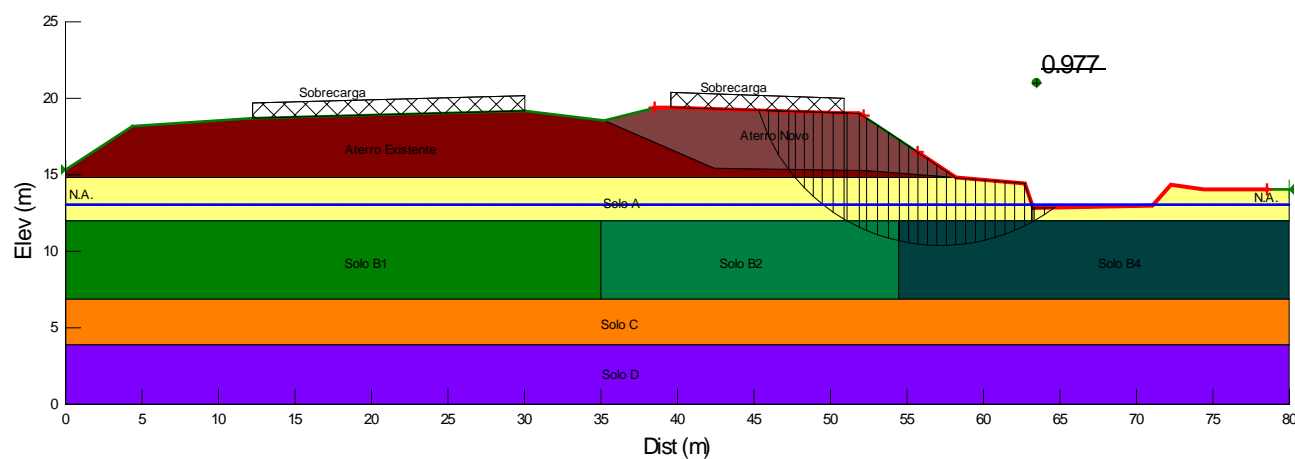
## 48.2. Análises de Estabilidade

A Figura 48.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 160+960.



**Figura 48.43** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 160+960– Aterro).

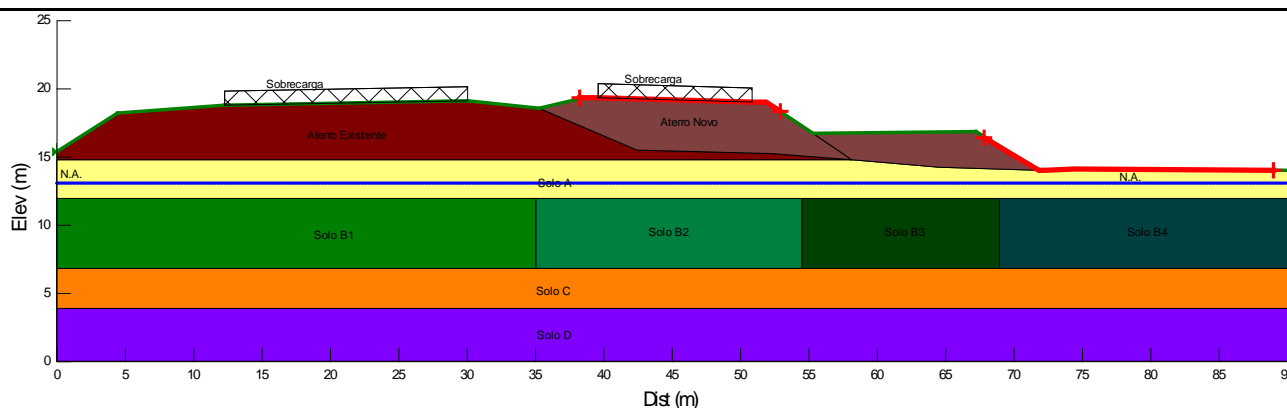
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 0,977 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 48.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 48.44**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 160+960– Aterro).

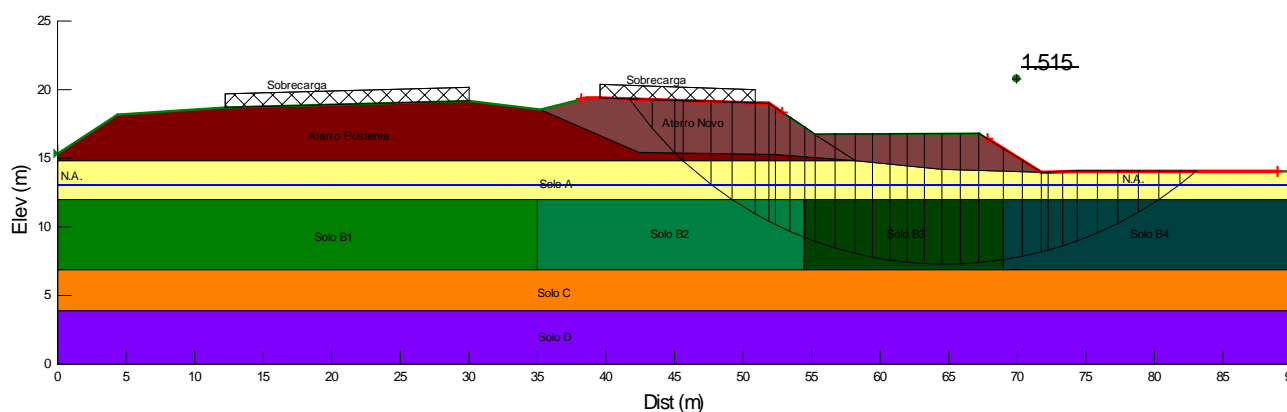
### Utilização de Berma de Equilíbrio

A Figura 48.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,5 m de altura e 12,0 m de largura.



**Figura 48.45** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 160+960– Berma de equilíbrio).

A Figura 48.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



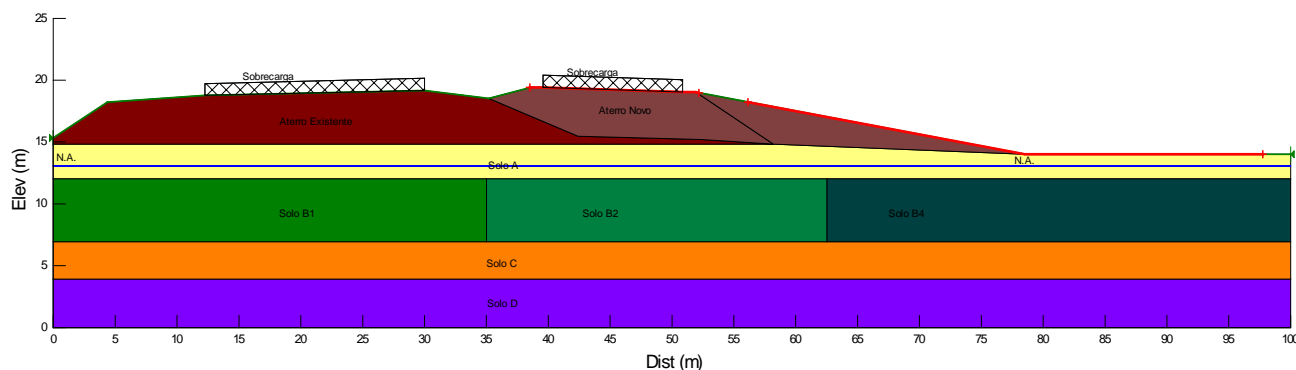
**Figura 48.46** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 160+960– Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,515 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 48.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

### **Utilização de talude abatido**

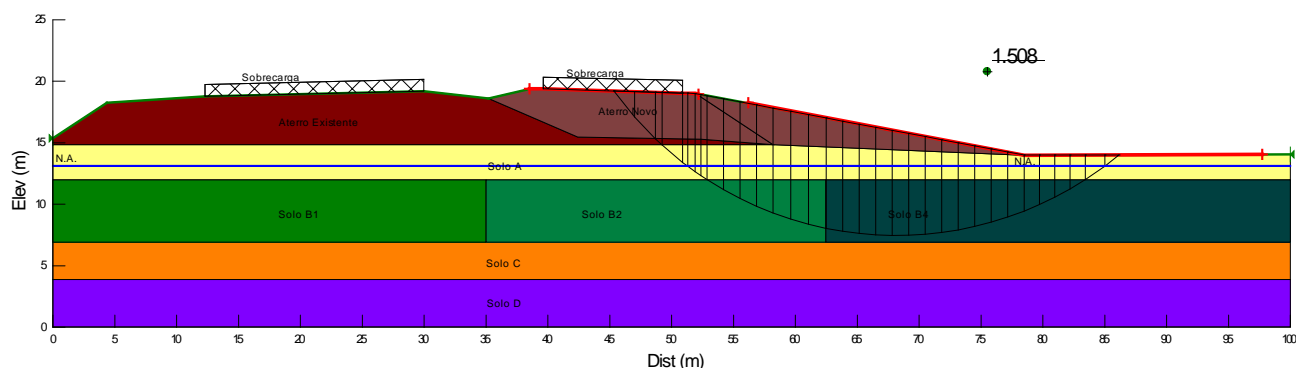
A Figura 48.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido (5:1, H:V).





**Figura 48.47** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 160+960 – Aterro).

A Figura 48.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



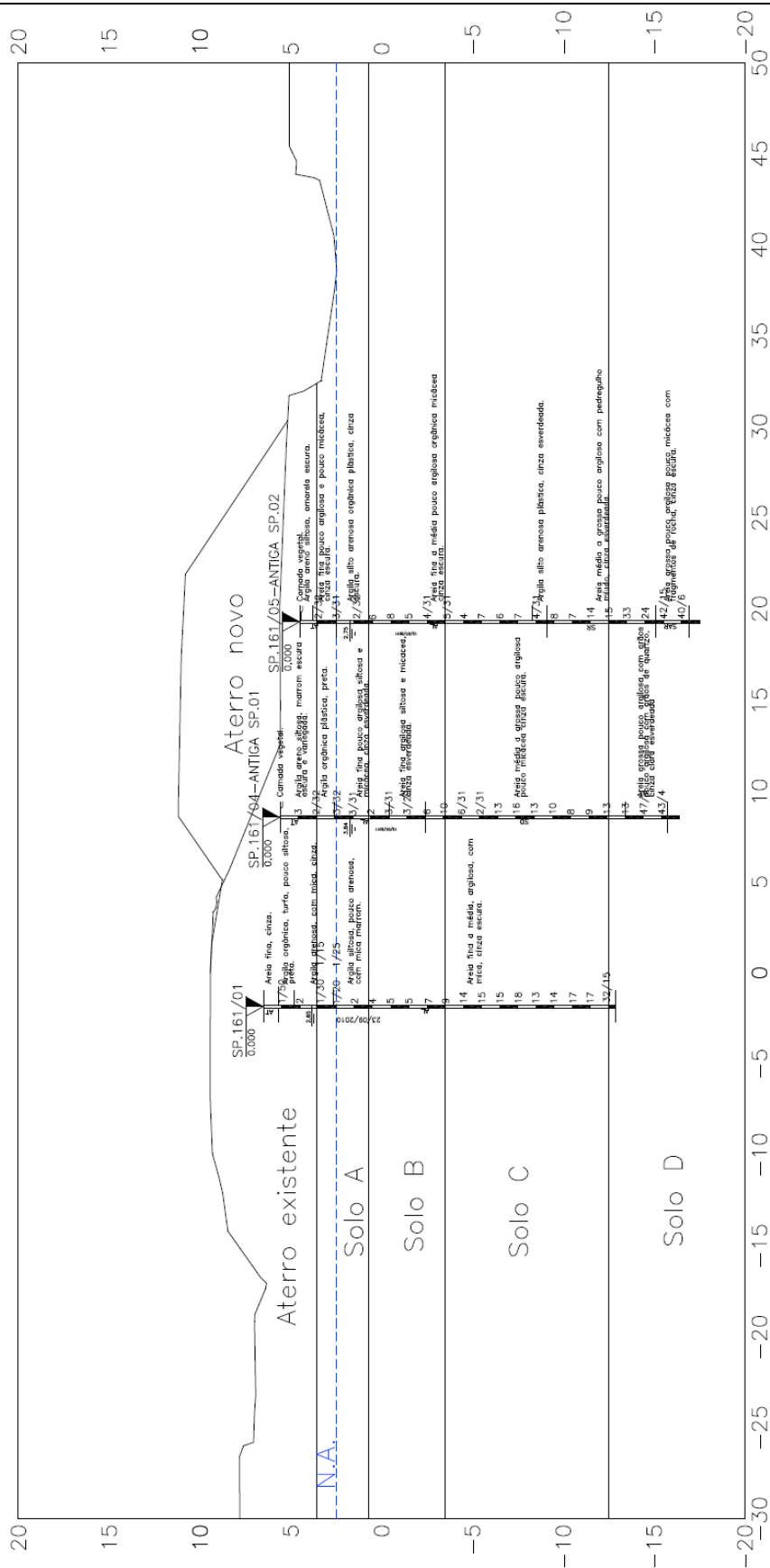
**Figura 48.48** – Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Aterro - Estaca km 160+960 – Aterro, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,508, como ilustrado na Figura 48.7.

## 49. ESTACA KM 161+080 (ATERRO)

### 49.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 49.1.



**Figura 49.49**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 161+080 – Aterro).

**Figura 49 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A*	Argila orgânica	0-1	14	c = f(z)*	0	2000	0,45
B	Areia fina a média argilosa	4-9	17	5	22	8000	0,35
C	Areia fina a média argilosa	14-17	18	10	25	9000	0,3
D	Areia grossa pouco argilosa	>30	18	10	30	11000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo A foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo A1:  $S_u = 22$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 32$  kPa (base da camada).

Solo A2:  $S_u = 26$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 31$  kPa. (base da camada).

Solo A3:  $S_u = 17$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 27$  kPa. (base da camada).

Solo A4:  $S_u = 6$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 12$  kPa. (base da camada).

No Solo A ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 49.2.

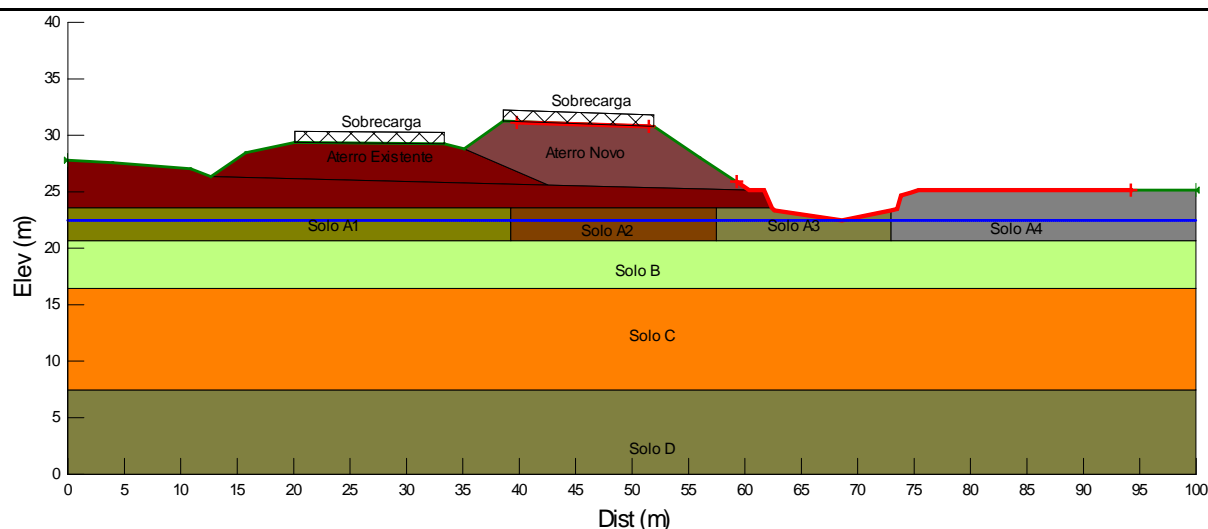
**Tabela 49.15 – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.**

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

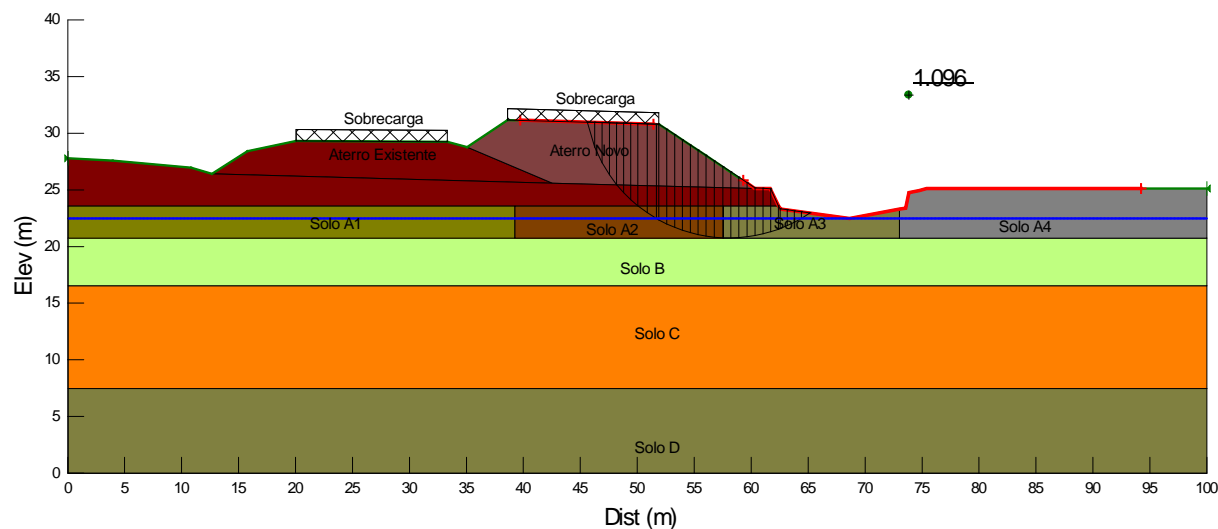
#### 49.2. Análises de Estabilidade

A Figura 49.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 161+080.



**Figura 49.50** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 161+080 – Aterro).

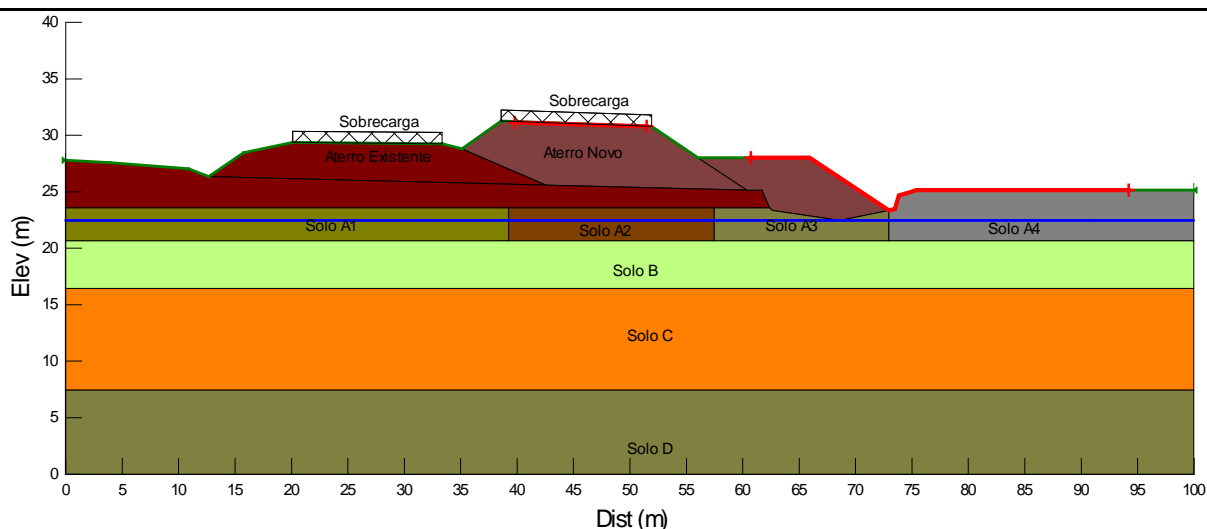
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,096 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 49.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 49.51** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 161+080 – Aterro).

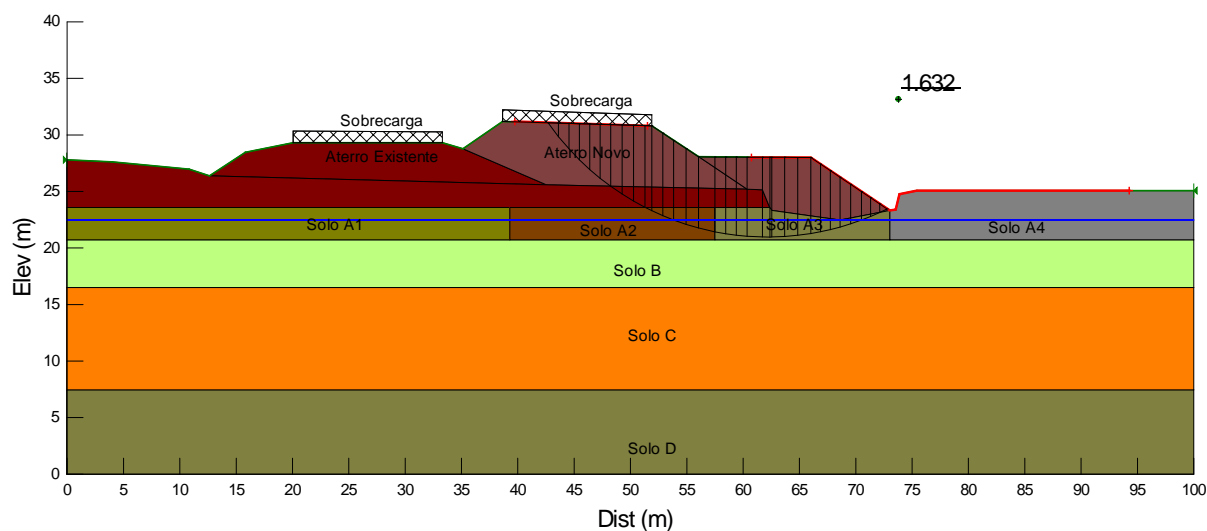
### Utilização de Berma de Equilíbrio

A Figura 49.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,5 m de altura e 10,0 m de largura.



**Figura 49.52** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 161+080 – Berma de equilíbrio).

A Figura 49.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

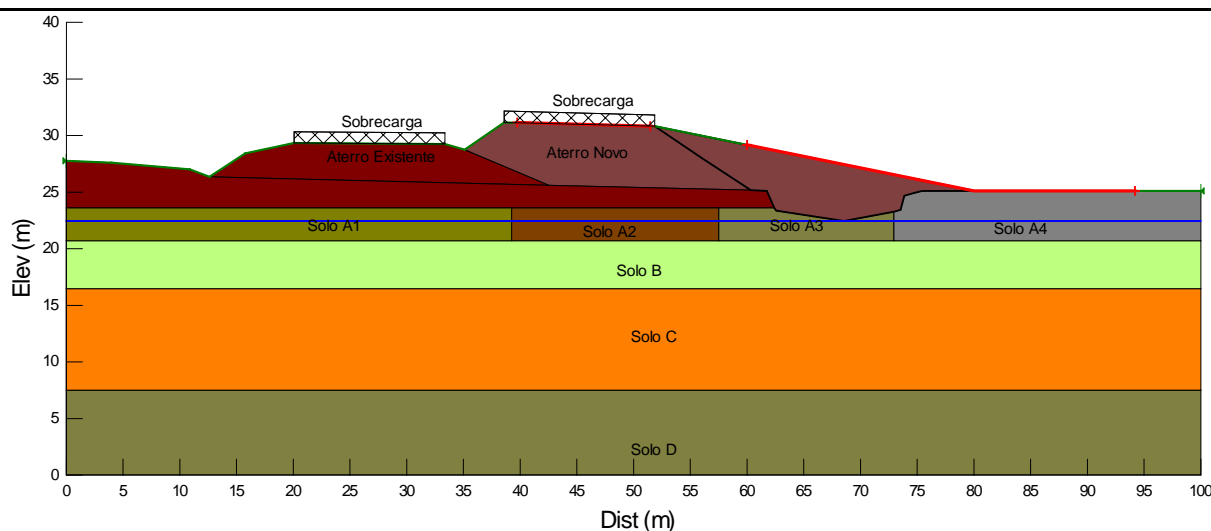


**Figura 49.53** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 161+080 – Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,632 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 49.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

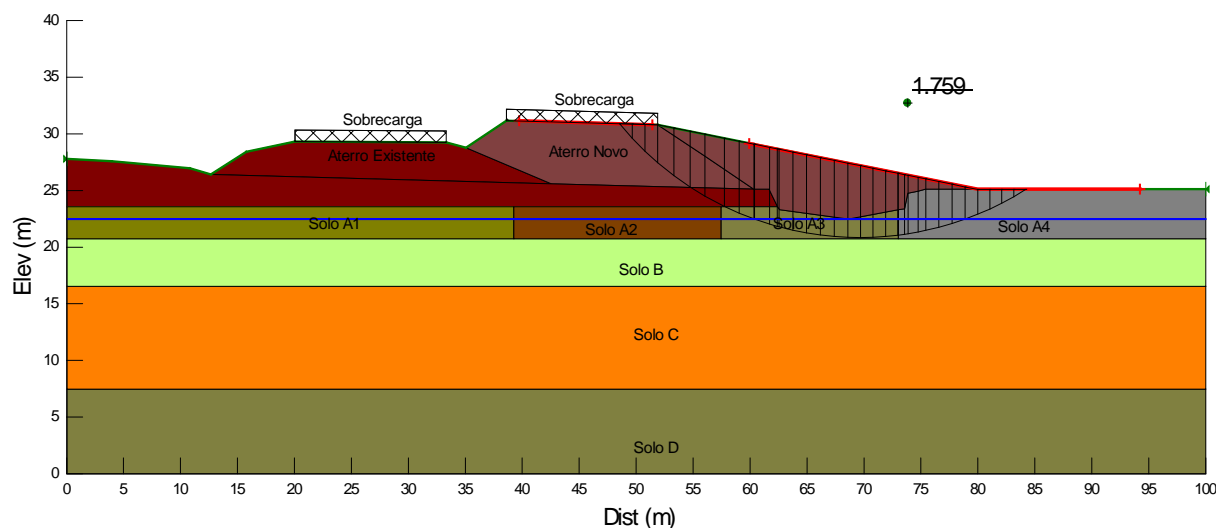
#### **Utilização de talude abatido**

A Figura 49.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido (5:1, H:V).



**Figura 49.54** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 161+080 – Aterro).

A Figura 49.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



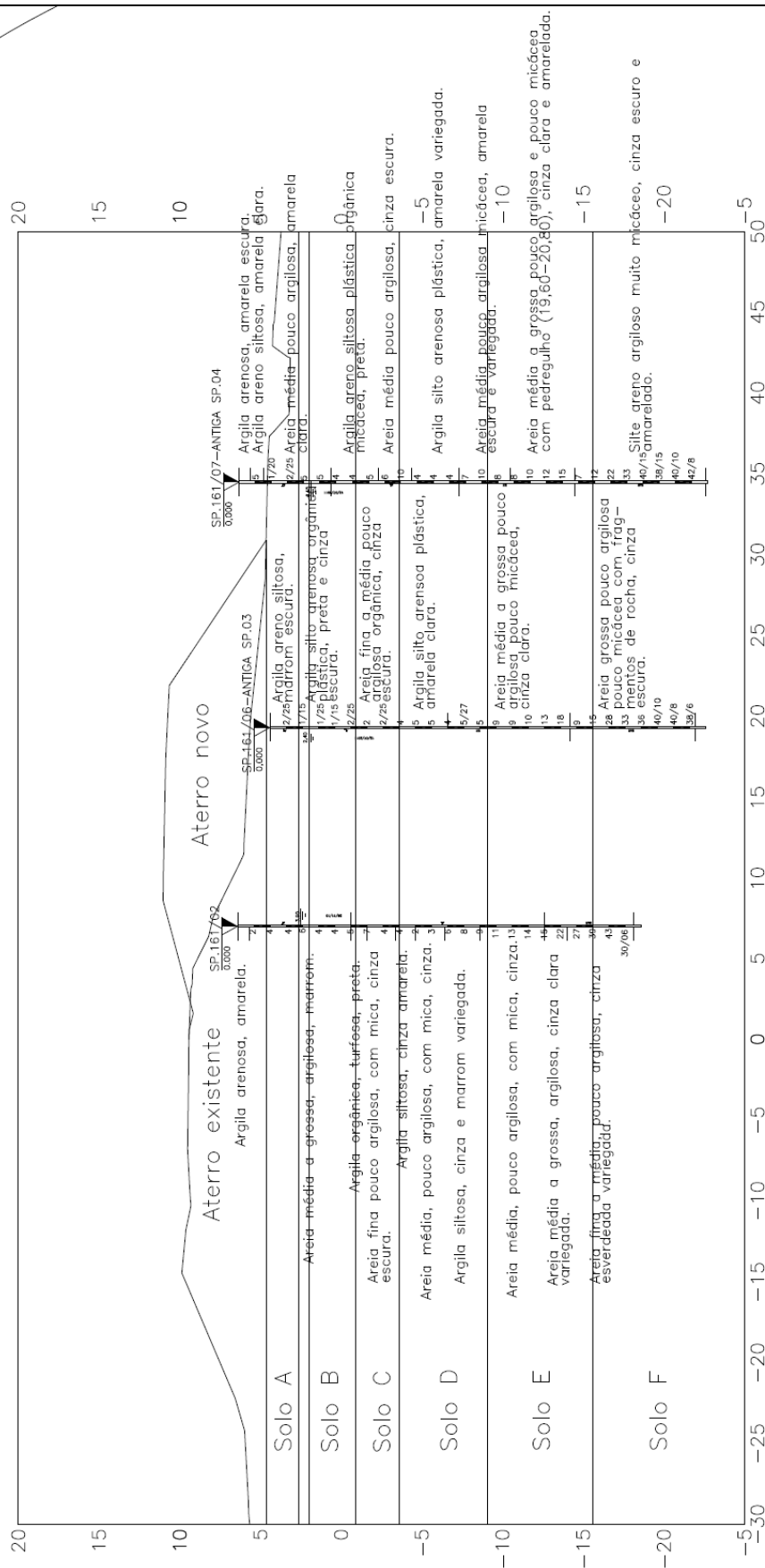
**Figura 49.55** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 161+080 – Aterro, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,759$ , como ilustrado na Figura 49.7.

## 50. ESTACA KM 161+240 (ATERRO)

### 50.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 50.1.



**Figura 50.56**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 161+240 – Aterro).

**Tabela 50.16**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila areno-siltosa	2	16	15	10	7000	0,35
B*	Argila silto-arenosa orgânica	0-2	15	c = f(z)*	0	2000	0,45
C	Areia fina a média pouco argilosa	2	17	5	23	7000	0,35
D	Argila silto-arenosa plástica	4-6	18	20	15	7000	0,35
E	Areia média a grossa pouco argilosa	8-15	18	10	28	8000	0,3
F	Areia grossa pouco argilosa	>30	20	15	32	11000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo B foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo B1:  $S_u = 24$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 30$  kPa (base da camada).

Solo B2:  $S_u = 29$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 35$  kPa. (base da camada).

Solo B3:  $S_u = 20$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 25$  kPa. (base da camada).

Solo B4:  $S_u = 8$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 14$  kPa. (base da camada).

No Solo B ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 50.2.

**Tabela 50.17** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

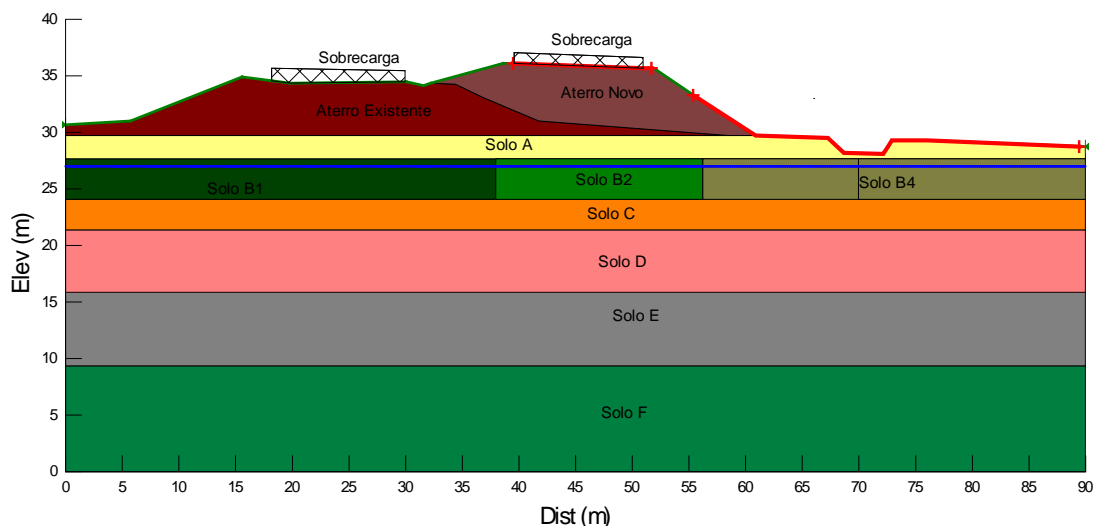
$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

## 50.2. Análises de Estabilidade

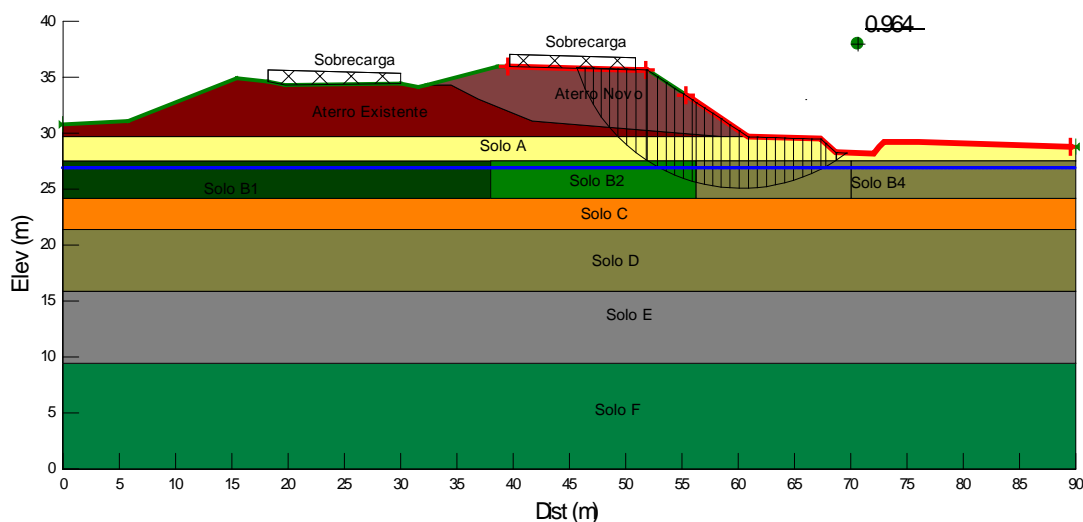
A Figura 50.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 161+240.





**Figura 50.57** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 161+240 – Aterro).

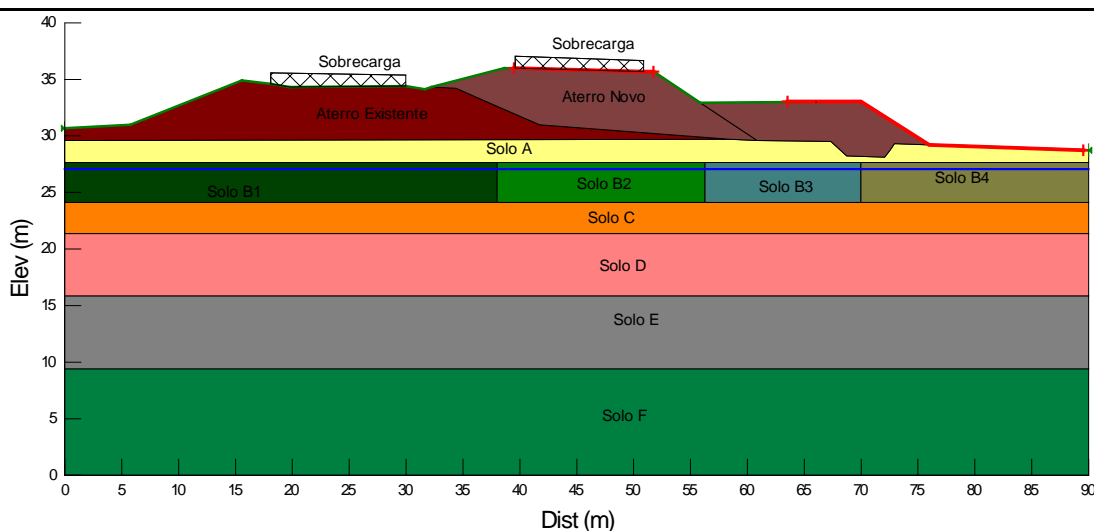
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,225 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 50.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 50.58**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 161+240 – Aterro).

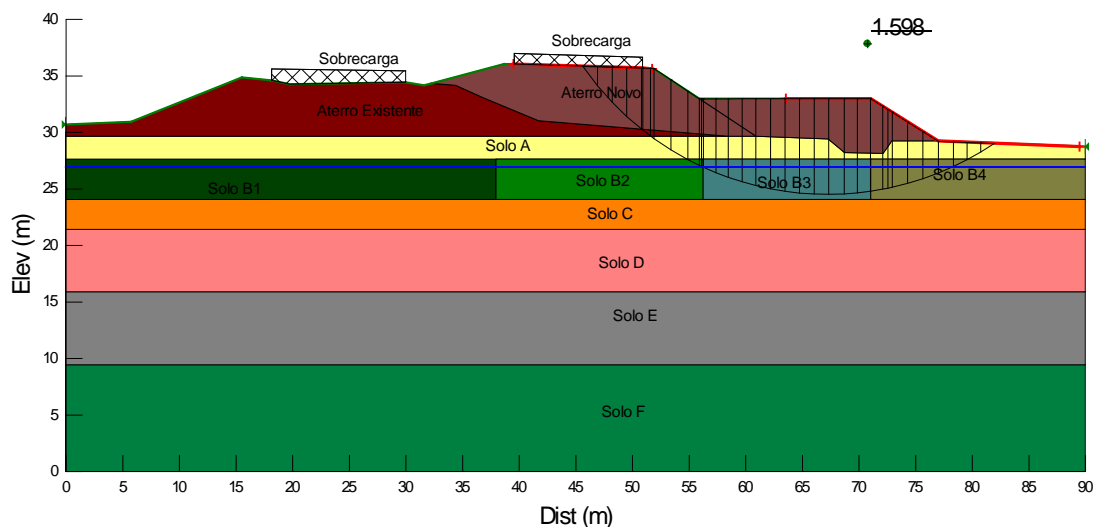
### Utilização de Berma de Equilíbrio

A Figura 50.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 3,5 m de altura e 15,0 m de largura.



**Figura 50.59** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 161+240 – Berma de equilíbrio).

A Figura 50.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

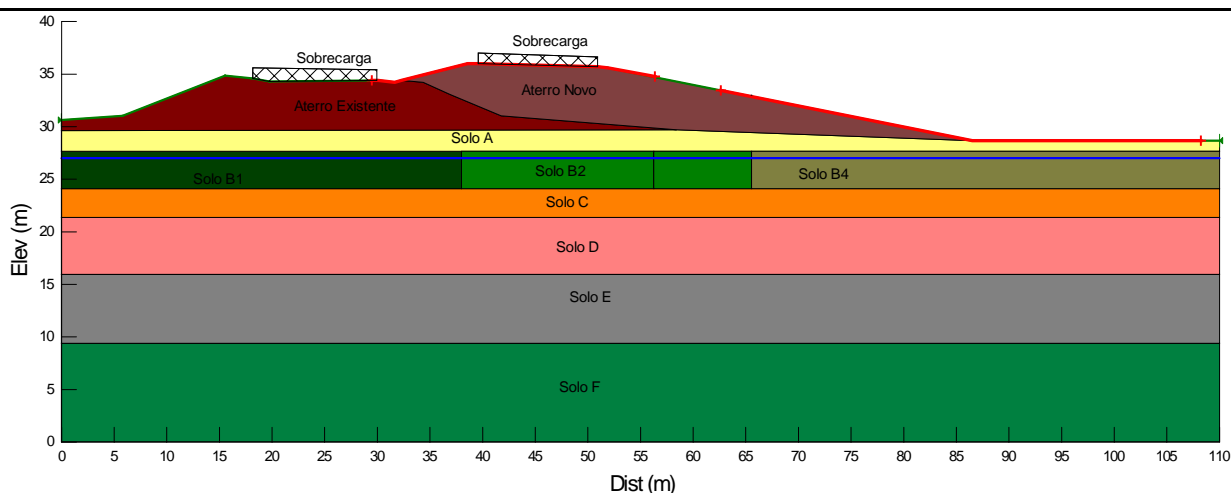


**Figura 50.60** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 161+240 – Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,531 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 50.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

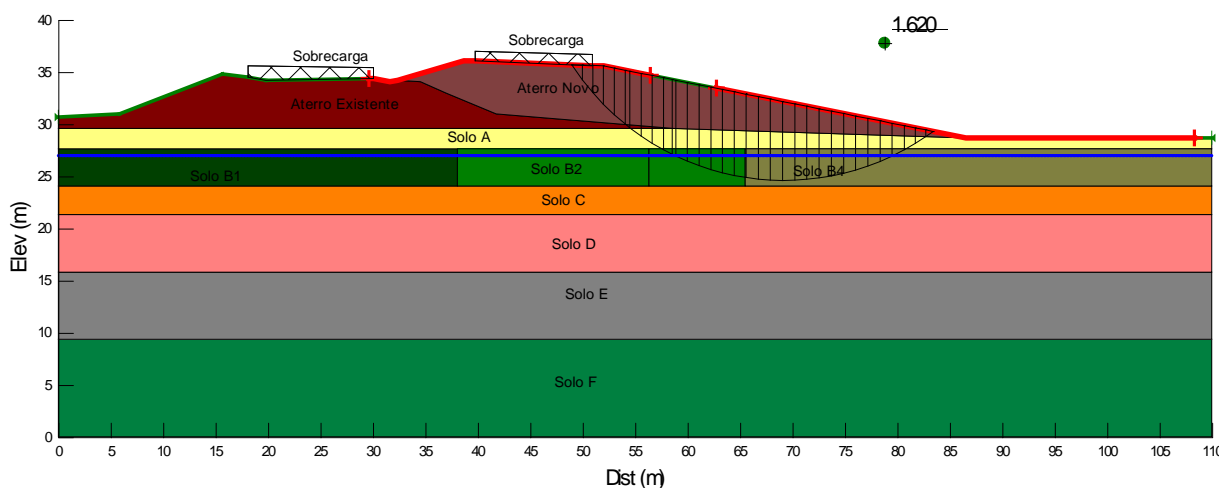
### **Utilização de talude abatido**

A Figura 50.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido (5:1, H:V).



**Figura 50.61** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 161+240 – Aterro).

A Figura 50.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



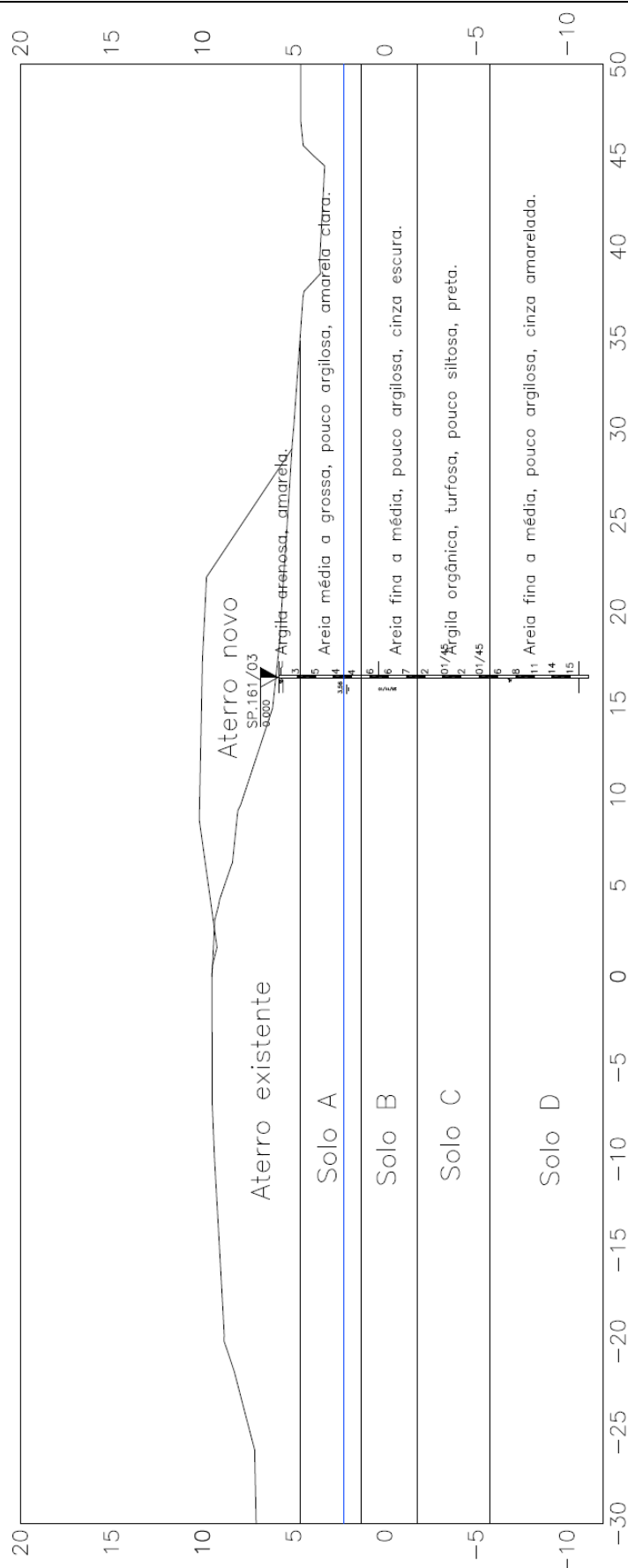
**Figura 50.62** – Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Aterro - Estaca km 161+240 – Aterro, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,620, como ilustrado na Figura 50.7.

## 51. ESTACA KM 161+300 (ATERRO)

### 51.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 51.1.



**Figura 51.63**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 161+300 – Aterro).

**Tabela 51.18**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Areia média a grossa pouco argilosa	4-5	17	5	25	8000	0,3
B	Areia fina a média pouco argilosa	6-7	17	10	27	9000	0,3
C*	Argila orgânica	1-2	15	c = f(z)*	0	2000	0,4
D	Areia fina a média pouco argilosa	6-14	18	10	29	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

\*A camada de solo C foi subdividida com o objetivo de considerar o ganho de resistência devido a construção do aterro existente. Adotou-se a coesão não drenada crescente com a profundidade, para tanto utilizou como referencia a relação  $S_u/\sigma'_v = 0,25$  (Leroueil; Magnan; Tavares, 1985; Wood, 1990) e a equação  $S_u = 6 + 1,7(z)$  (Massad, 1994). Para a referida camada adotou-se os seguintes valores:

Solo C1:  $S_u = 32$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 38$  kPa (base da camada).

Solo C2:  $S_u = 34$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 40$  kPa. (base da camada).

Solo C3:  $S_u = 17$  kPa (topo da camada) e  $S_{u_{máx}} = 23$  kPa. (base da camada).

No SoloC ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados naTabela 51.2.

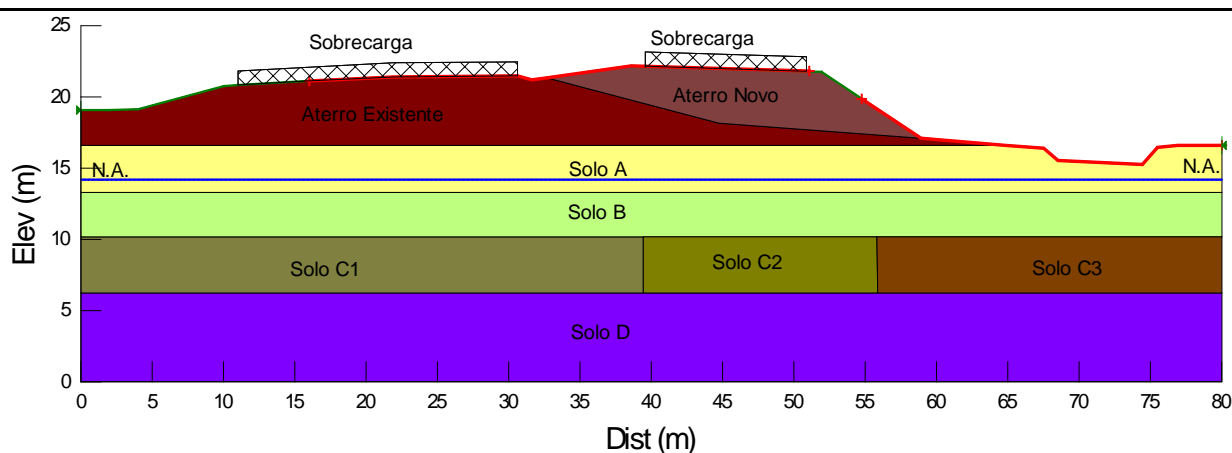
**Tabela 51.19** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,3	0,03	20

Legenda: e<sub>0</sub> – índice de vazios inicial; C<sub>c</sub> – índice de compressão do solo; C<sub>r</sub> - índice de recompressão do solo; C<sub>v</sub> – Coeficiente de Adensamento Vertical.

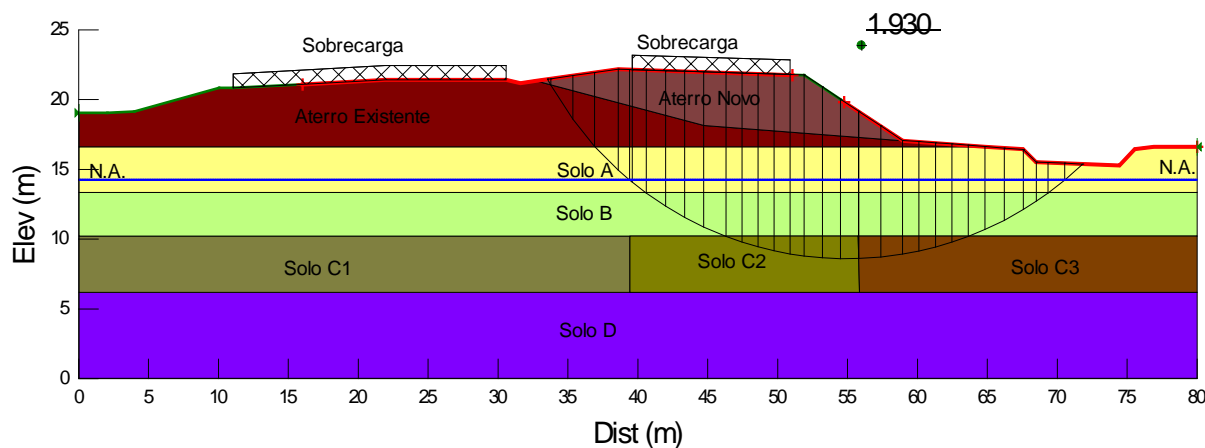
## 51.2. Análises de Estabilidade

A Figura 51.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 161+300.



**Figura 51.64** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 161+300 – Aterro).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,930 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 51.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

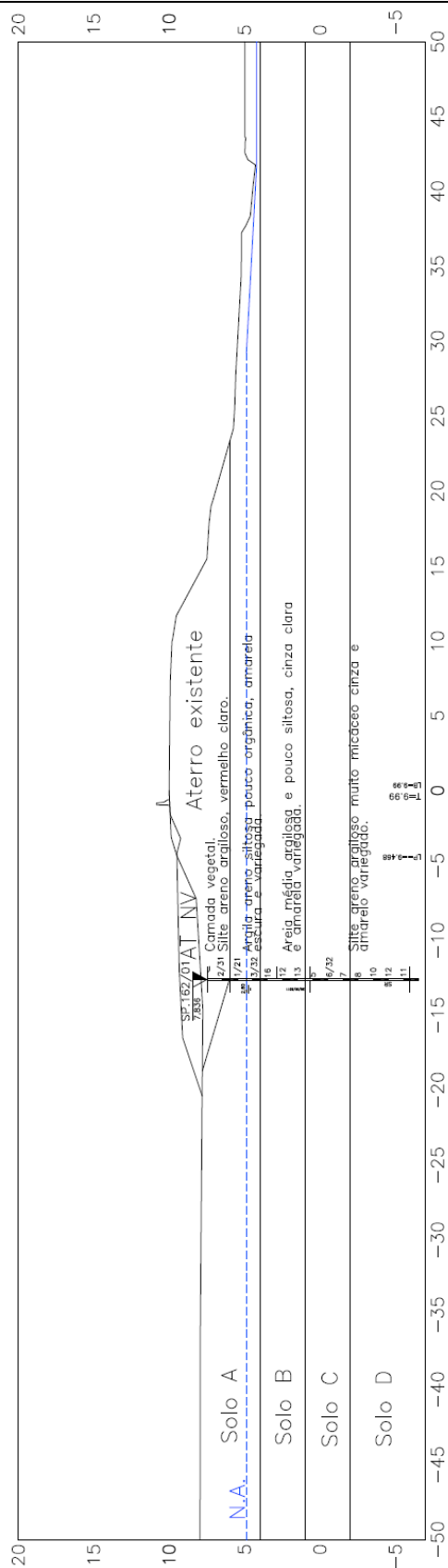


**Figura 51.65**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 161+300 – Aterro).

## 52. ESTACA KM 162+900 (ATERRO)

### 52.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 52.1.



**Figura 52.66**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 162+900– Aterro).

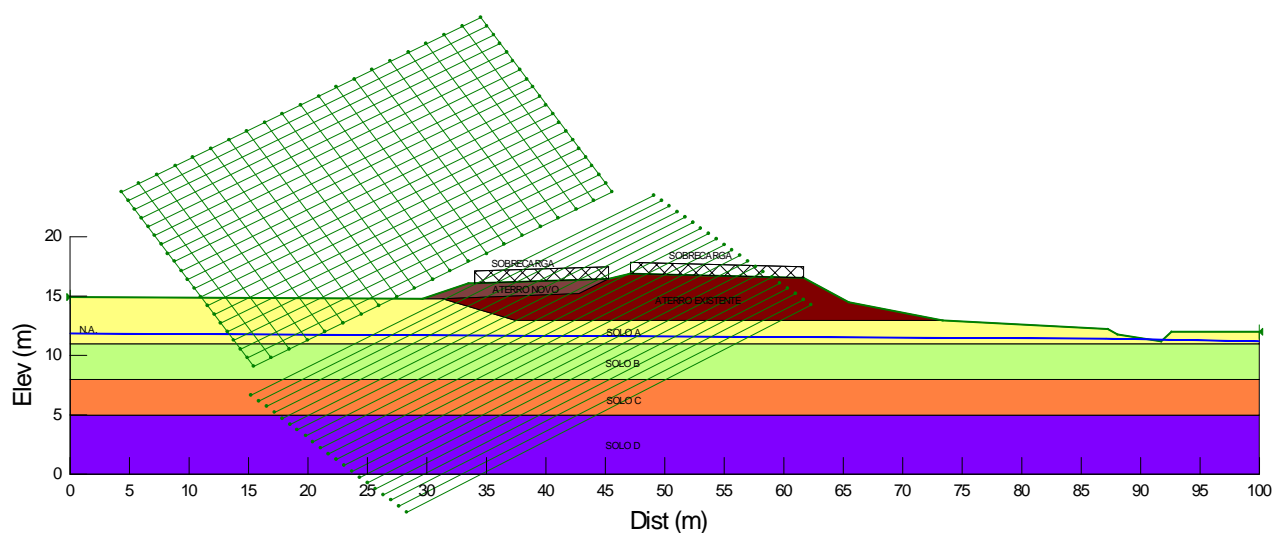
**Tabela 52.20**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila areno-siltosa pouco orgânica	2-3	16	15	10	7000	0,35
B	Areia média argilosa	12-16	18	10	29	11000	0,3
C	Silteareno-argiloso	5-7	18	17	24	8000	0,3
E	Silteareno-argiloso	8-12	18	20	27	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 52.2. Análises de Estabilidade

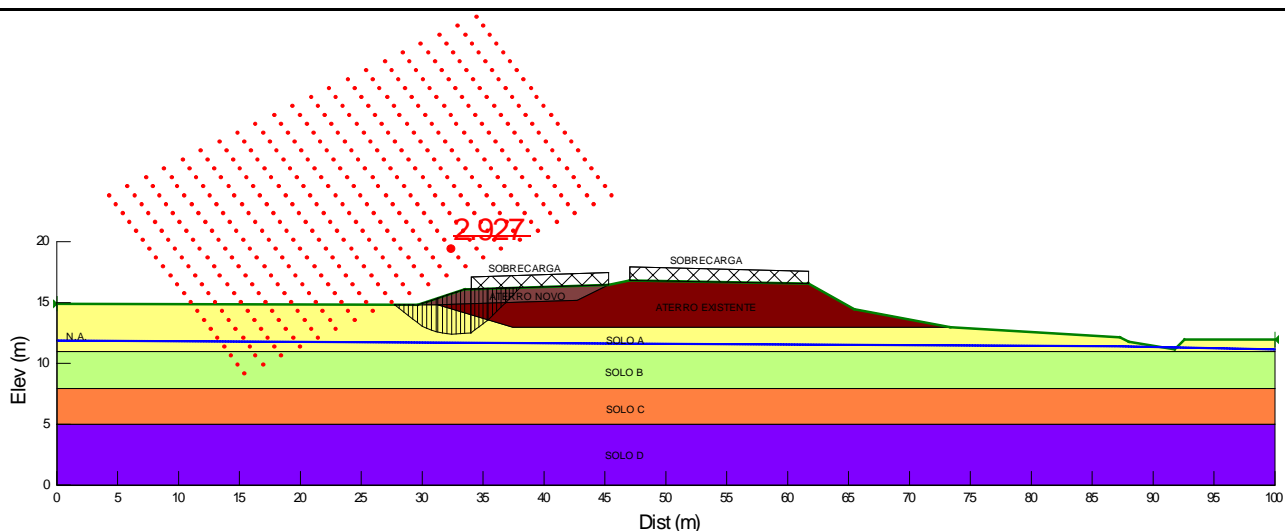
A Figura 52.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 162+900.



**Figura 52.67** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 162+900– Aterro).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 2,927 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 52.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



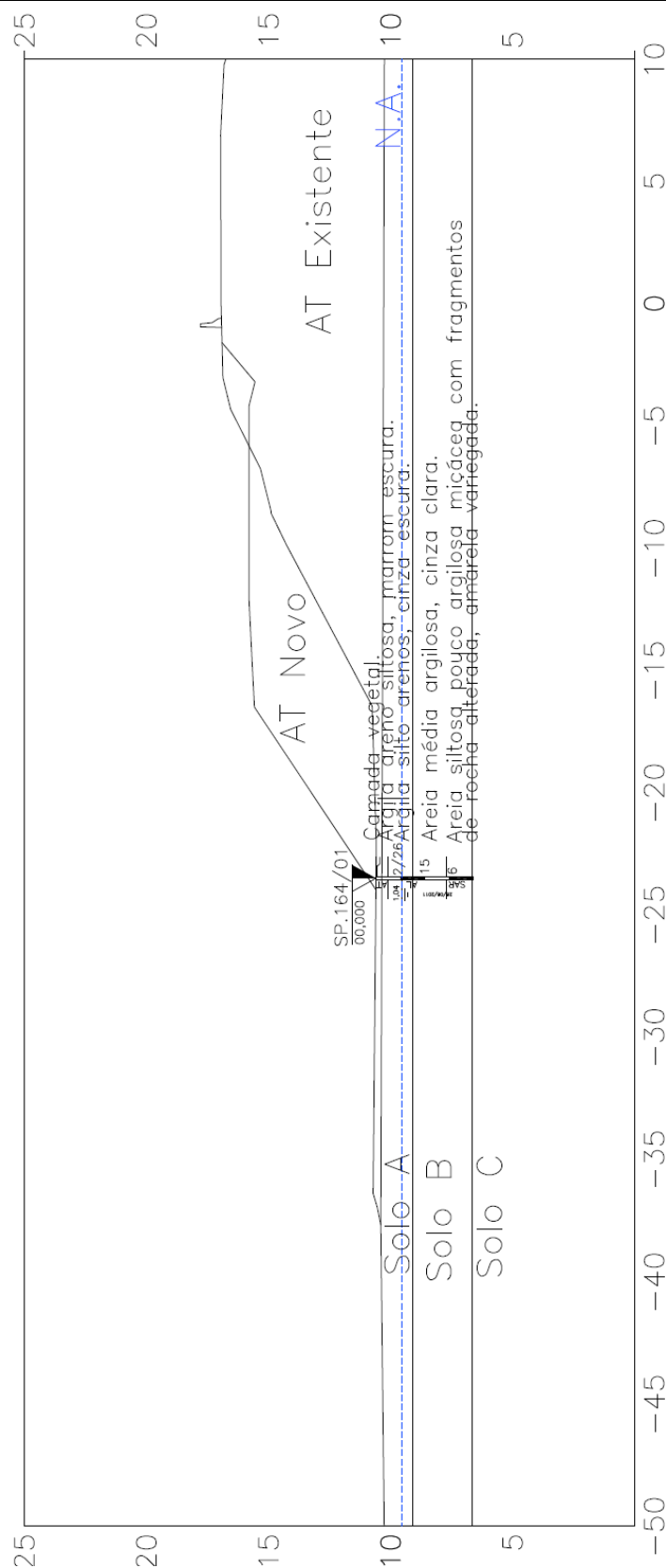


**Figura 52.68**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 162+900– Aterro).

### 53. ESTACA KM 164+580,907 (ATERRO)

#### 53.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 53.1.



**Figura 53.69**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 164+580,907 – Aterro).

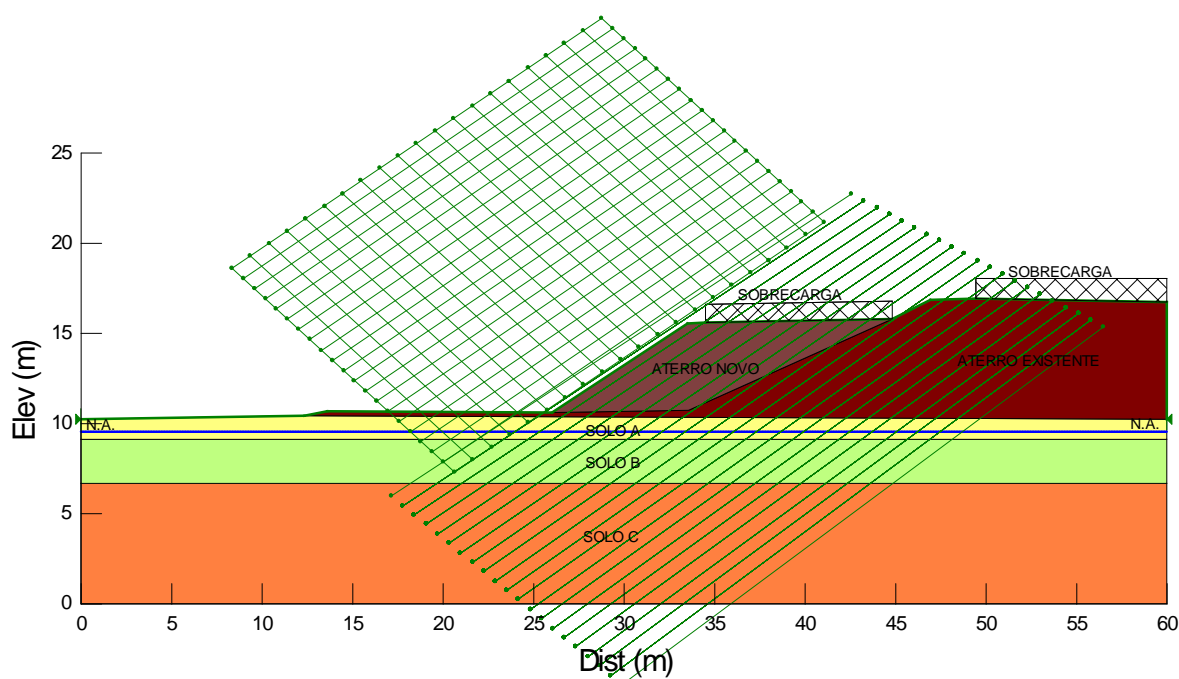
**Tabela 53.21** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila silto-arenosa	2	16	15	10	7000	0,35
B	Areia média argilosa	6-15	17	10	27	8000	0,3
C	Areia siltosa pouco argilosa	>15	18	20	30	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

### 53.2. Análises de Estabilidade

A Figura 53.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 164+580,907.



**Figura 53.70** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 164+580,907– Aterro).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,544 > 1,5, como ilustrado na Figura 53.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

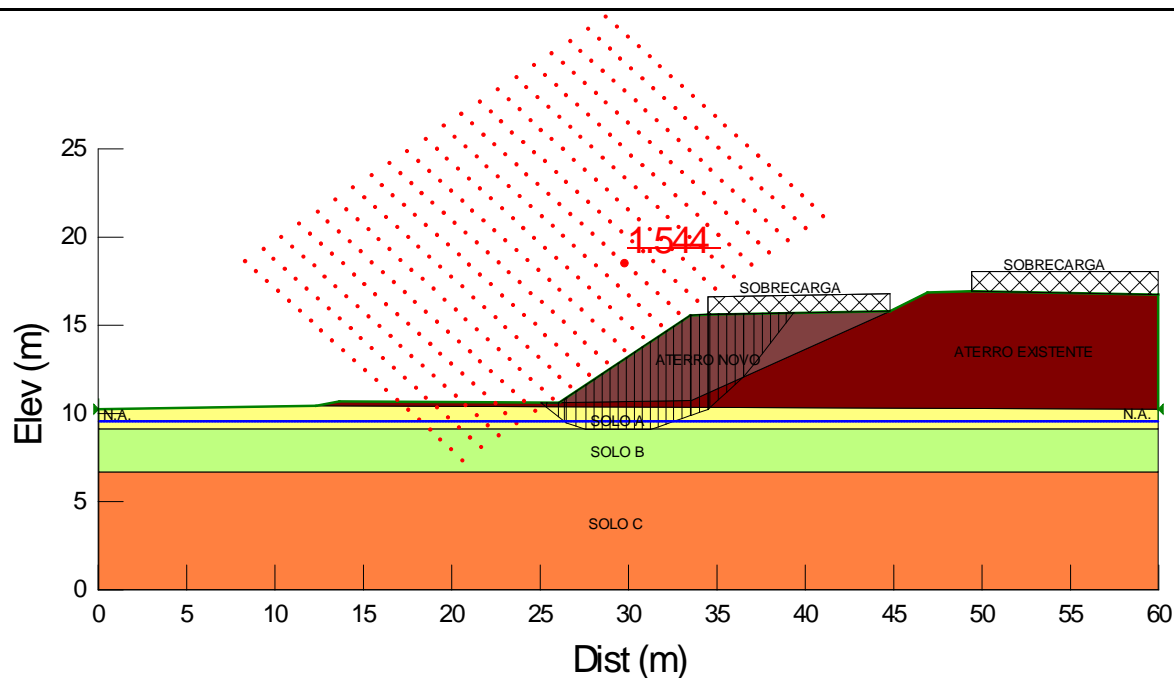
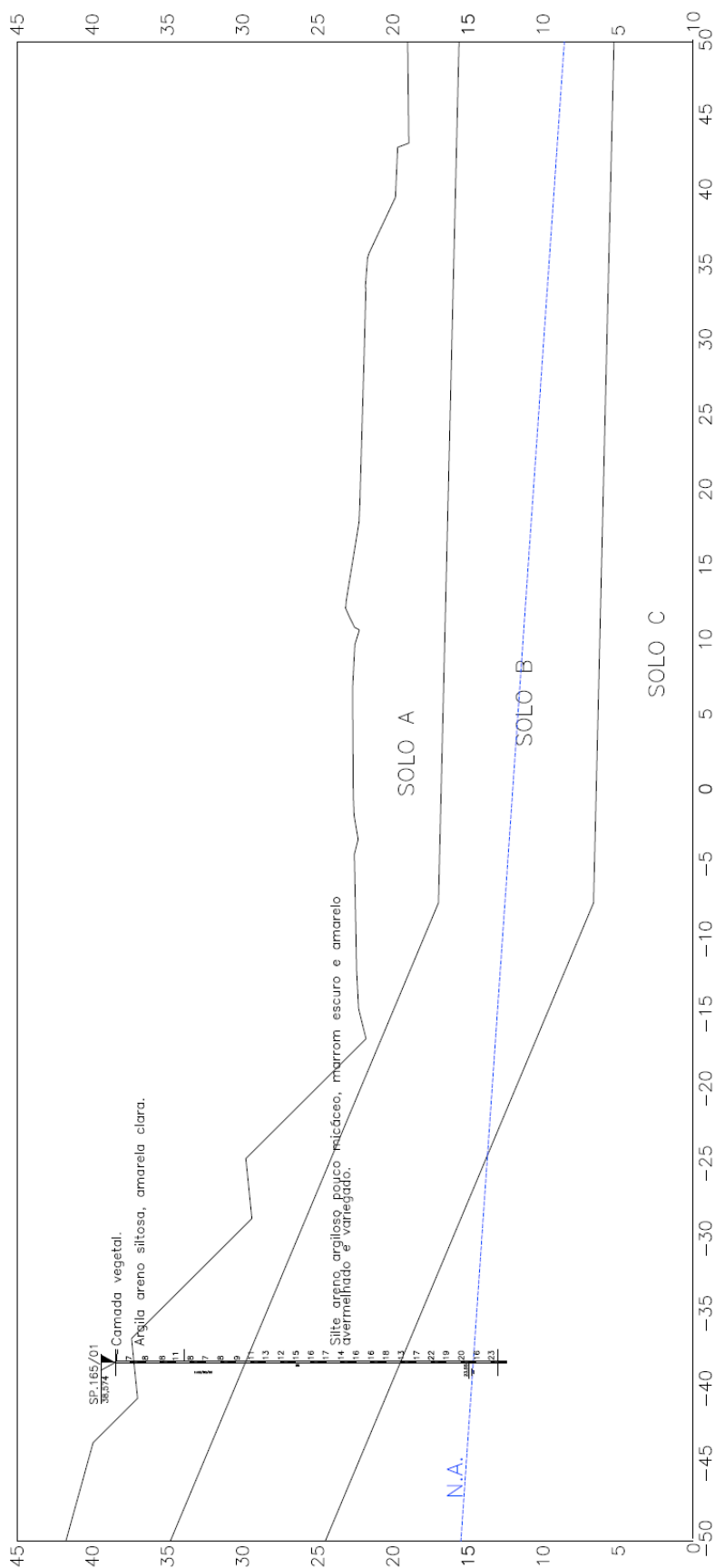


Figura 53.71– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Estaca km 164+580,907– Aterro).

## 54. ESTACA KM 165+740 (CORTE)

### 54.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 54.1.



**Figura 54.72**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 165+740 – Aterro).

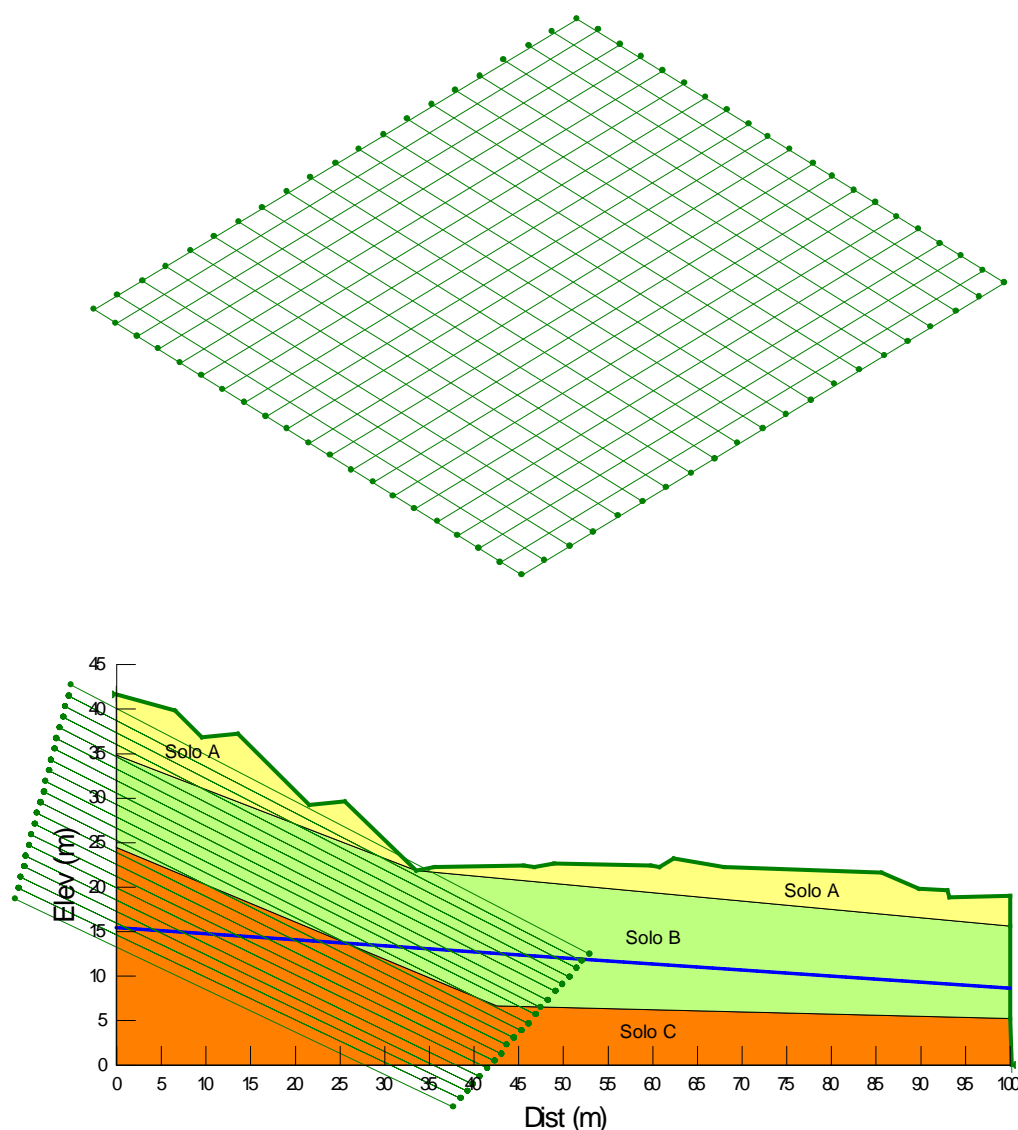
**Tabela 54.22**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila areno-siltosa	7-9	18	25	15	9000	0,35
B	Silteareno-argiloso	12-17	18	22	28	10000	0,3
C	Silteareno-argilos	17-20	19	22	30	11000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson

## 54.2. Análises de Estabilidade

A Figura 54.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 165+740.



**Figura 54.73** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 165+740 – Aterro).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,560 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 54.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica.

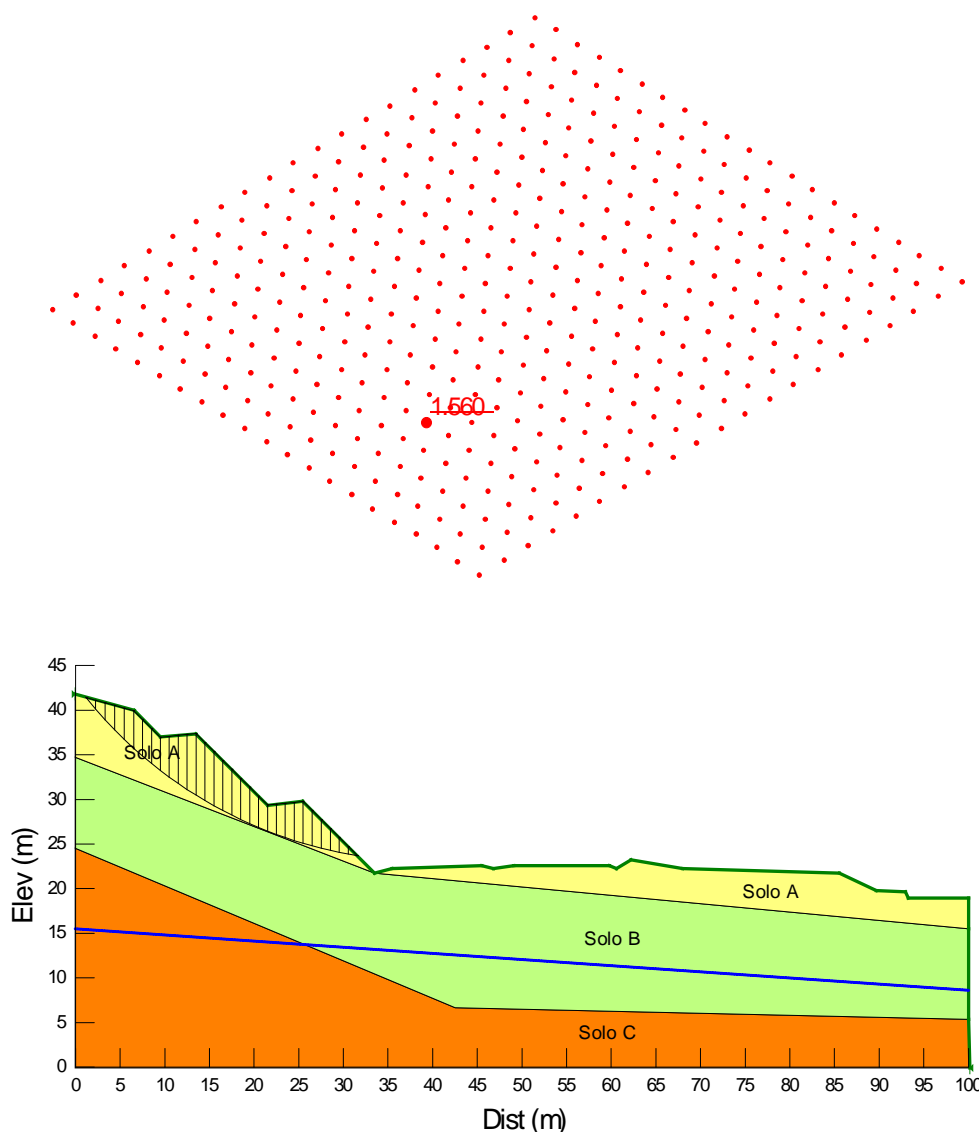
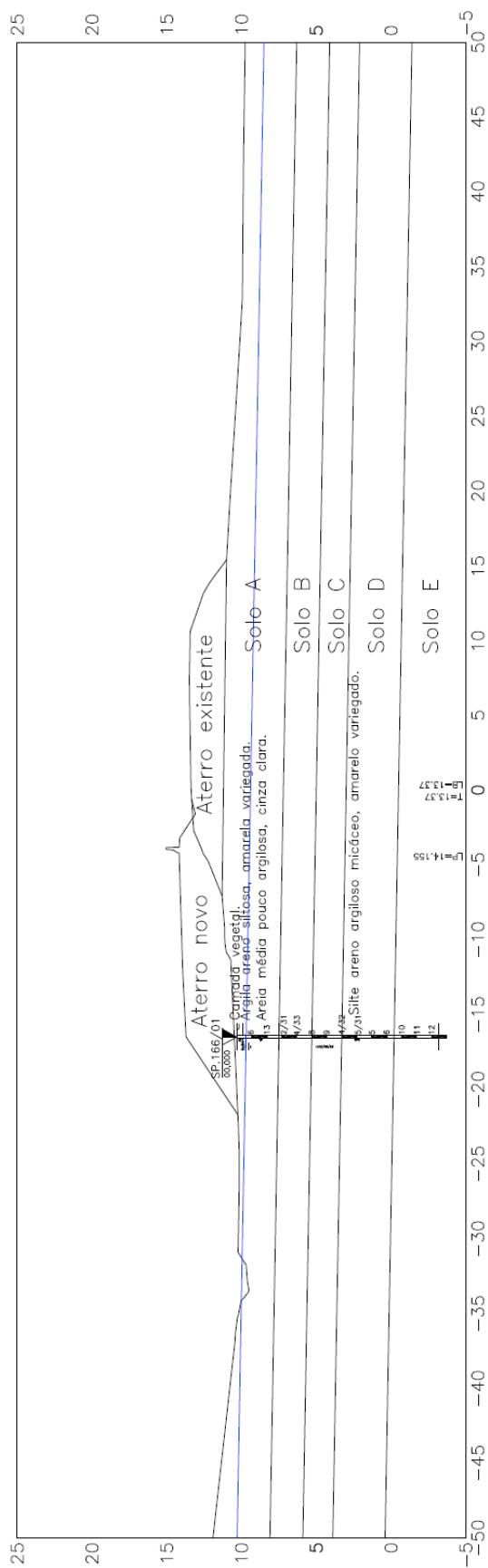


Figura 54.74– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 165+740 – Aterro).

## 55. ESTACA KM 166+208,402 (ATERRO)

### 55.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 55.1.



**Figura 55.75**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 166+208,402 – Aterro).



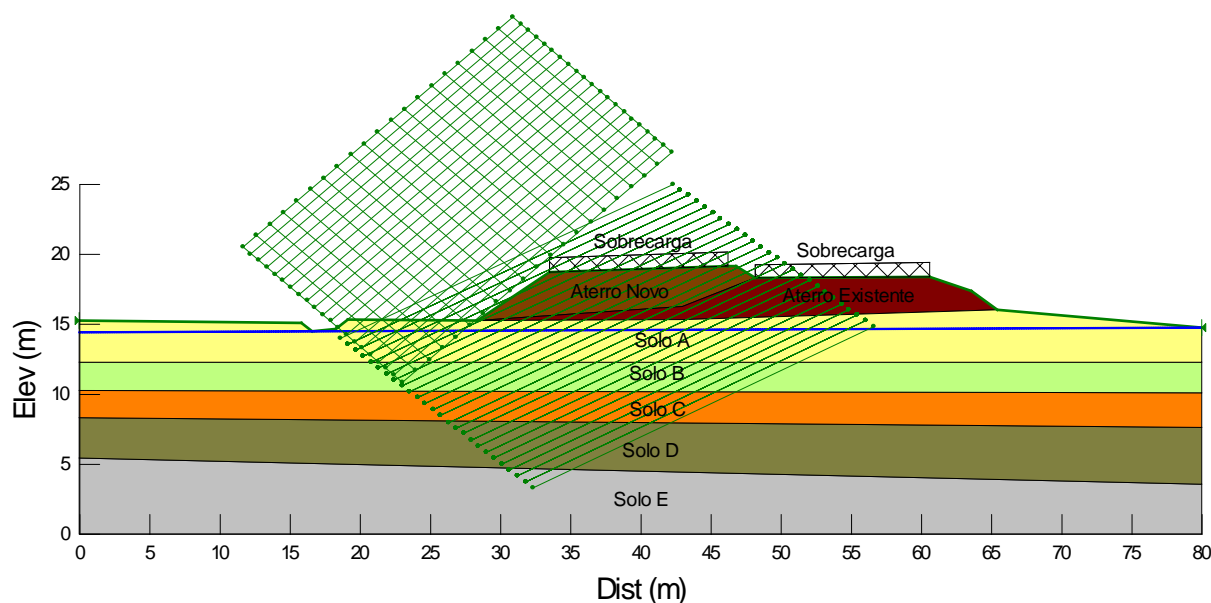
**Tabela 55.23**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila silto-arenosa	6-13	17	5	23	9000	0,35
B	Silteareno-argiloso	2-4	17	15	20	8000	0,3
C	Silteareno-argiloso	8-9	17	18	22	9000	0,3
D	Silteareno-argiloso	4-6	17	15	25	8000	0,3
E	Silteareno-argiloso	10-12	18	22	28	9000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

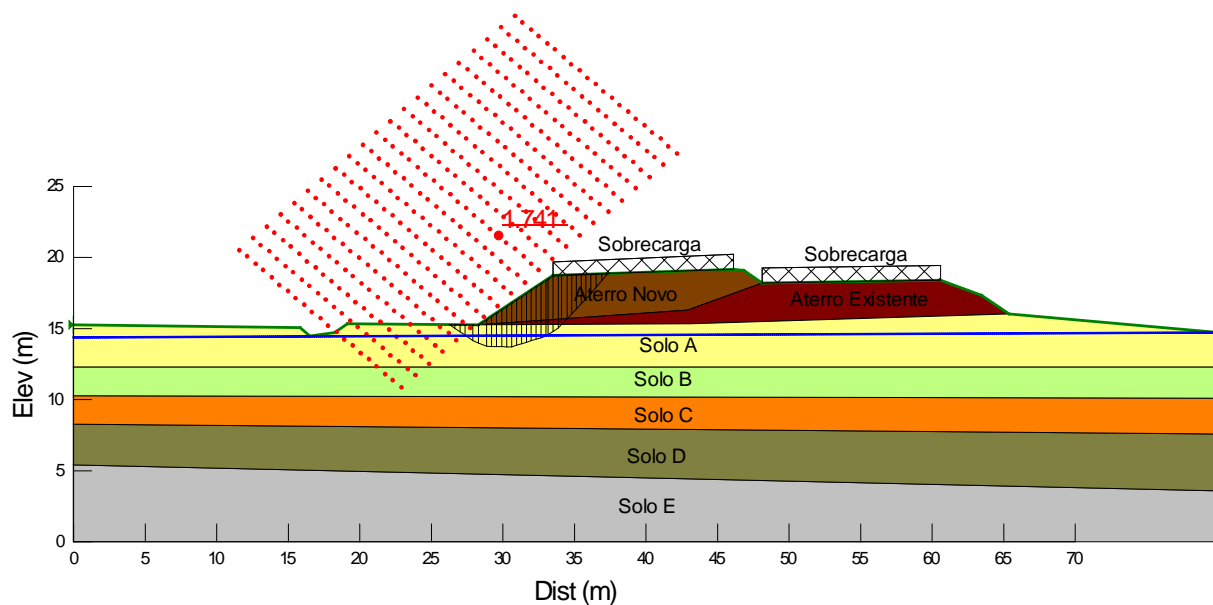
## 55.2. Análises de Estabilidade

A Figura 55.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 166+208,402.



**Figura 55.76** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 166+208,402– Aterro).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,741 > 1,5, como ilustrado na Figura 55.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

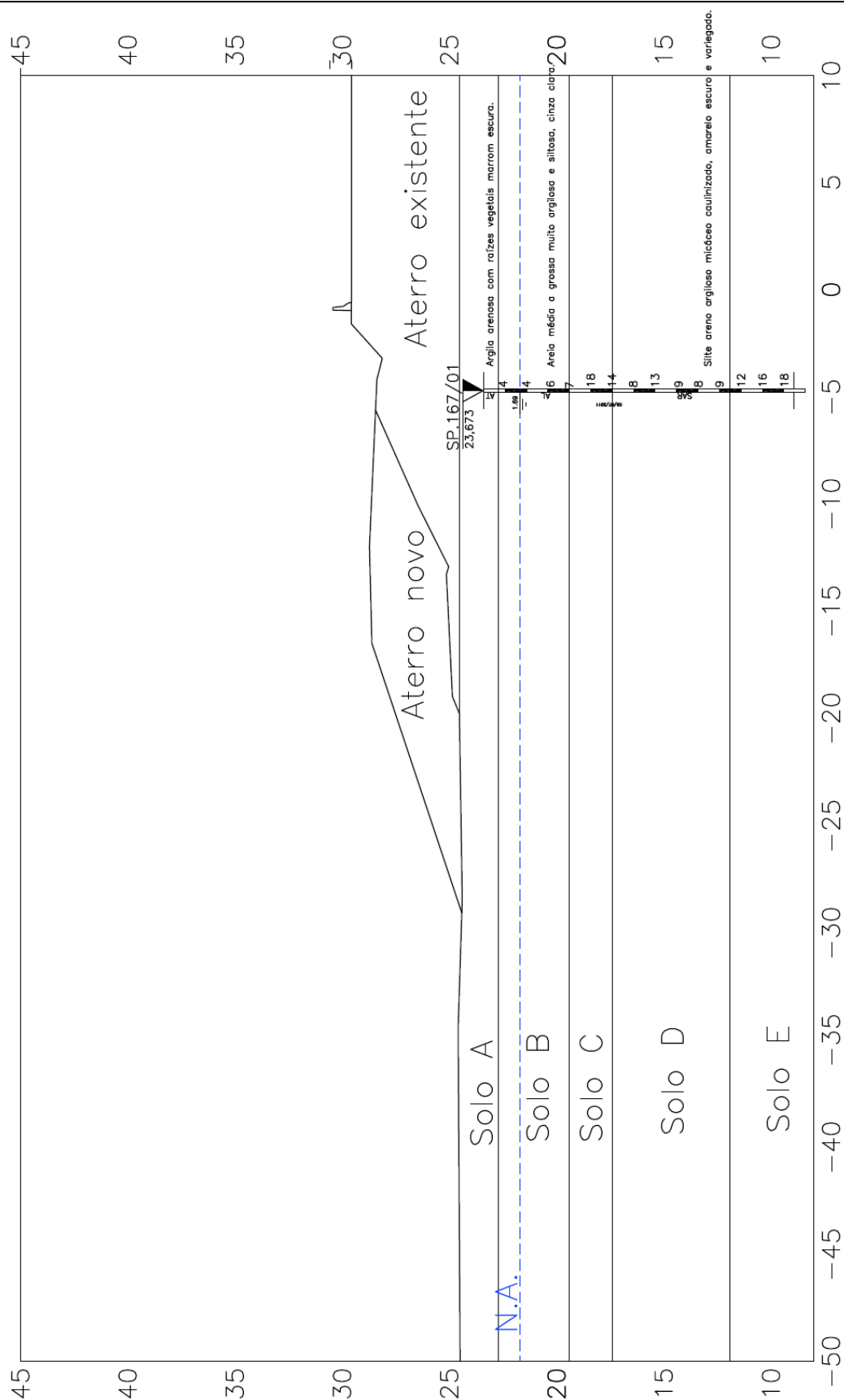


**Figura 55.77**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 166+208,402– Aterro).

## 56. ESTACA KM 168+000 (ATERRO)

### 56.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 56.1.



**Figura 56.78**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 168+000 – Aterro).

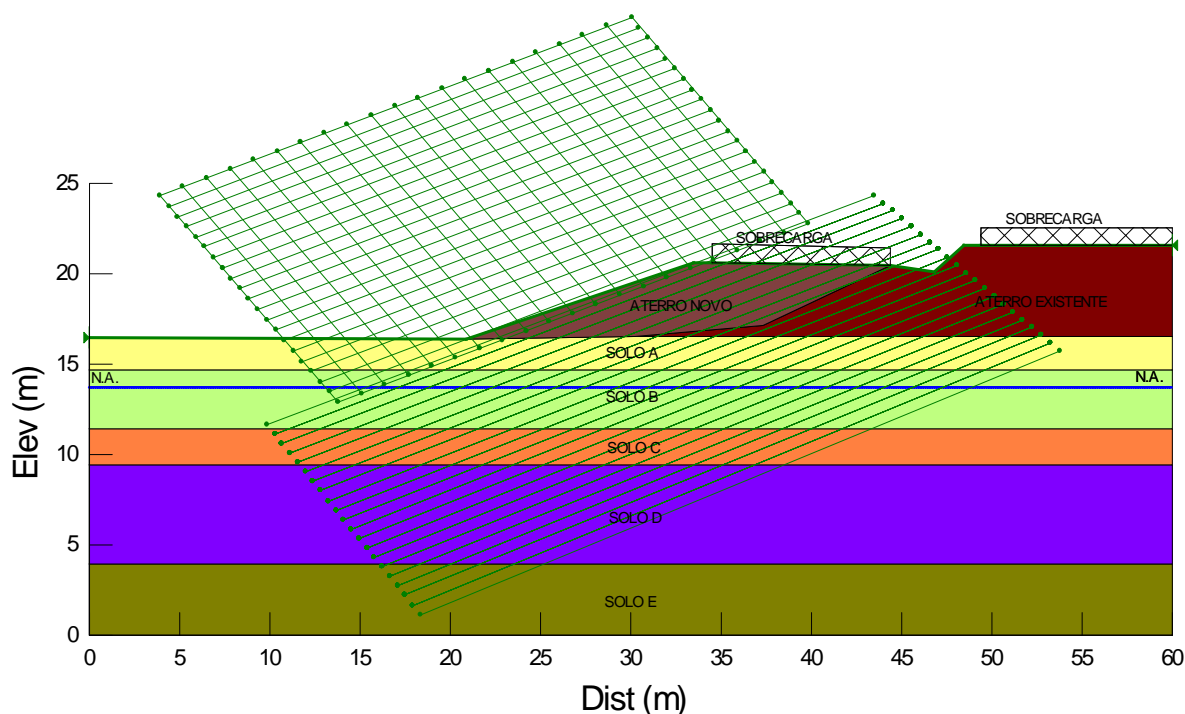
**Tabela 56.24**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila silto-arenosa	4	16	15	10	7000	0,35
B	Areia média a grossa muito argilosa	4-6	17	10	25	8000	0,3
C	Areia média a grossa muito argilosa	14-18	18	10	28	9000	0,3
D	Silteareno-argiloso	8-9	18	18	25	8000	0,3
E	Silteareno-argiloso	12-18	18	20	29	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 56.2. Análises de Estabilidade

A Figura 56.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 168+000.



**Figura 56.79** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 168+000– Aterro).

Foram verificadas 9261 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 2,202 > 1,5, como ilustrado na Figura 56.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

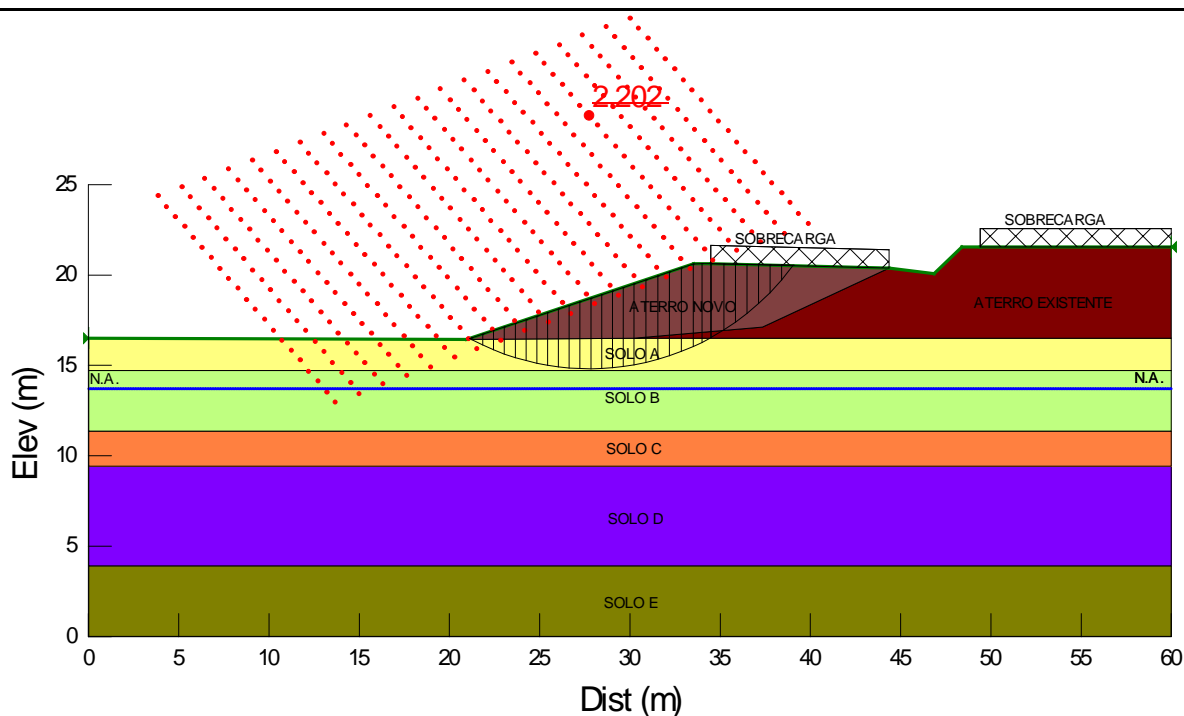
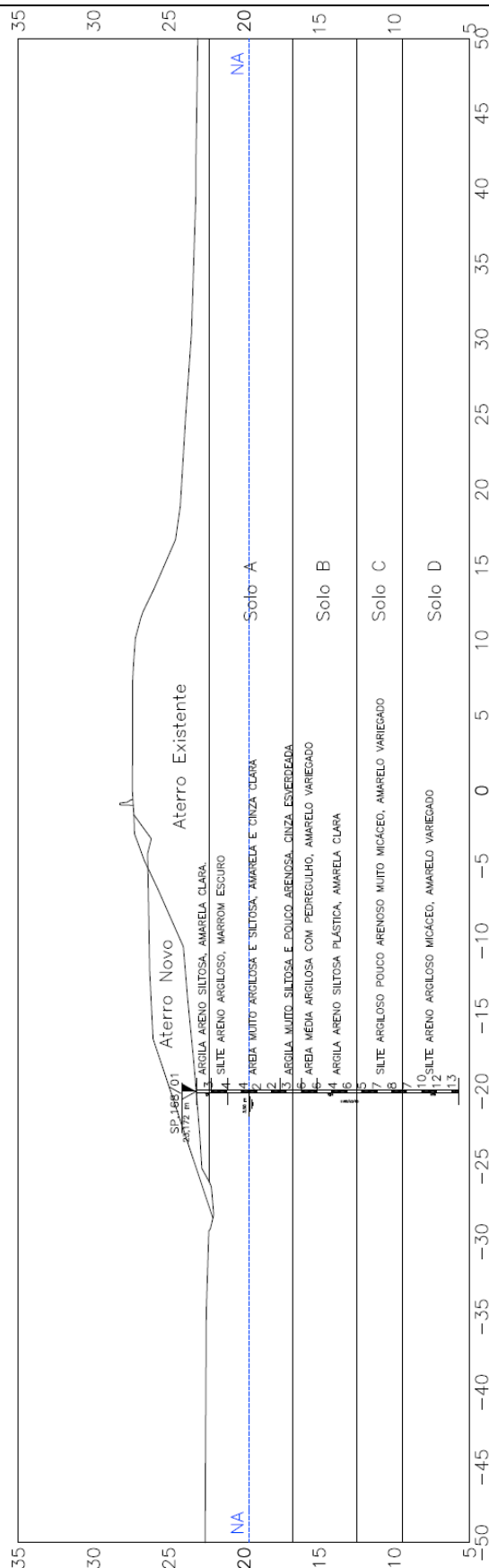


Figura 56.80– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 168+000– Aterro).

## 57. ESTACA KM 168+360 (ATERRO)

### 57.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 57.1.



**Figura 57.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 168+360 - Aterro).

**Tabela 57.1–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Areia agilo-siltosa	2-4	17	0	20	8000	0,3
B	Argila areno-siltosa	4-6	17	18	15	8000	0,35
C	Silte argiloso pouco arenoso	7-8	17	18	22	9000	0,3
D	Silte areno-argiloso	10-13	18	22	28	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

No Solo B ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 57.2.

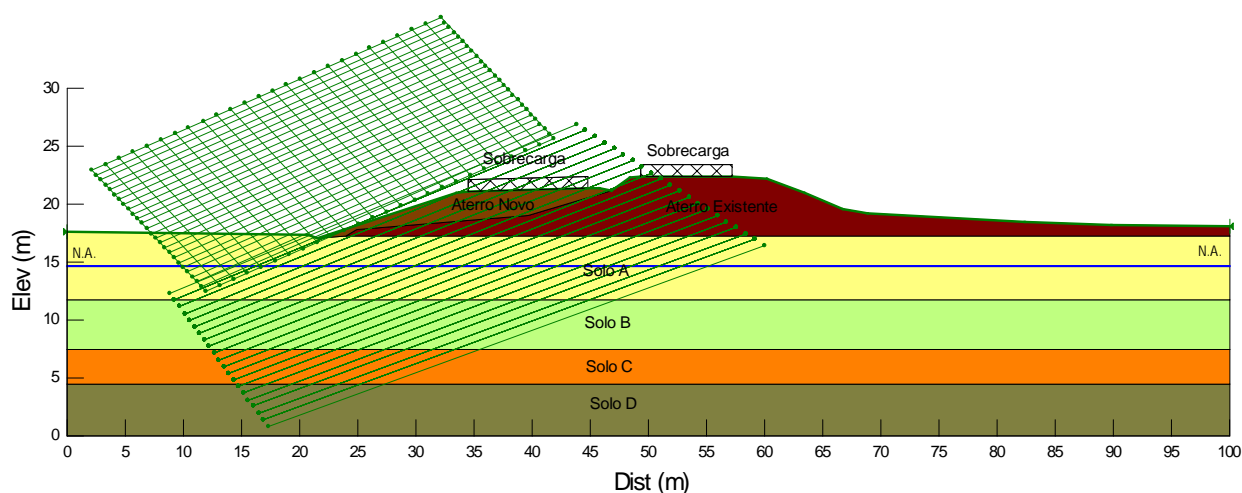
**Tabela 57.2 –** Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,15	0,015	20

Legenda: e<sub>0</sub> – índice de vazios inicial; C<sub>c</sub> – índice de compressão do solo; C<sub>r</sub> - índice de recompressão do solo; C<sub>v</sub> – Coeficiente de Adensamento Vertical.

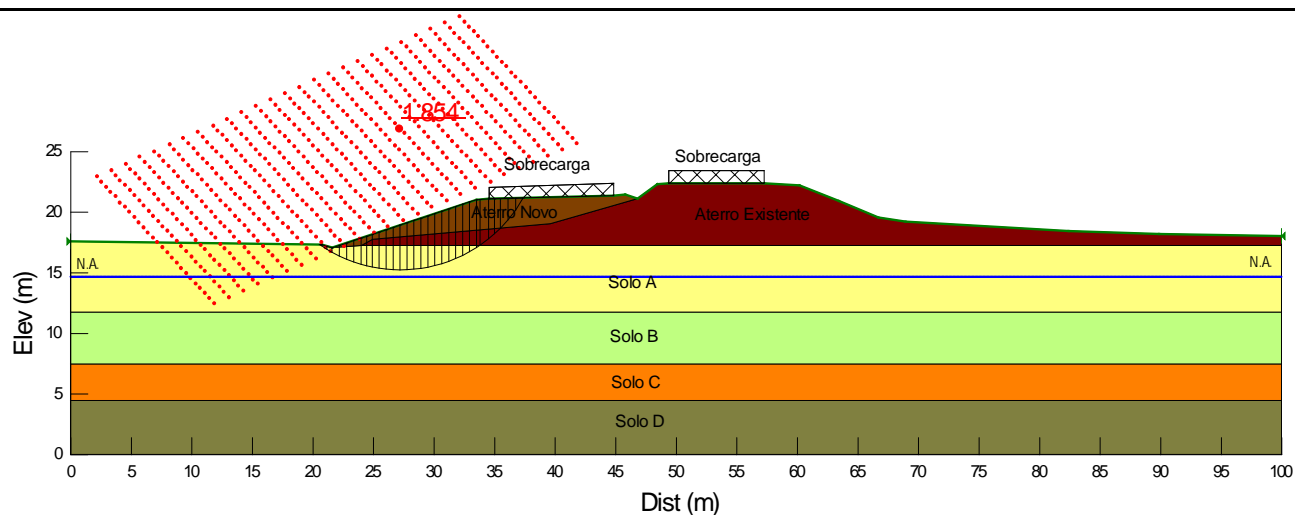
## 57.2 Análises de Estabilidade

A Figura 57.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 168+360.



**Figura 57.2 –** Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 168+360 - Aterro).

Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,854 > 1,5, como ilustrado na Figura 57.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.



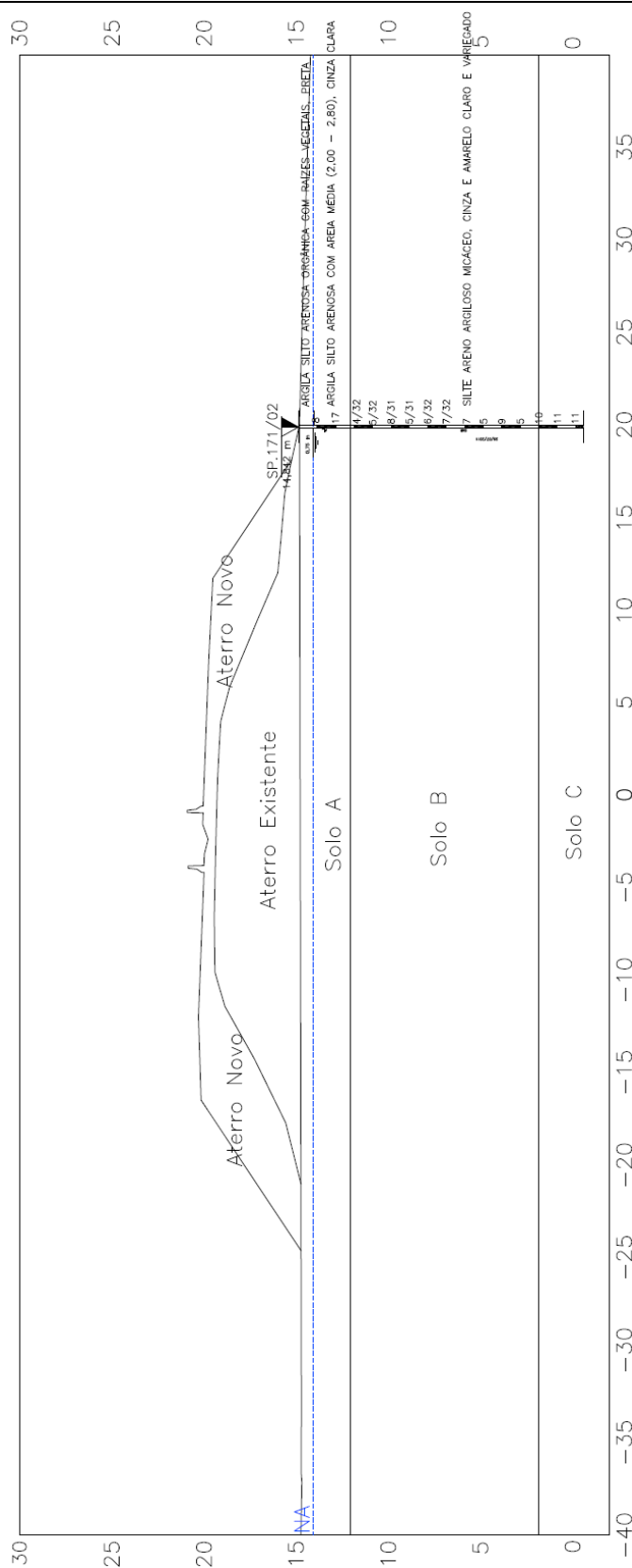
**Figura 57.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 168+360 – Aterro).

## 58. ESTACA KM 171+360 (ATERRO)

### 58.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 58.1.





**Figura 58.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 171+360 – Aterro).

**Tabela 58.1–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
A	Argila silto arenosa (orgânica)	8-17	18	18	15	8000	0,35
B	Silte areno-argiloso	4-9	18	15	25	9000	0,3
C	Silte areno-argiloso	10-11	18	20	28	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

No Solo A ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 58.2.

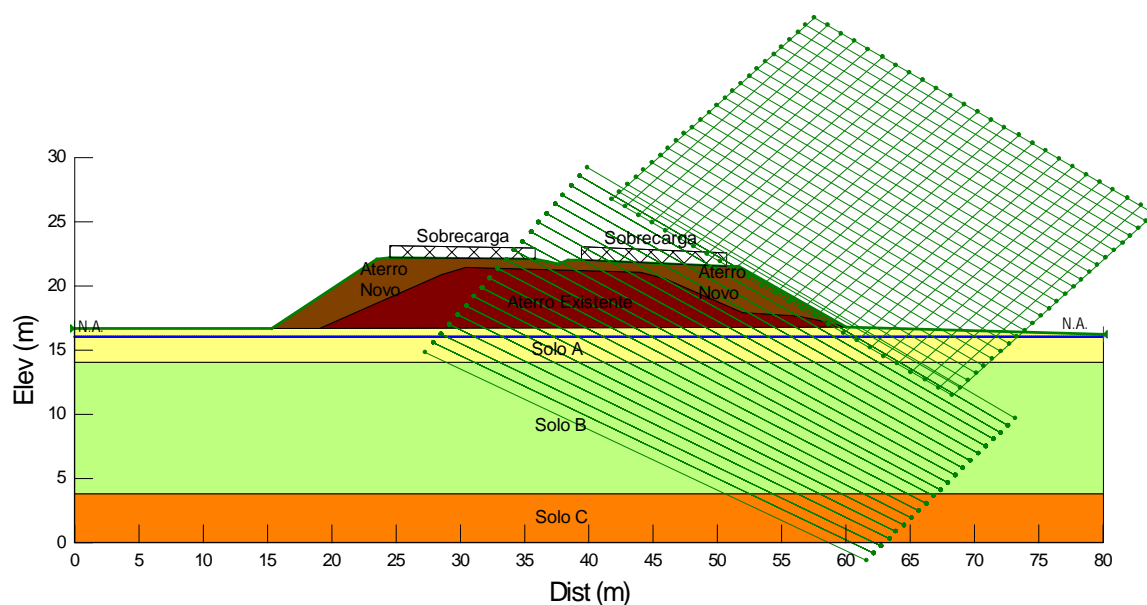
**Tabela 58.2 –** Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

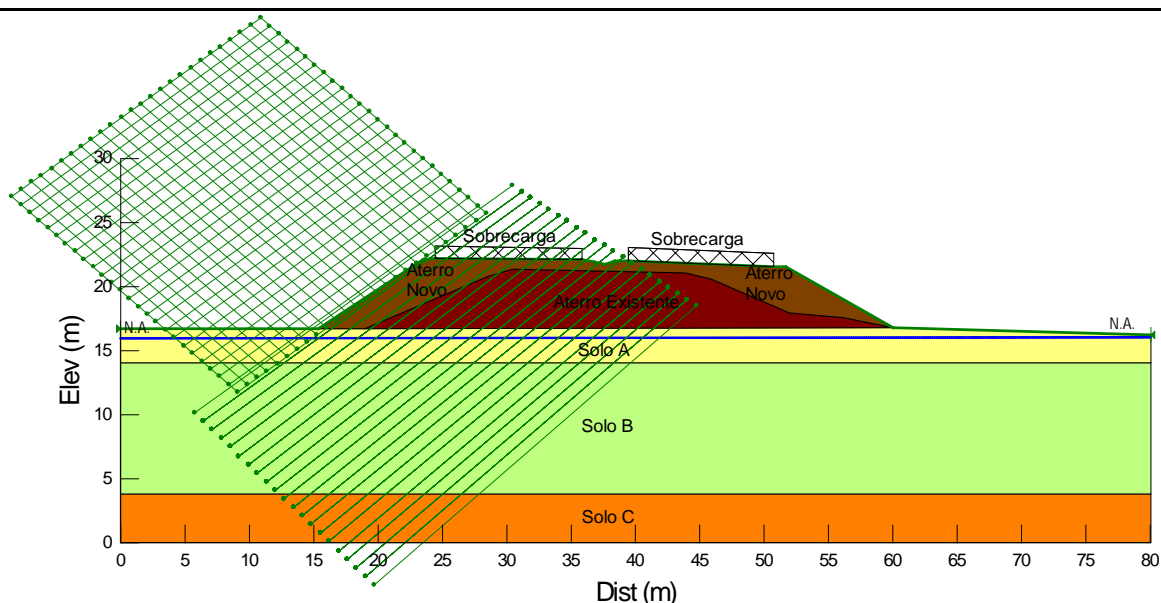
$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,15	0,015	20

Legenda: e<sub>0</sub> – índice de vazios inicial; C<sub>c</sub> – índice de compressão do solo; C<sub>r</sub> - índice de recompressão do solo; C<sub>v</sub> – Coeficiente de Adensamento Vertical.

## 58.2. Análises de Estabilidade

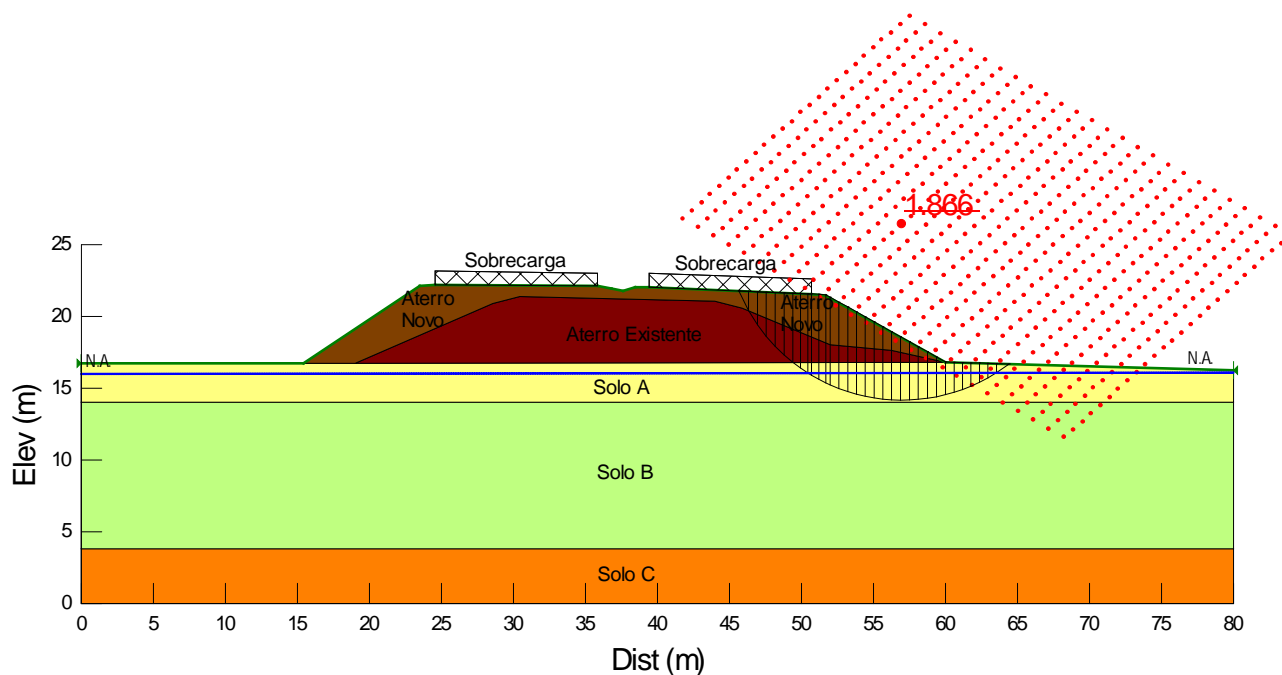
A Figura 58.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 171+360. Salienta-se que a análise da estabilidade foi conduzida para duas direções (esquerda e direita).

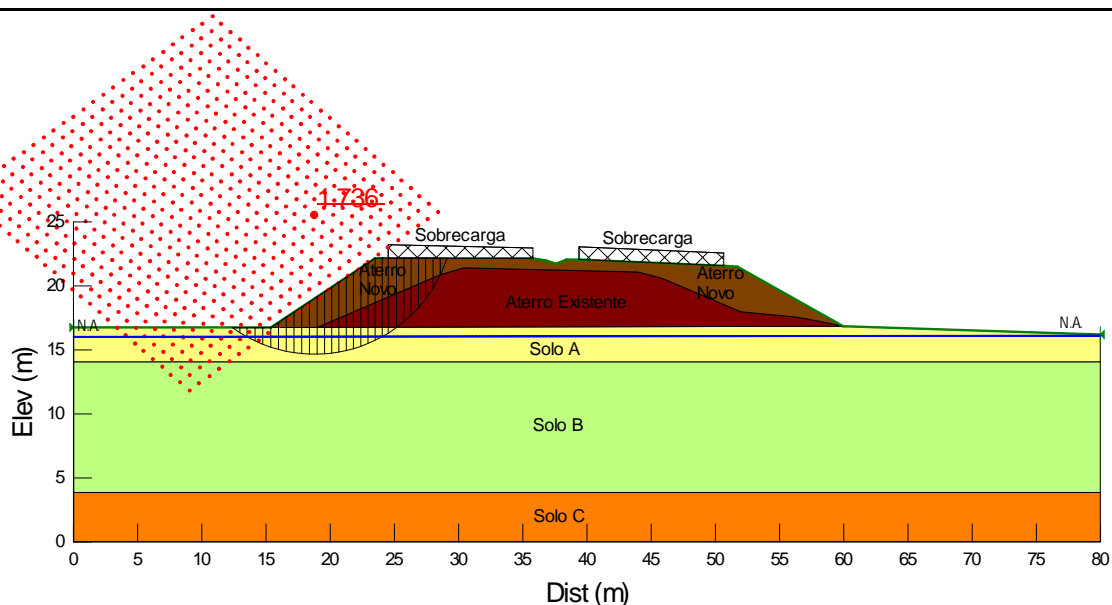




**Figura 58.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W para direita e para esquerda (Estaca km 171+360 – Aterro).

Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido no deslizamento para a direita foi de  $FS = 1,866 > 1,5$ , e para esquerda foi de  $FS = 1,736 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 58.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



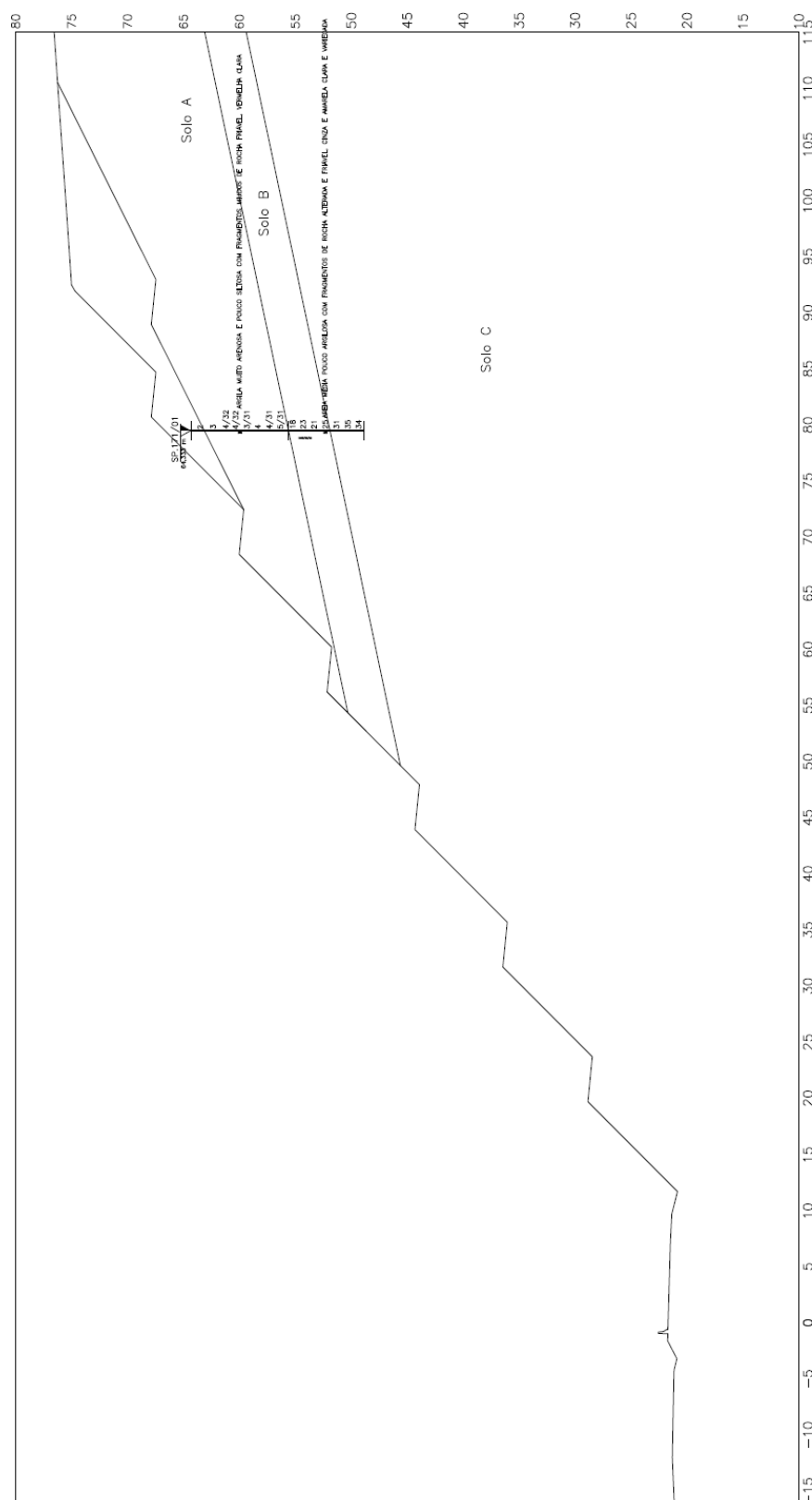


**Figura 58.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 171+360 – Aterro).

## 59. ESTACA KM 171+700 (CORTE)

### 59.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 59.1.



**Figura 59.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 171+700 – Corte).

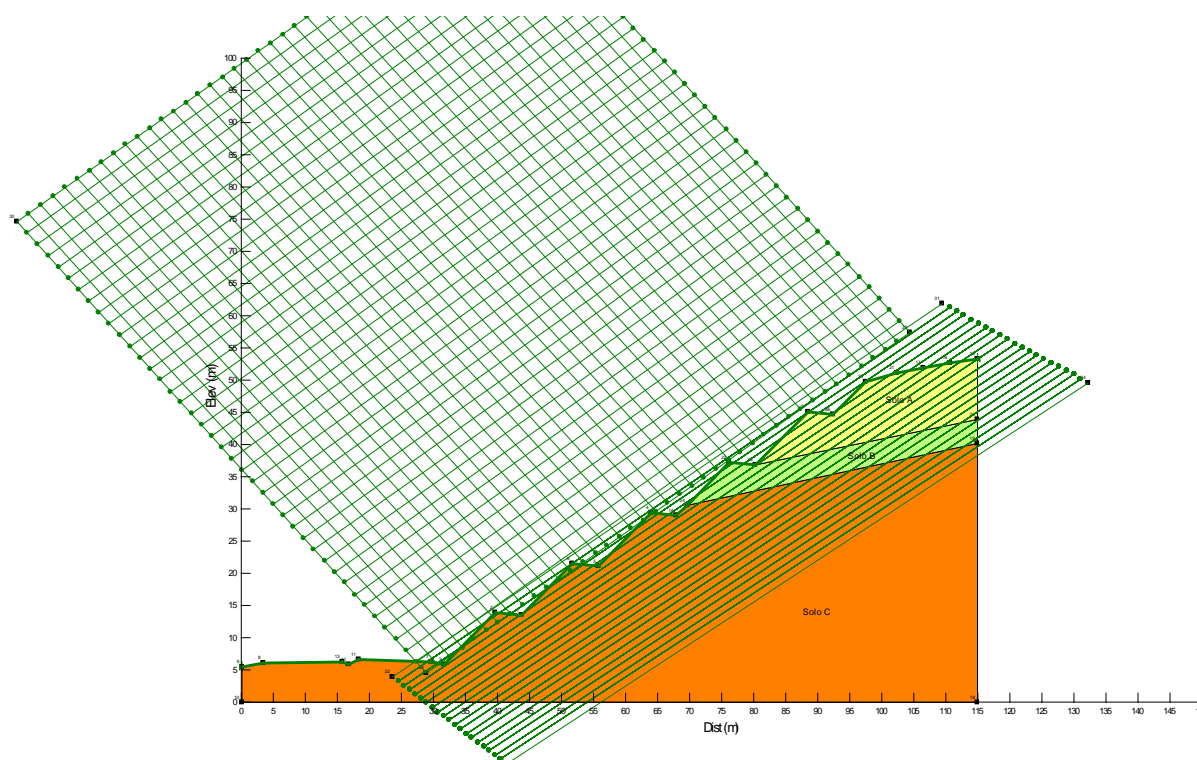
**Tabela 59.1–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila muito arenosa pouco siltosa	2-5	17	15	20
B	Areia média pouco argilosa com fragmentos de rocha	18-25	18	15	30
C	Areia média pouco argilosa com fragmentos de rocha	31-35	19	20	35
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

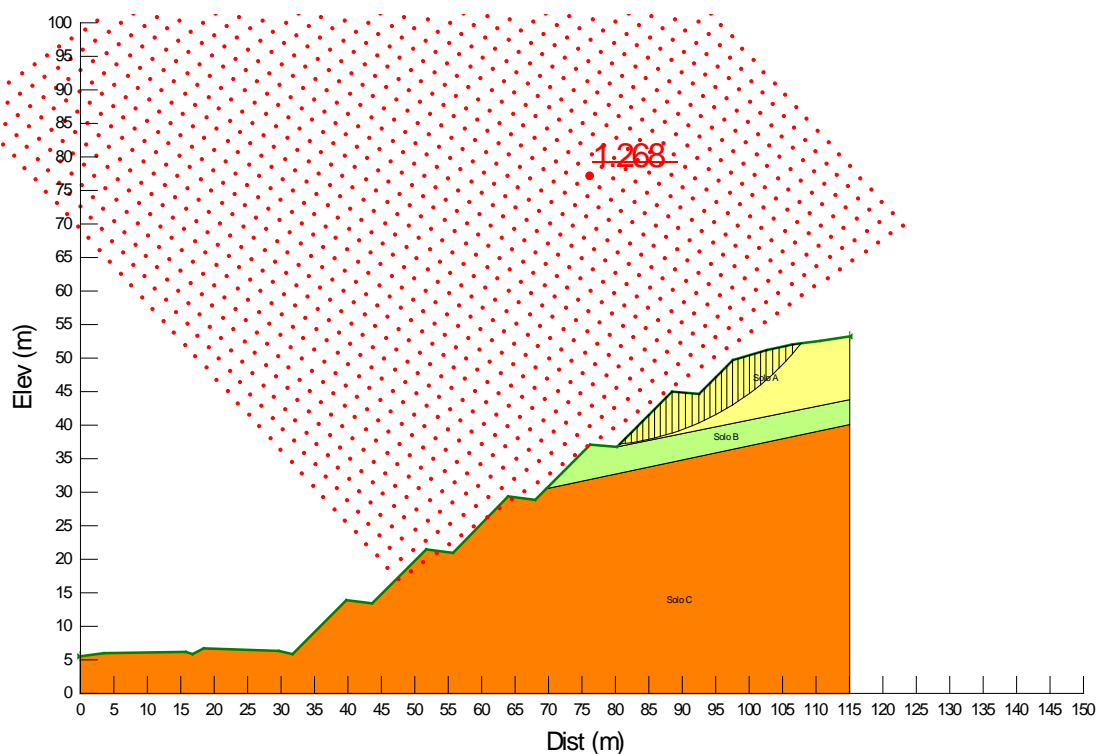
### 59.1. Análises de Estabilidade

A Figura 59.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 171+700.



**Figura 59.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 171+700 - Corte).

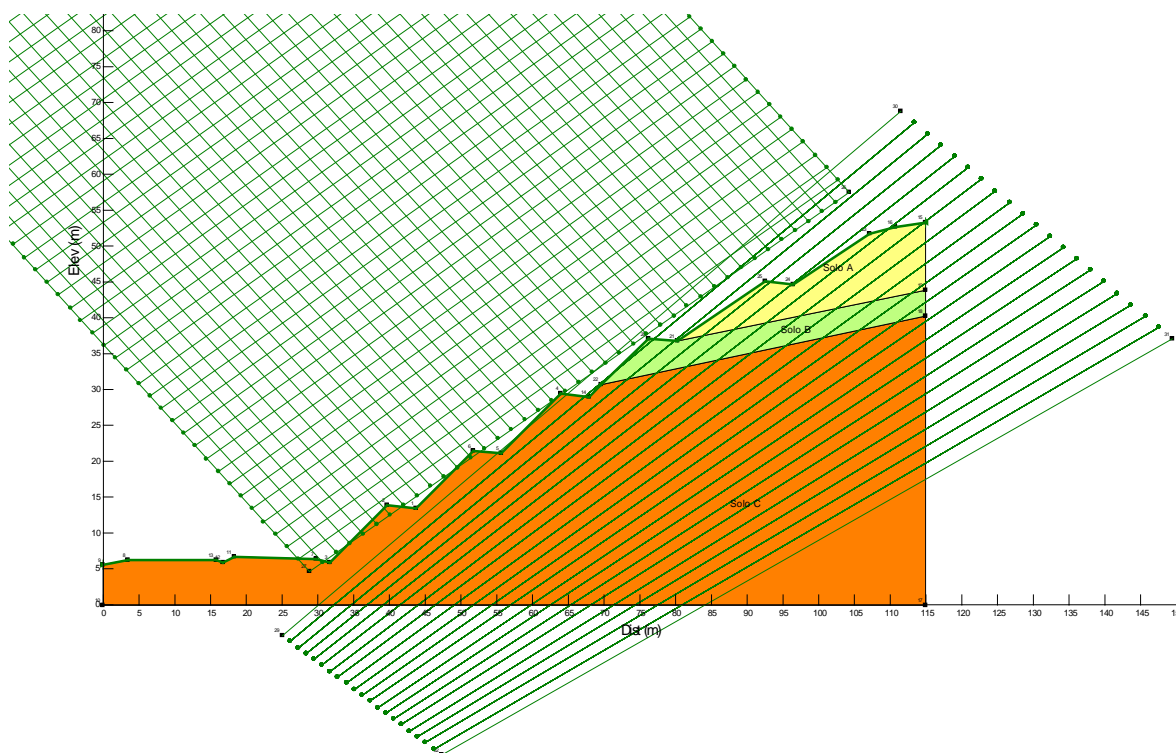
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,268 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 59.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 59.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 176+000 - Corte).

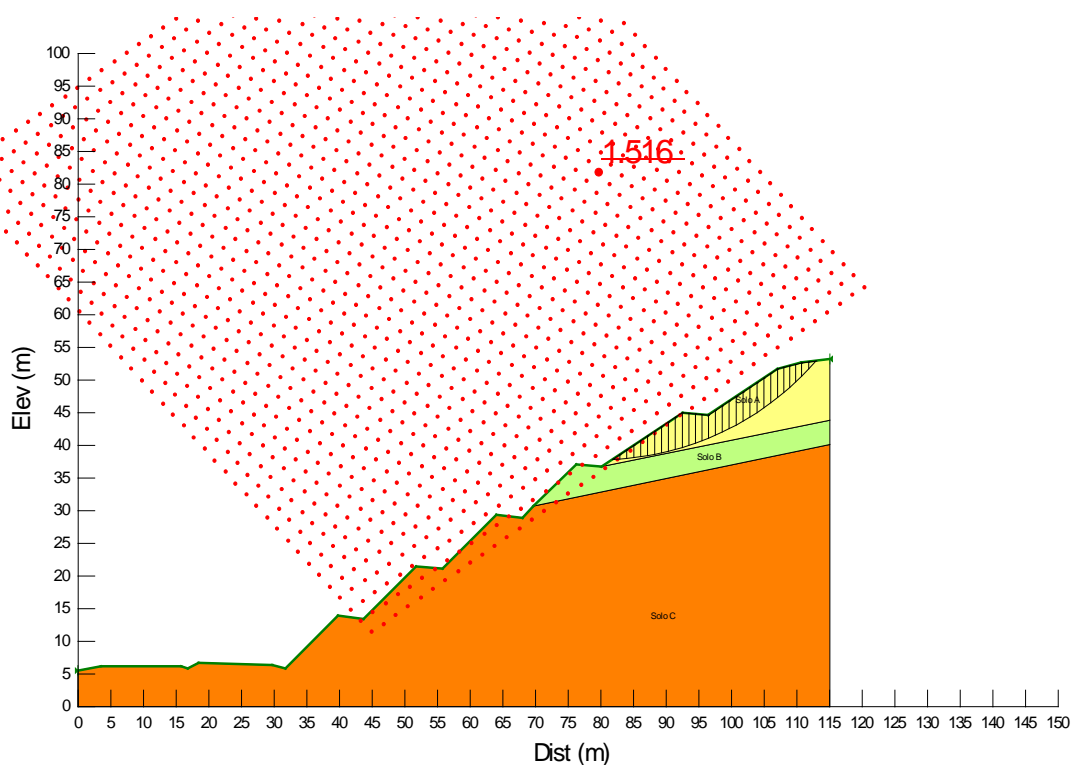
### Utilização de talude abatido

A Figura 59.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos dois lances superiores do corte (1.5:1, H:V).



**Figura 59.4** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 171+700 - Corte).

A Figura 59.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



**Figura 59.5** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 171+700 - Corte, Taludes abatidos).

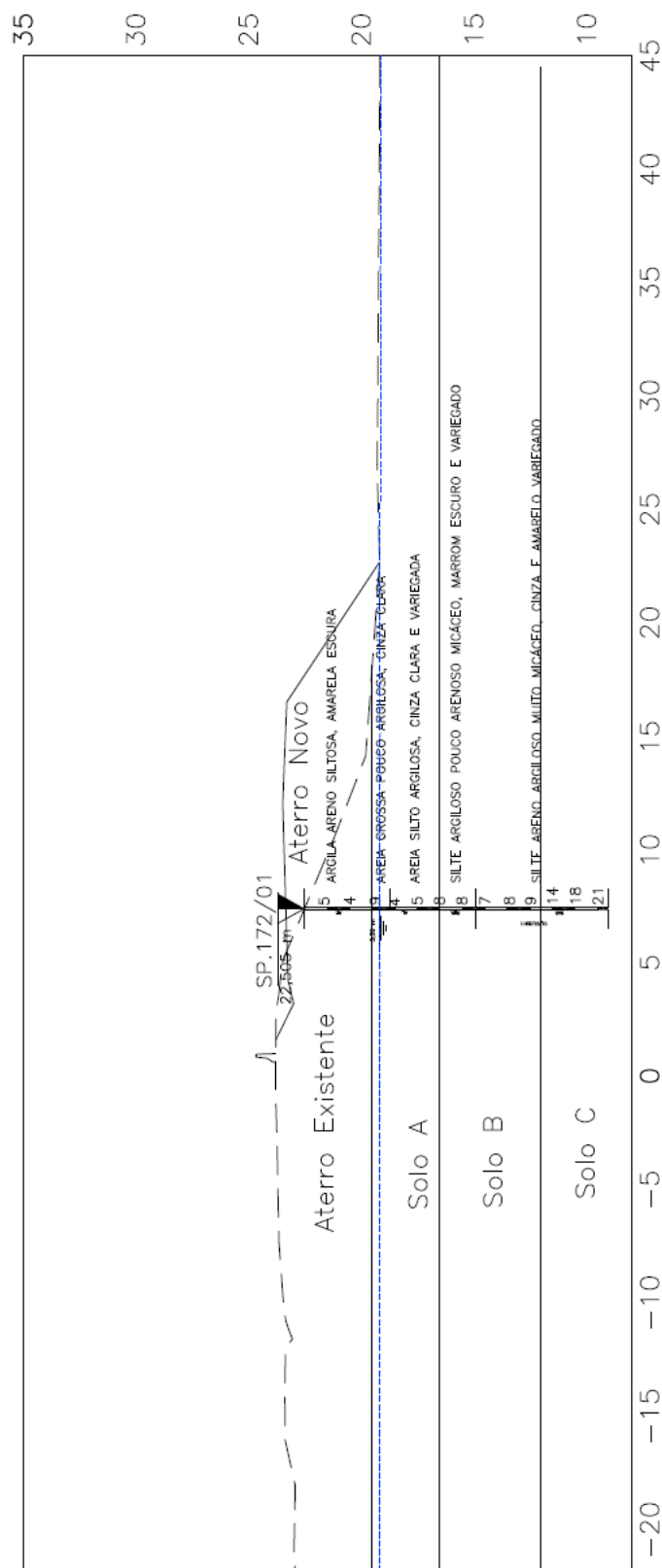
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,516$ , como ilustrado na Figura 59.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

## 60. ESTACA KM 172+580 (ATERRO)

### 60.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 60.1.





**Figura 60.6**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 172+580 – Aterro).

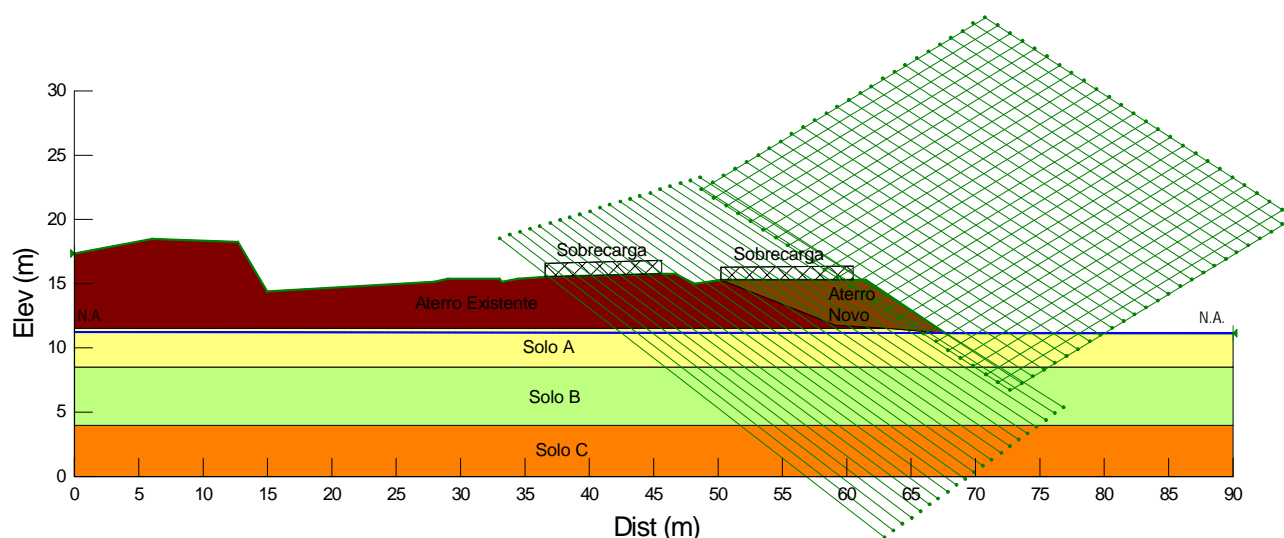
**Tabela 60.2 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Areia silto argilosa	4-5	17	5	22	8000	0,3
B	Silte areno-argiloso	7-9	18	18	25	9000	0,3
C	Silte areno-argiloso	14-21	18	22	28	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

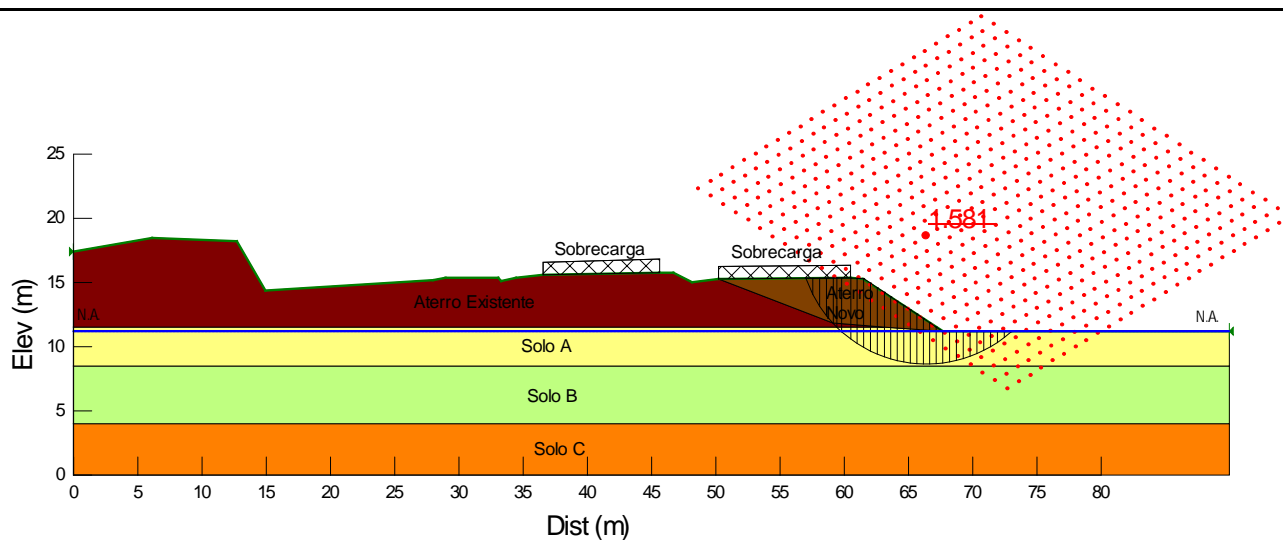
## 60.2. Análises de Estabilidade

A Figura 60.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 172+580.



**Figura 60.7 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 172+580 – Aterro).**

Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,581 < 1,5, como ilustrado na Figura 60.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

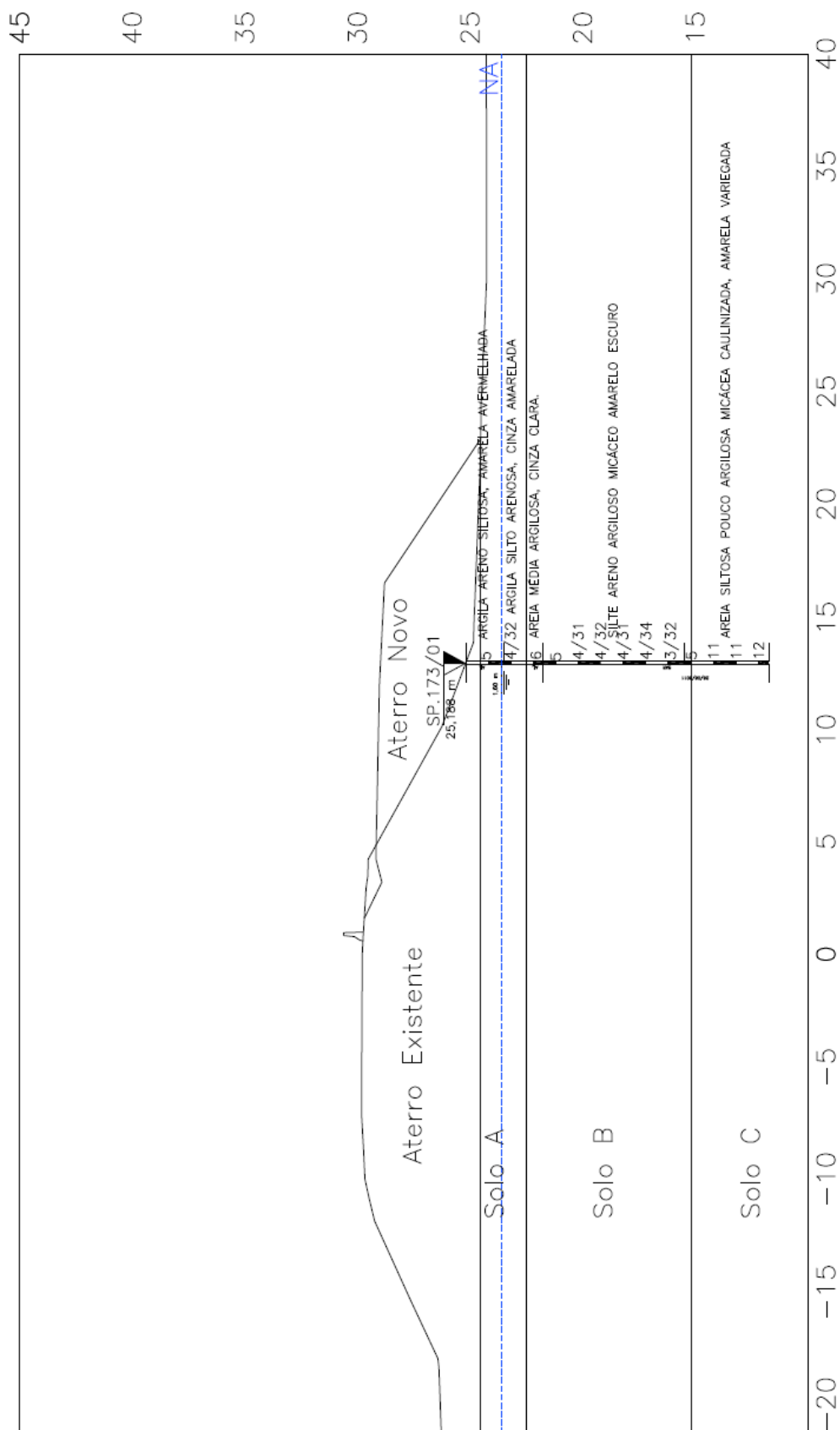


**Figura 60.8**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 172+580 – Aterro)

## 61. ESTACA KM 173+200 (ATERRO)

### 61.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 61.1.



**Figura 61.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 173+200 – Aterro).

**Tabela 61.1 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila silto-arenosa	4-5	17	15	15	7000	0,35
B	Silte areno-argiloso	3-6	17	15	20	8000	0,35
C	Areia siltosa pouco argilos	11-12	18	10	28	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

No Solo A ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 61.2.

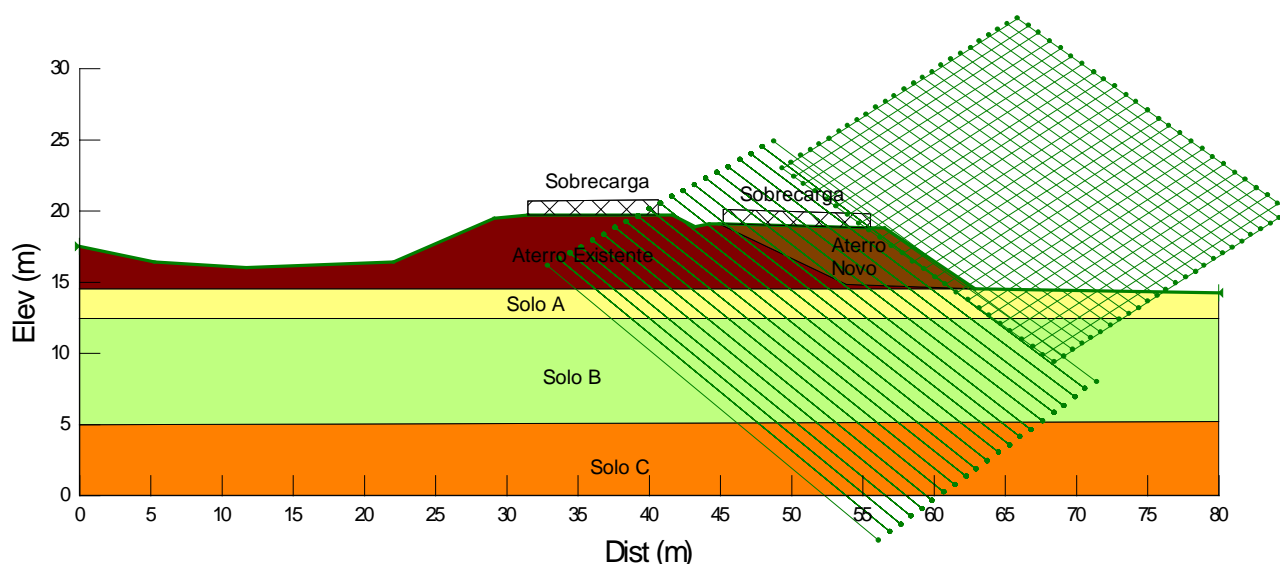
**Tabela 61.2 – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.**

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,15	0,015	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

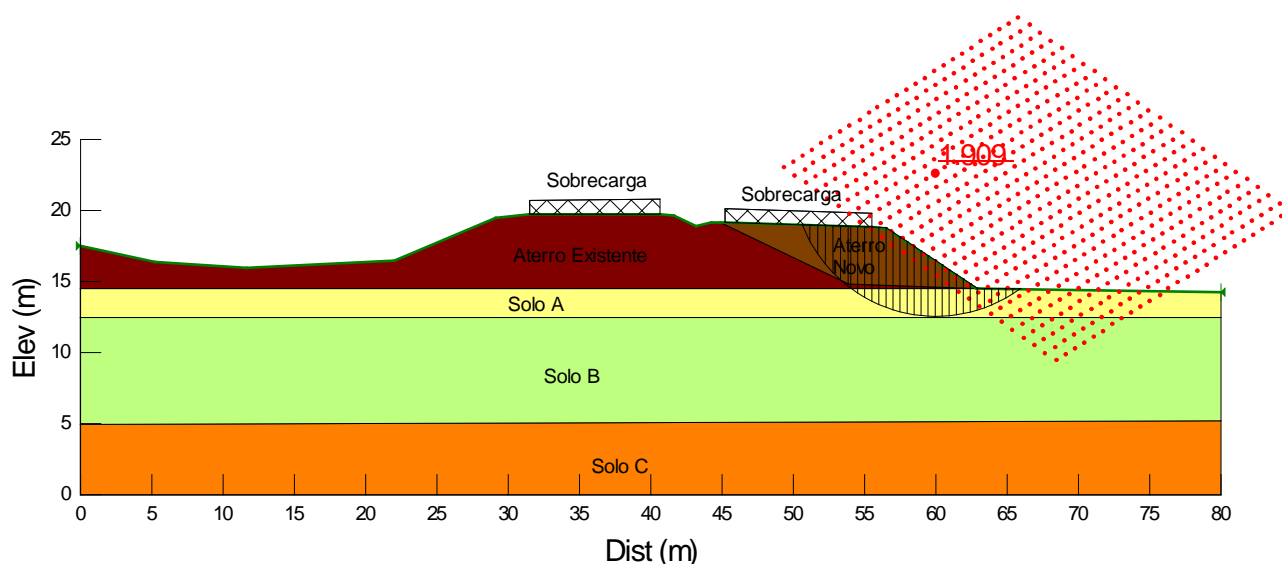
## 61.2. Análises de Estabilidade

A Figura 61.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 173+200.



**Figura 61.2 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 173+200– Aterro).**

Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,909 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 61.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica.

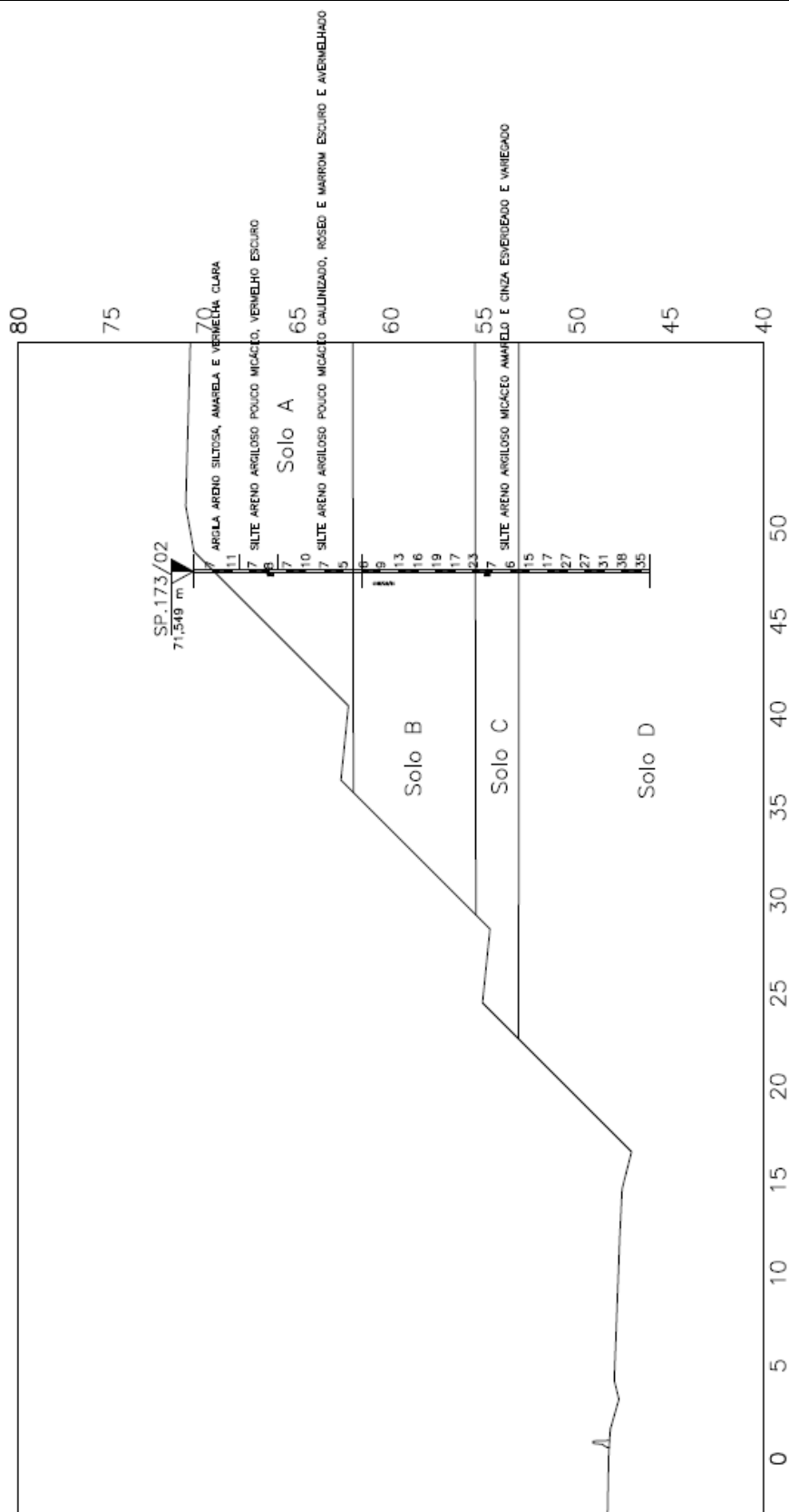


**Figura 61.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Estaca km 173+200– Aterro).

## 62. ESTACA KM 173+920 (CORTE)

### 62.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 62.1.



**Figura 62.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 173+920 - Corte).

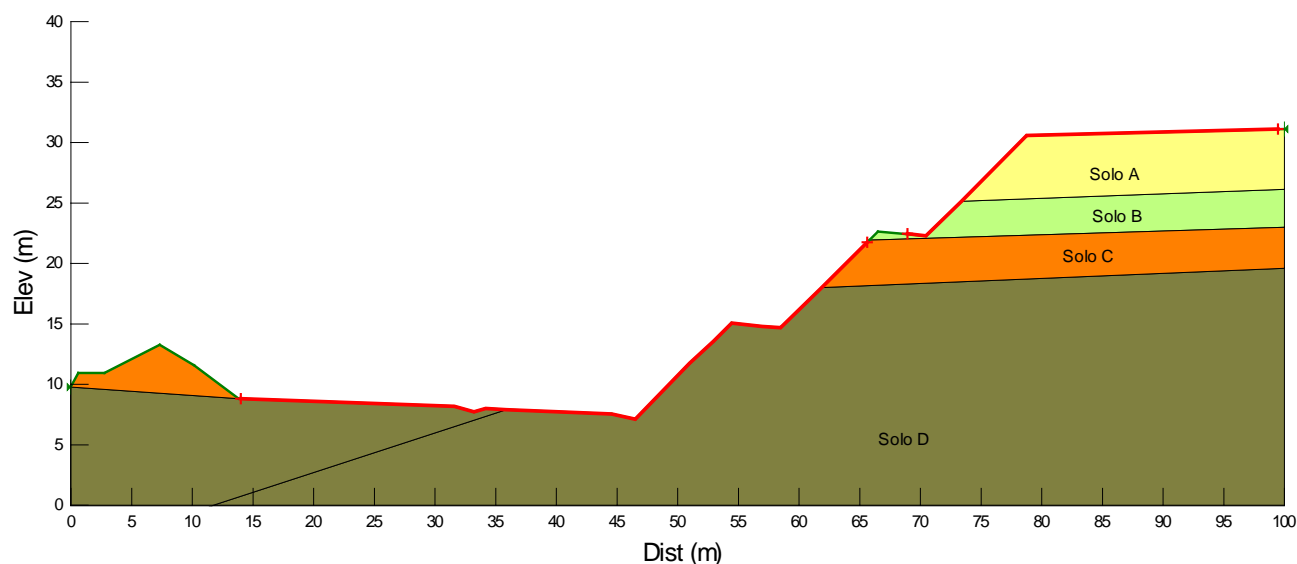
**Tabela 62.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Silte areno-argiloso	5-11	17	18	25
B	Silte areno-argiloso	9-17	18	20	28
C	Silte areno-argiloso	6-7	17	18	25
D	Silte areno-argiloso	15-38	18	20	30
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 62.2. Análises de Estabilidade

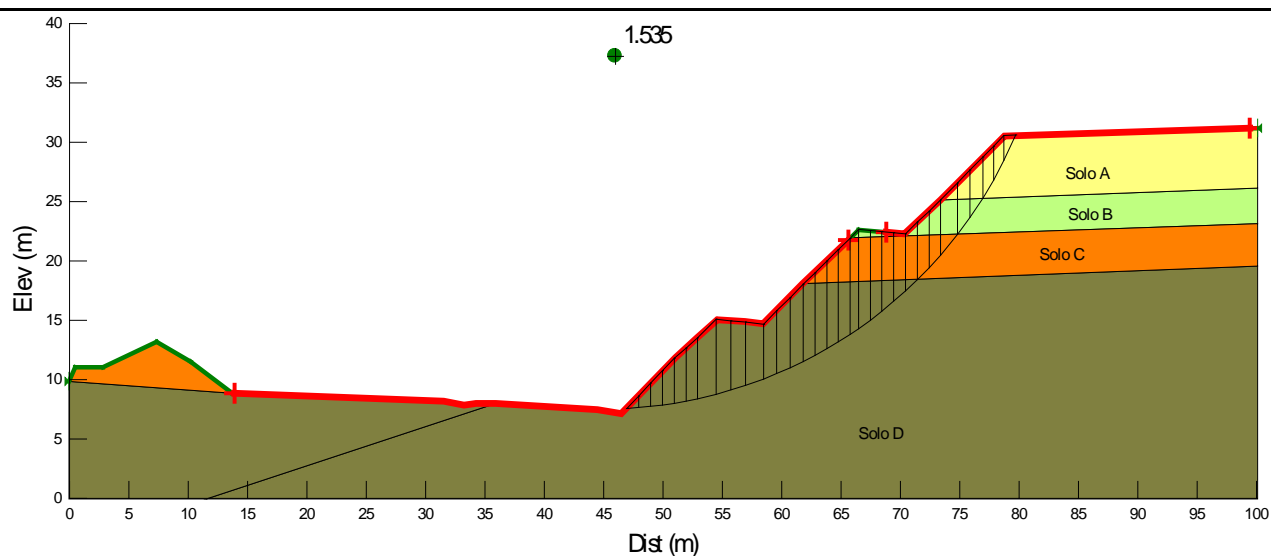
A Figura 62.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 173+920.



**Figura 62.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 173+920 - Corte).

Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,600 < 1,5, como ilustrado na Figura 62.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrica.



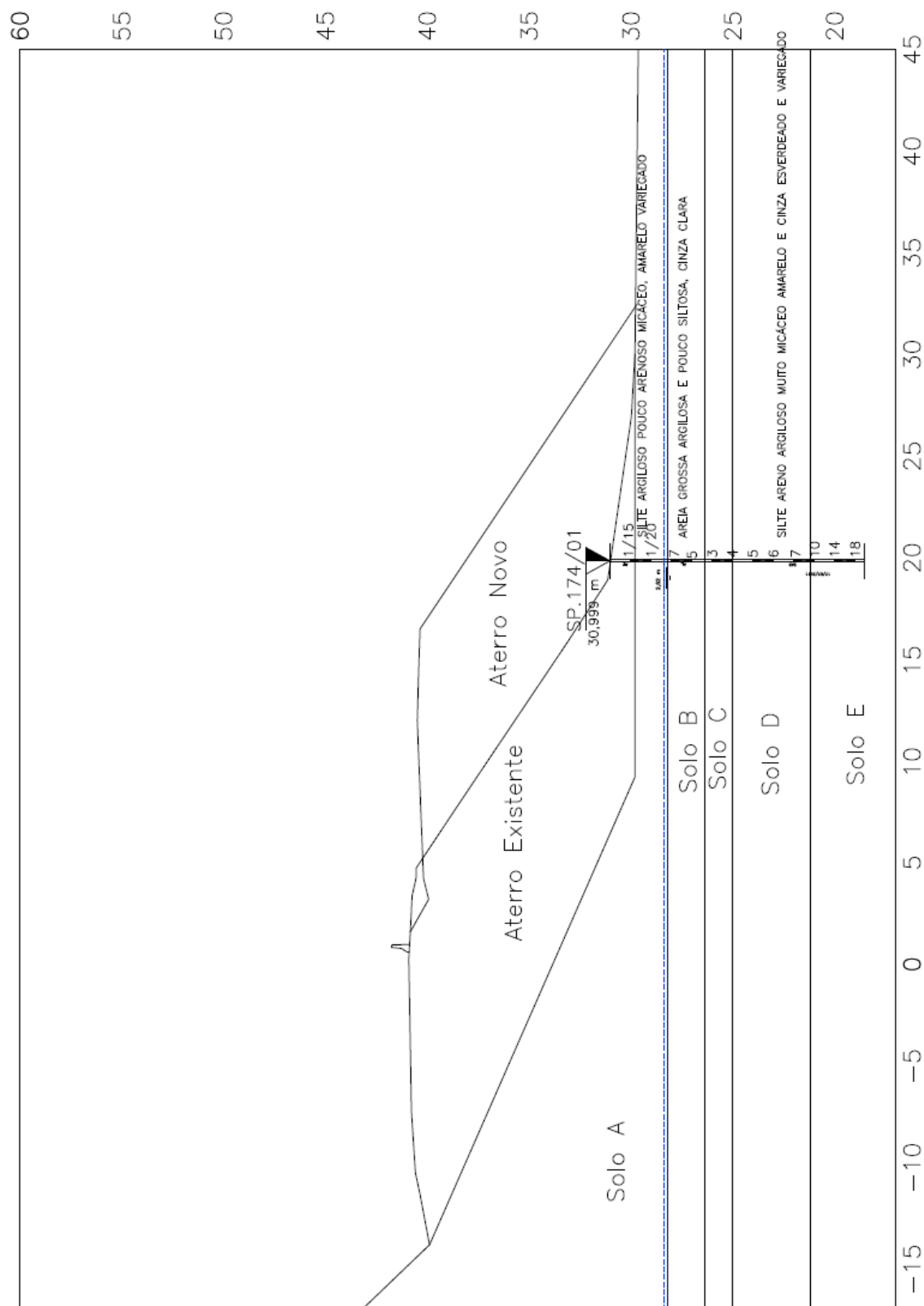


**Figura 62.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 173+920 - Corte).

### 63. ESTACA KM 174+160 (ATERRO)

#### 63.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 63.1.



**Figura63.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 174+160– Aterro).

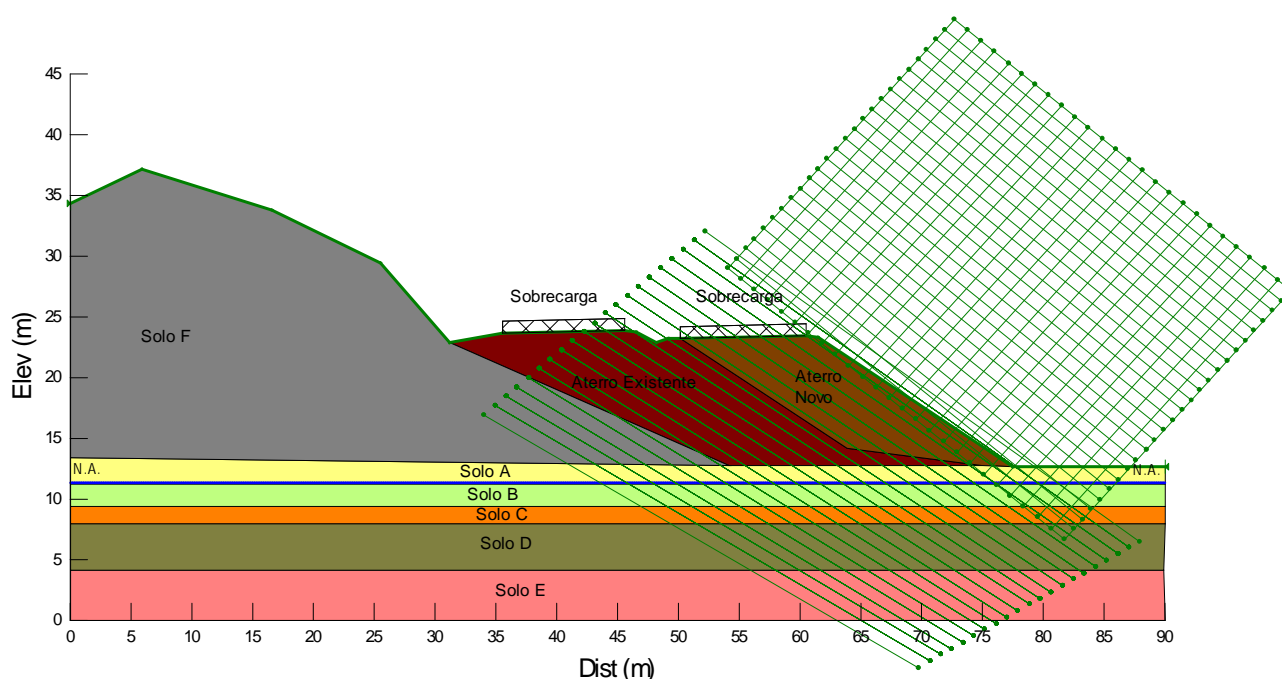
**Tabela 63.1 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Silte argiloso pouco arenoso	1-2	16	15	15	7000	0,35
B	Areia grossa argilosa	5-7	17	10	25	8000	0,3
C	Silte areno-argiloso	3-4	17	15	20	8000	0,3
D	Silte areno-argiloso	5-7	17	18	22	8000	0,3
E	Silte areno-argiloso	10-18	18	20	28	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

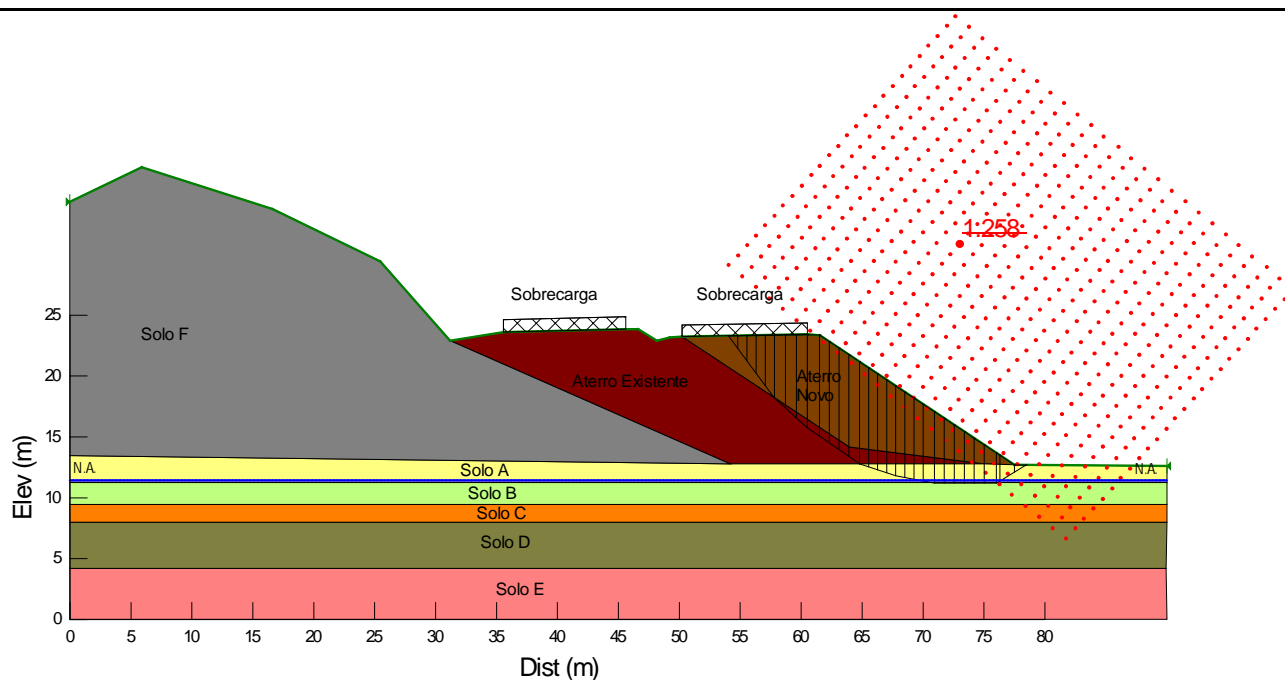
### 63.2. Análises de Estabilidade

A Figura 63.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 174+160.



**Figura 63.2 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 174+160– Aterro).**

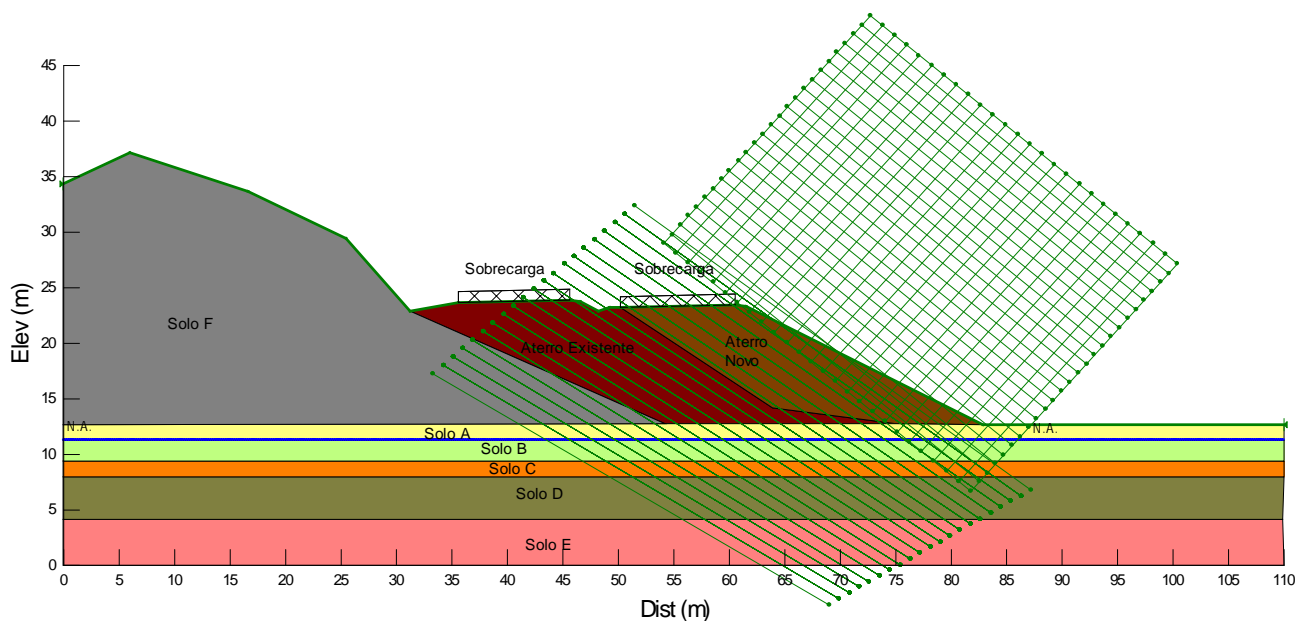
Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,258 < 1,5, como ilustrado na Figura 63.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura63.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 174+160– Aterro).

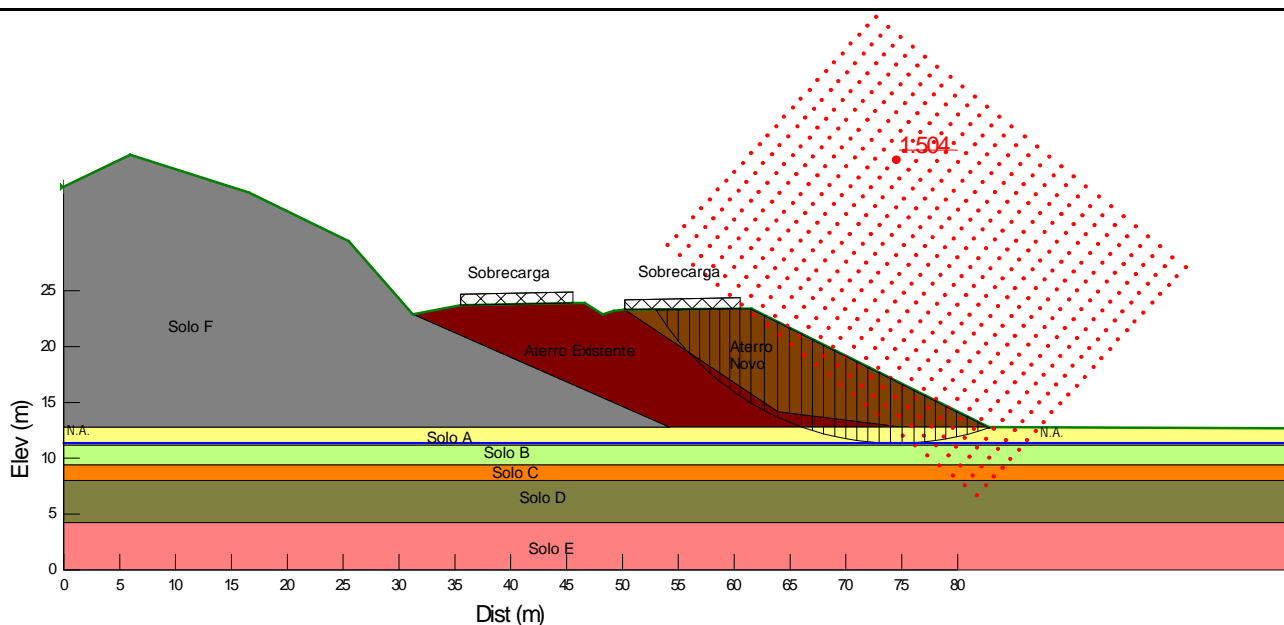
### Utilização de Talude abatido

A Figura 63.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de taludes com inclinação 2,0:1 (H:V).



**Figura63.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 174+160– Talude abatido).

A Figura 63.5apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

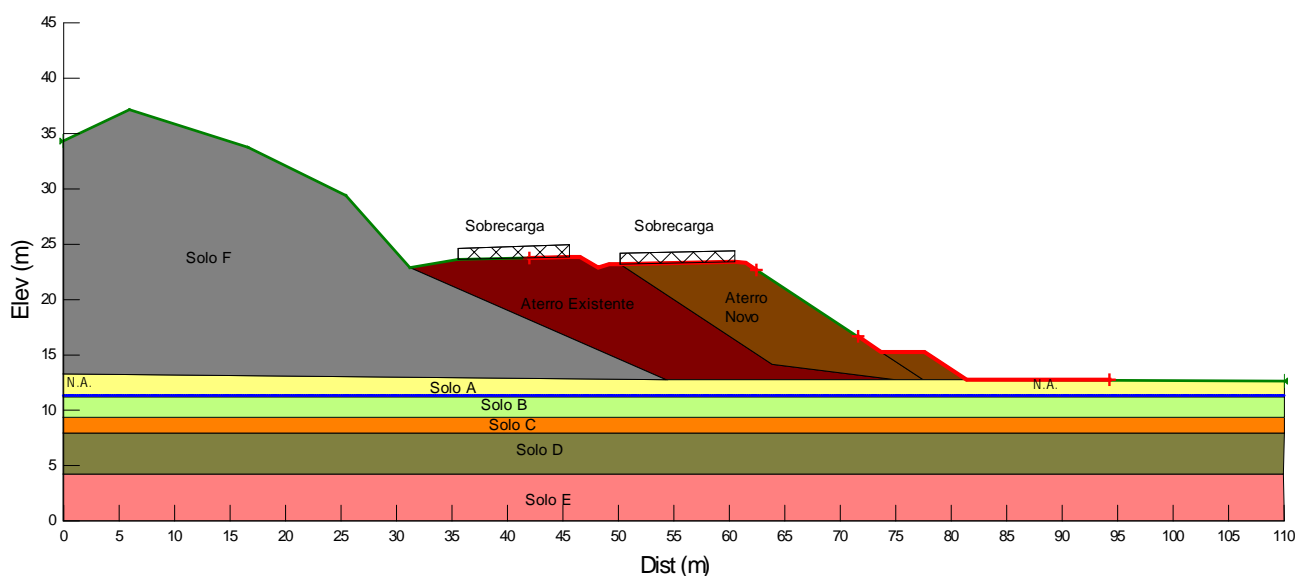


**Figura 63.5** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 174+160– Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,504 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 63.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de talude com inclinação 2:1 (H:V) apresenta estabilidade satisfatória.

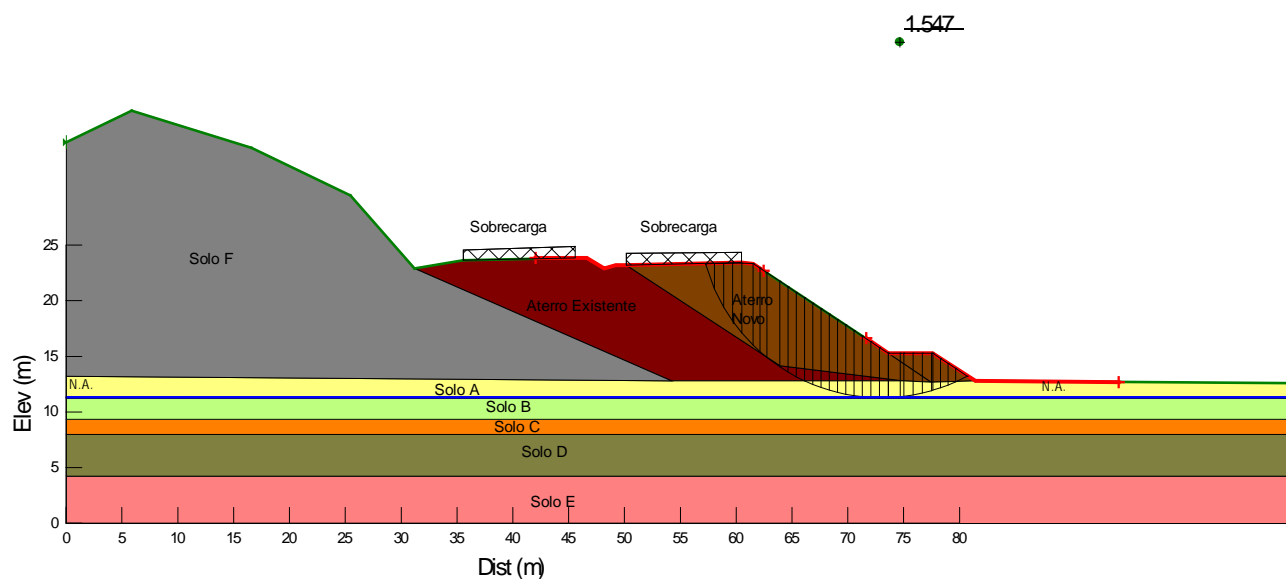
#### **Utilização de berma de equilíbrio**

A Figura 63.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio ( $L = 4,0$  m;  $h = 2,5$  m).



**Figura 63.6** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 174+160 – Berma de equilíbrio).

A Figura 63.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



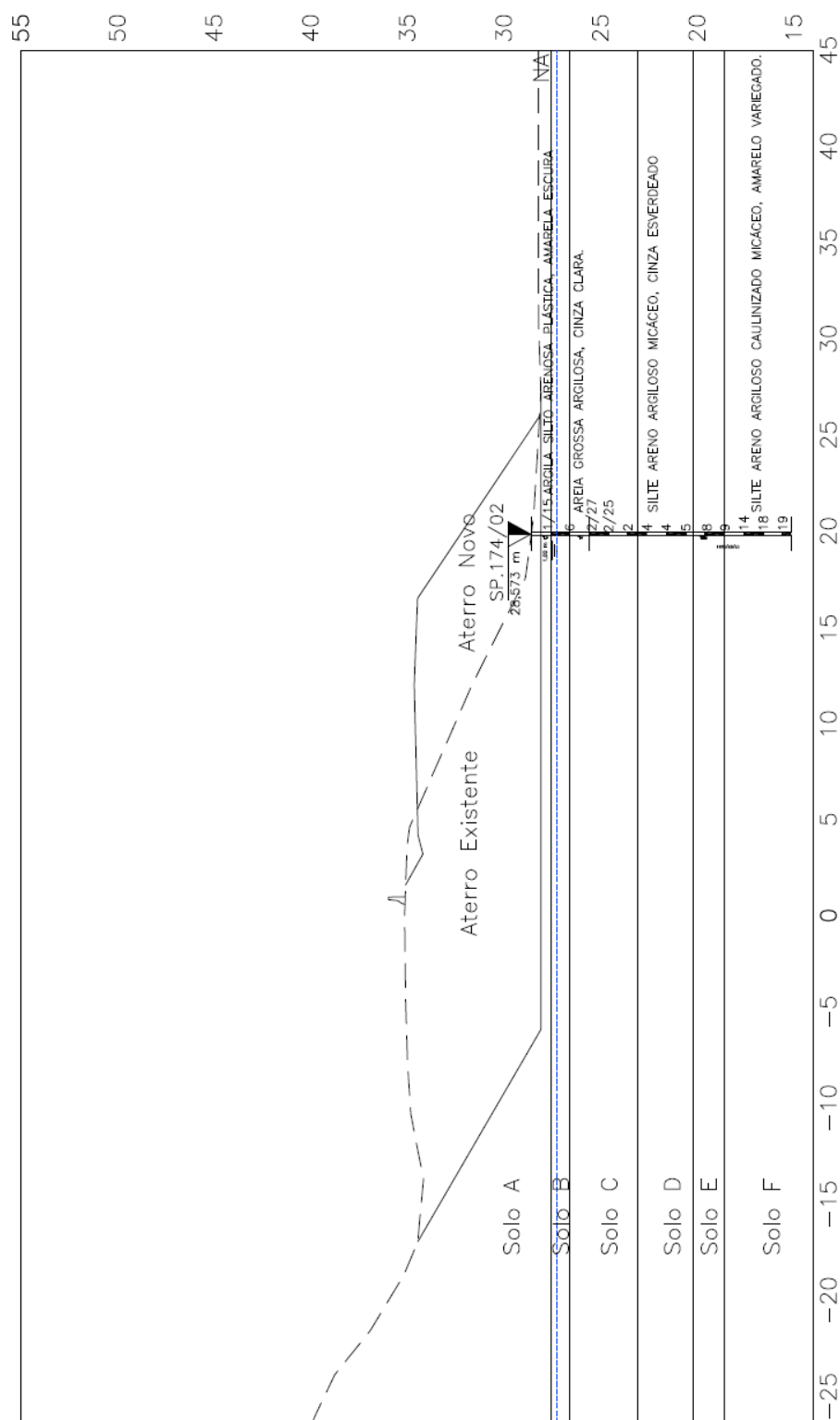
**Figura 63.7** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 174+160 – Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,547 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 63.7. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória.

## 64. ESTACA KM 174+380 (ATERRO)

### 64.1 Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 64.1.



**Figura 64.8**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 174+380– Aterro).

**Tabela 64.2–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila silto-arenosa plástica	1/15	16	15	15	2000	0,4
B	Argila silto-arenosa plástica	6	16	15	15	2000	0,4
C	Areia grossa + Silte areno-argiloso	2-2/25	16	0	22	7000	0,35
D	Silte areno-argiloso	4-5	17	15	22	8000	0,35
E	Silte areno-argiloso	8-9	17	18	25	9000	0,3
F	Silte areno-argiloso	14-19	18	20	28	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson

Nos Solos A e B ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 64.2.

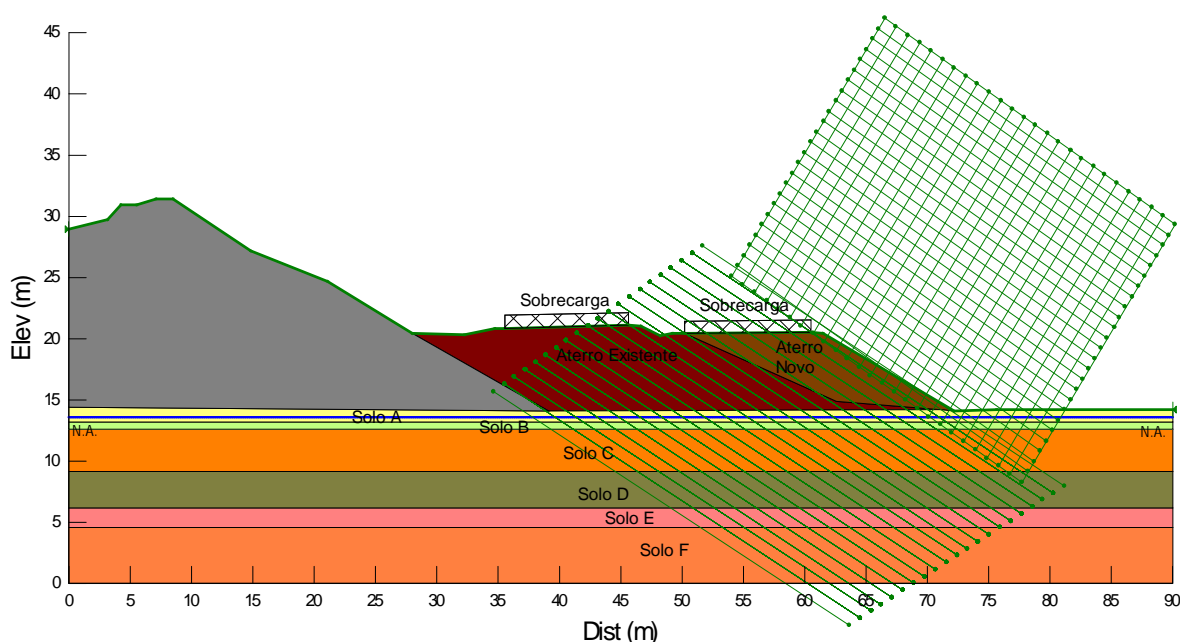
**Tabela 64.3 –** Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,15	0,015	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

#### 64.2. Análises de Estabilidade

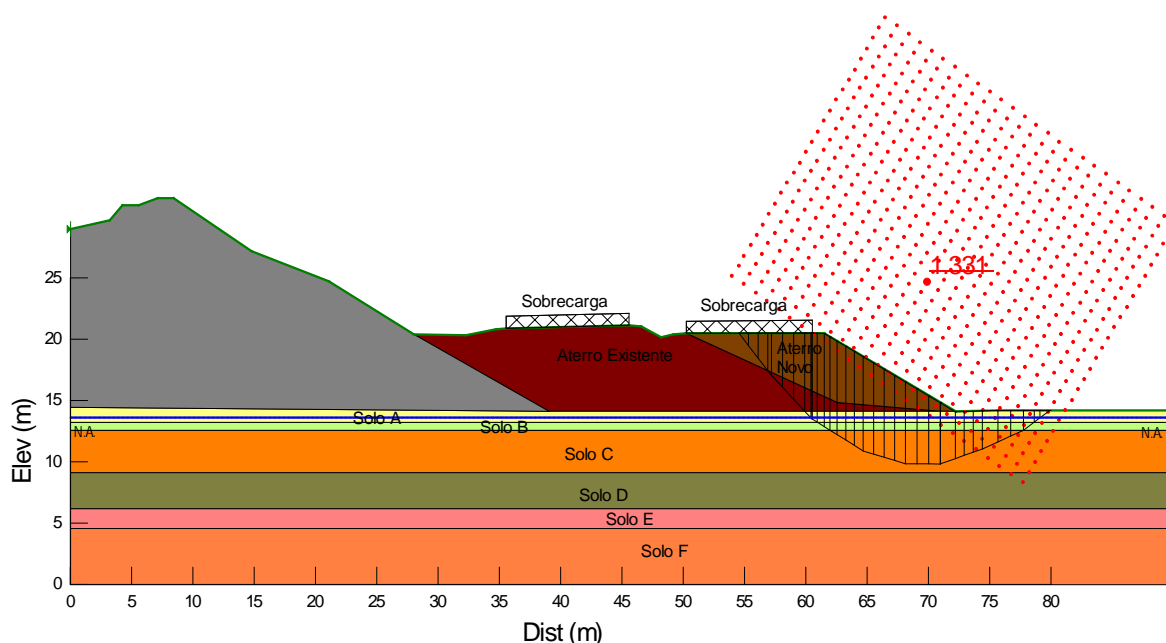
A Figura 64.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 174+380.



**Figura 64.9 –** Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 174+380– Aterro).



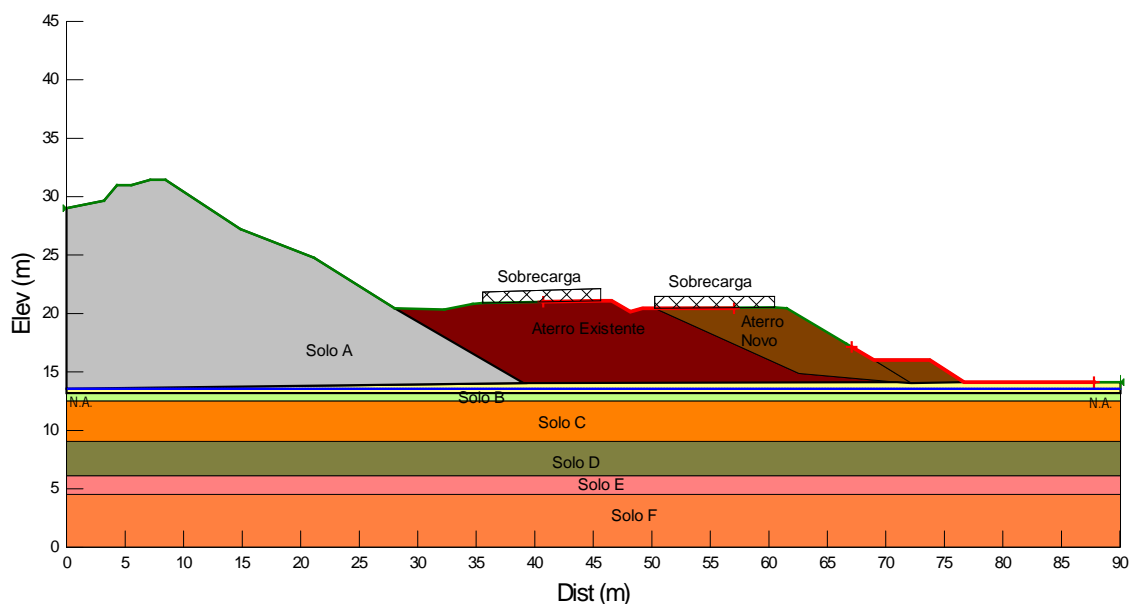
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,331 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 64.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 64.10**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 160+300– Aterro).

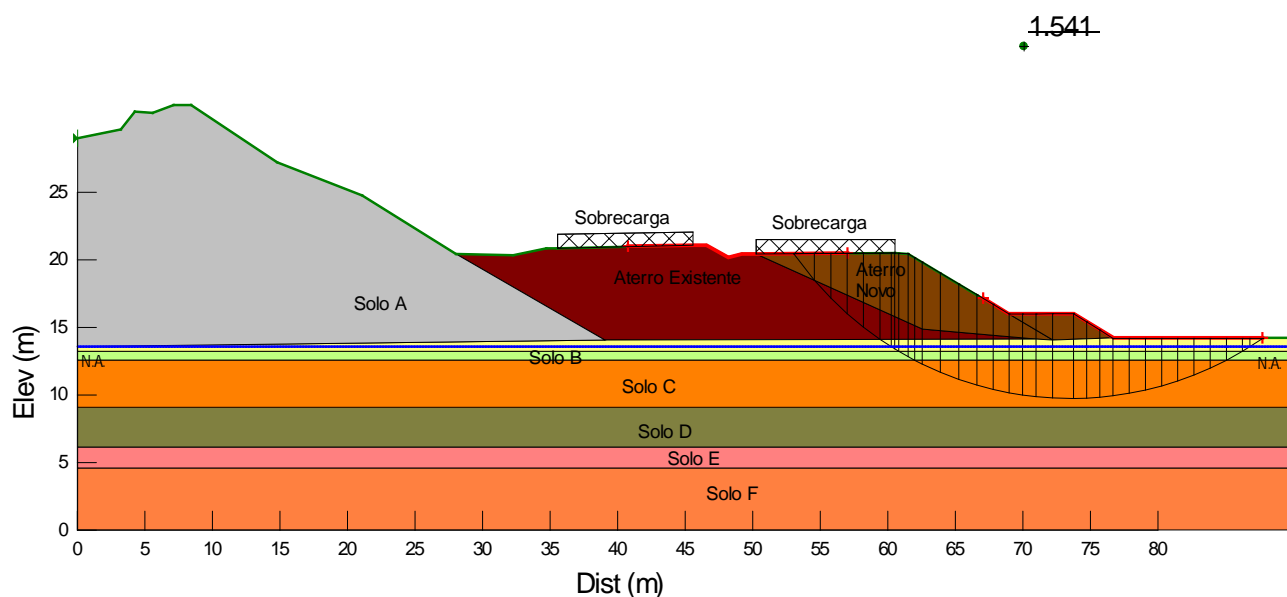
### **Utilização de Berma de Equilíbrio**

A Figura 64.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,5 m de altura e 5,0 m de largura.



**Figura 64.11** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 174+380– Berma de equilíbrio).

A Figura 64.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

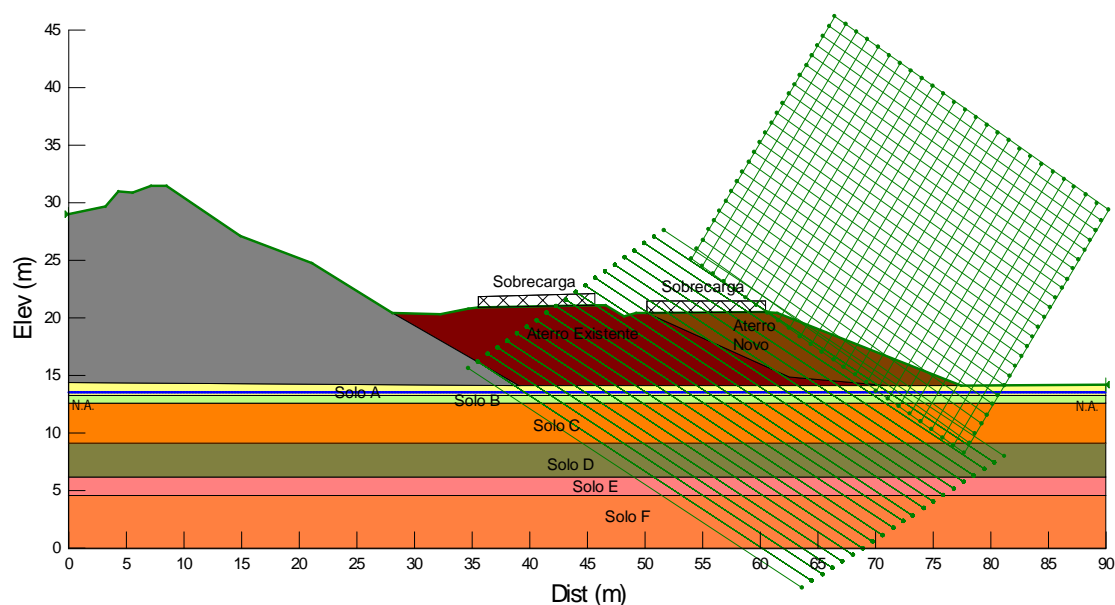


**Figura 64.12** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 174+380 – Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,541 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 64.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória.

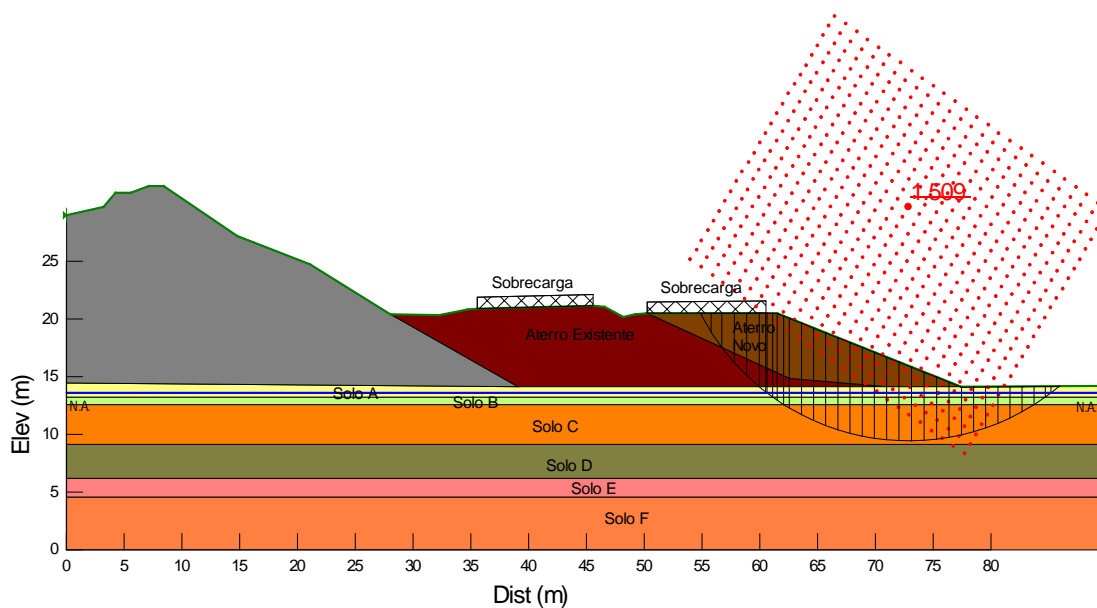
### Utilização de talude abatido

A Figura 64.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido (2,5:1, H:V).



**Figura 64.13** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 174+380 – Aterro).

A Figura 64.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



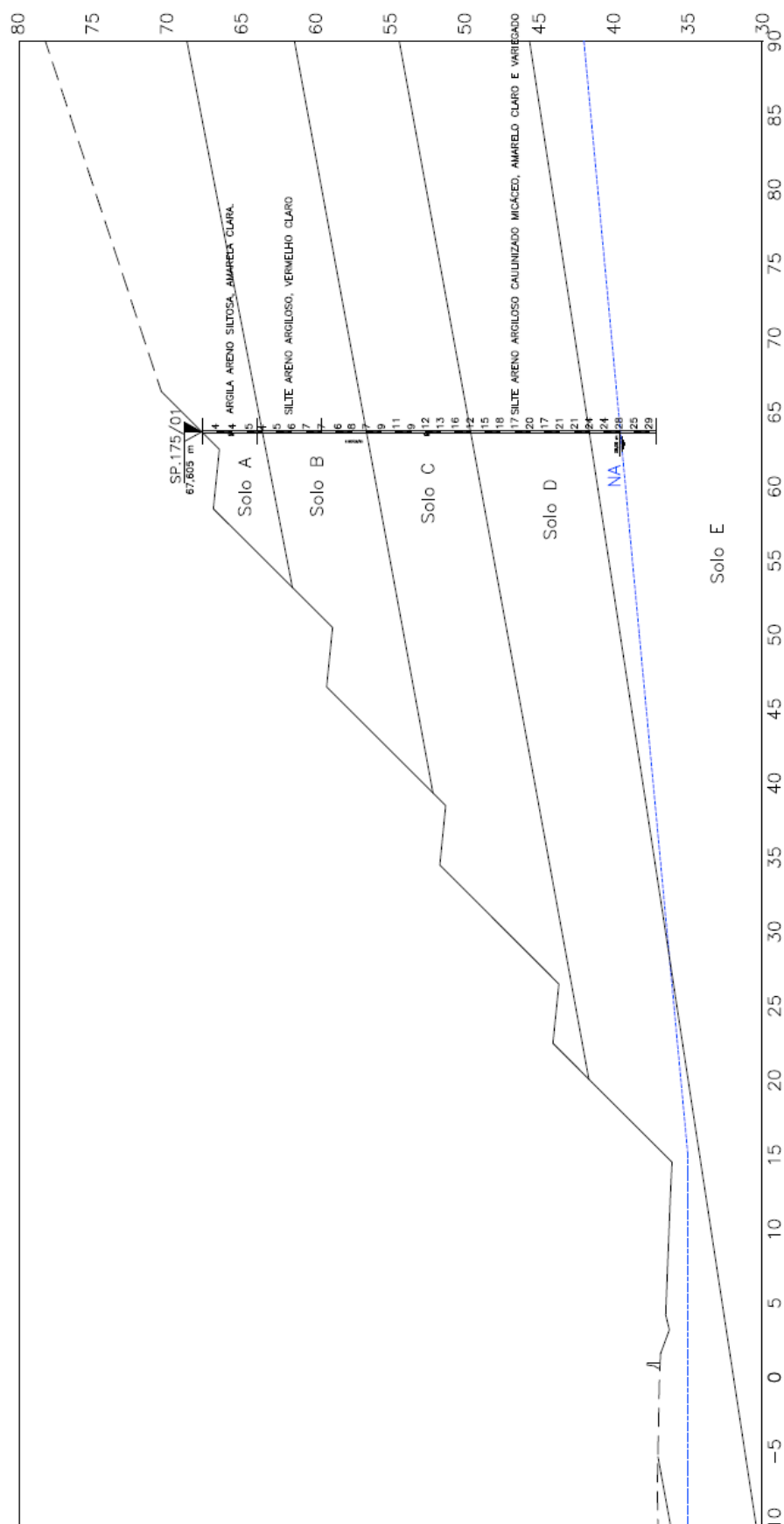
**Figura 64.14** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 174+380 – Aterro, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,509$ , como ilustrado na Figura 64.7.

## 65. ESTACA KM 176+000 (corte)

### 65.1 Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 65.1.



**Figura 65.15**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 176+000 – Corte).

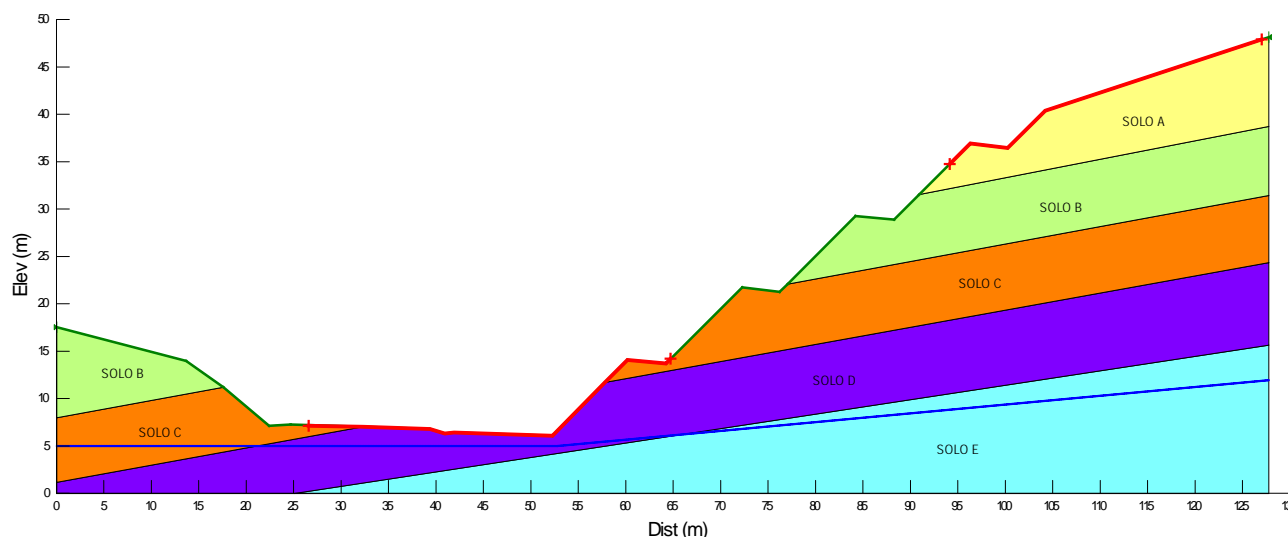
**Tabela 65.4**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	4-5	17	18	18
B	Silte areno-argiloso	5-8	17	18	25
C	Silte areno-argiloso	9-16	18	20	27
D	Silte areno-argiloso	15-21	18	20	28
E	Silte areno-argiloso	24-29	20	30	30
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 65.2. Análises de Estabilidade

A Figura 65.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 176+000.



**Figura 65.16** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 176+000 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,319 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 65.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

~~1.319~~

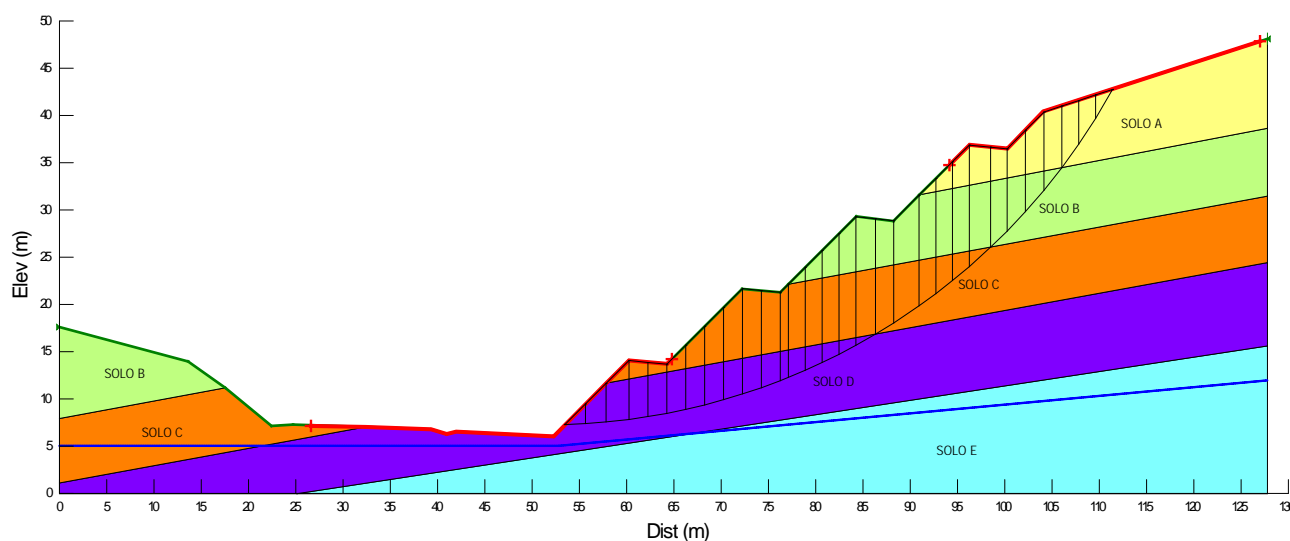


Figura 65.17– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 176+000 - Corte).

### Utilização de talude abatido

A Figura 65.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatidos três lances superiores do corte, sendo inclinação de 1,5:1(H:V) nos 3º e 4º lances (de baixo pra cima) e inclinação de 2:1 (H:V) no 5º lance (de baixo pra cima).

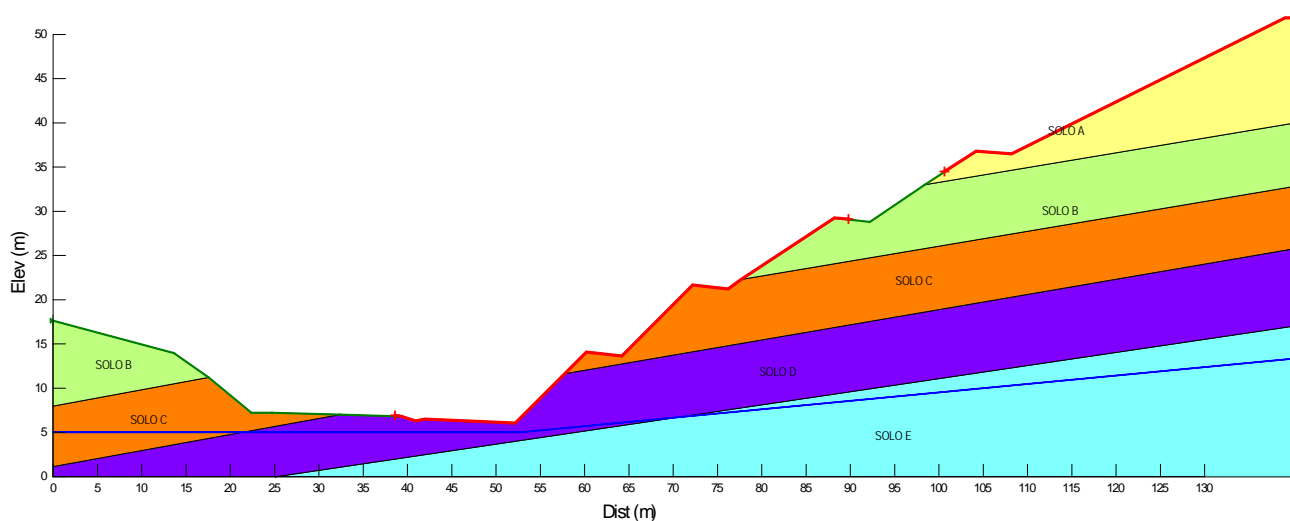
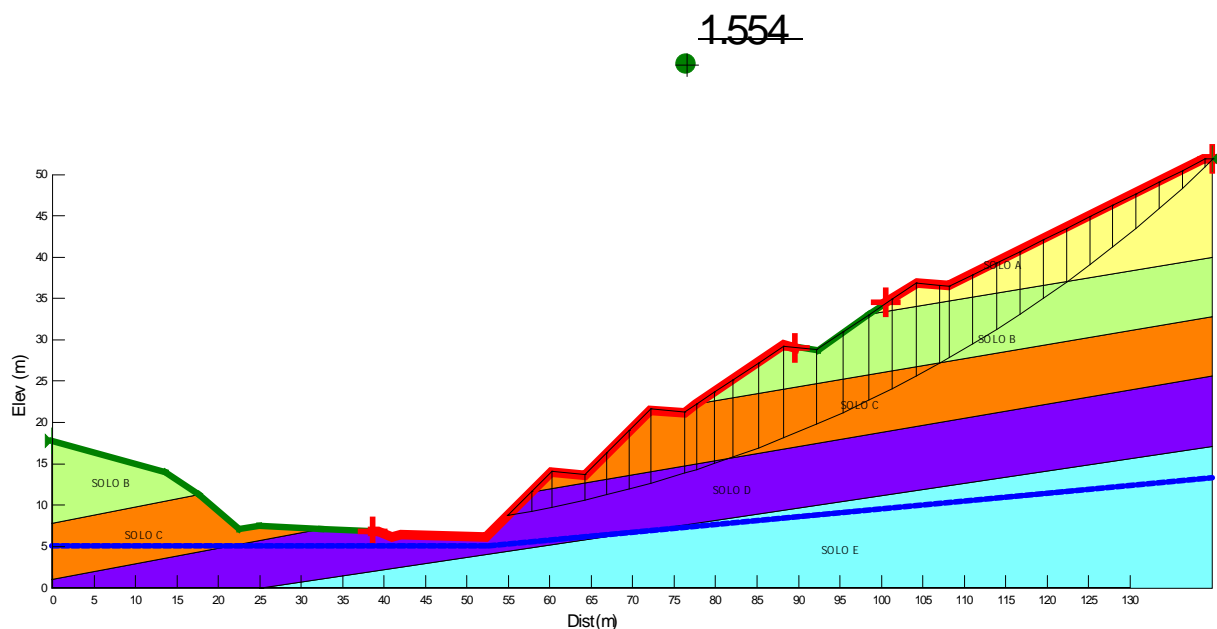


Figura 65.18 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 176+000 - Corte).

A Figura 65.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



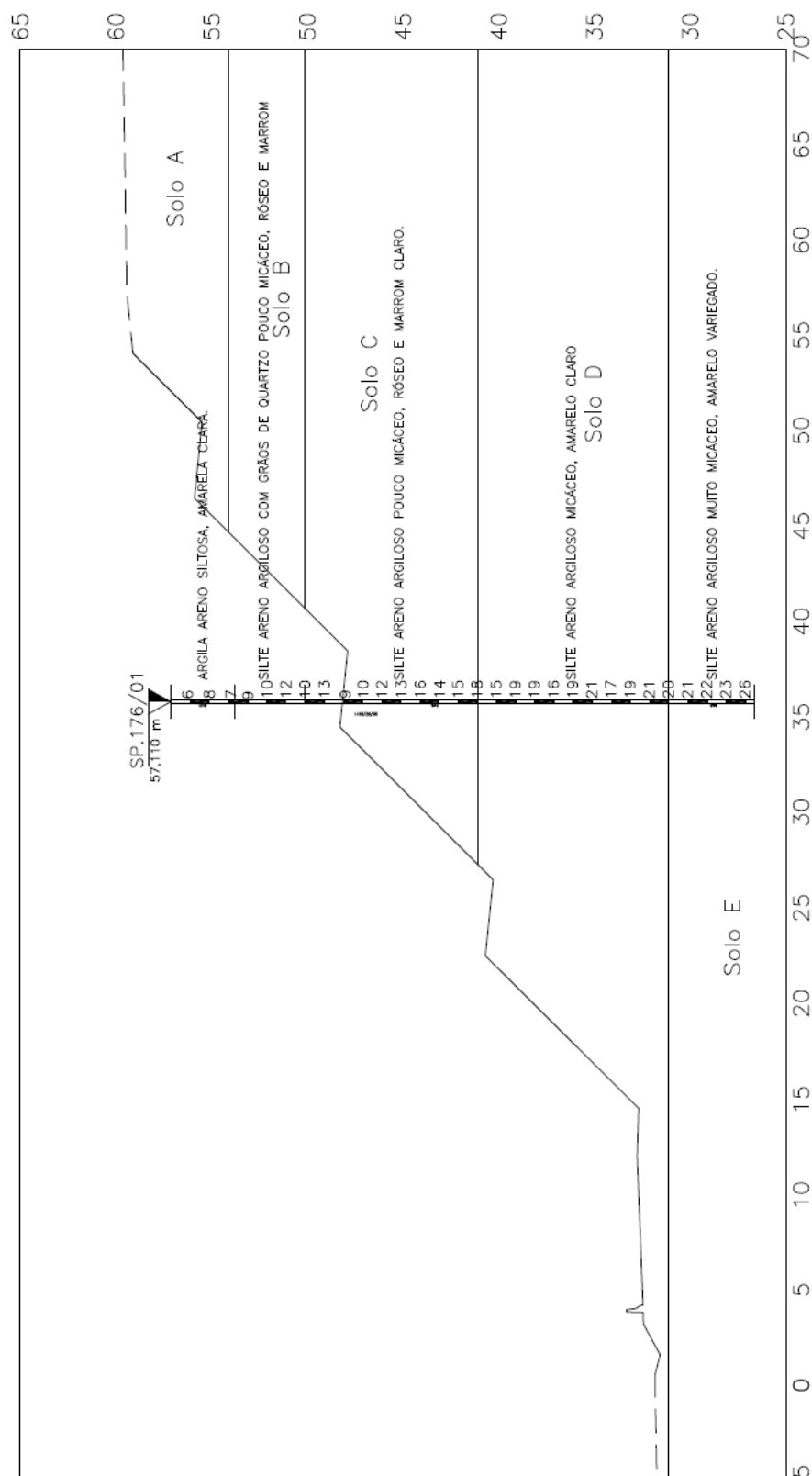
**Figura65.19** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 176+000 - Corte, Taludes abatidos).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,524$ , como ilustrado na Figura 65.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida por esta consultoria.

## 66. ESTACA KM 176+760 (corte)

### 66.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 66.1.



**Figura 66.20**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 176+760 – Corte).



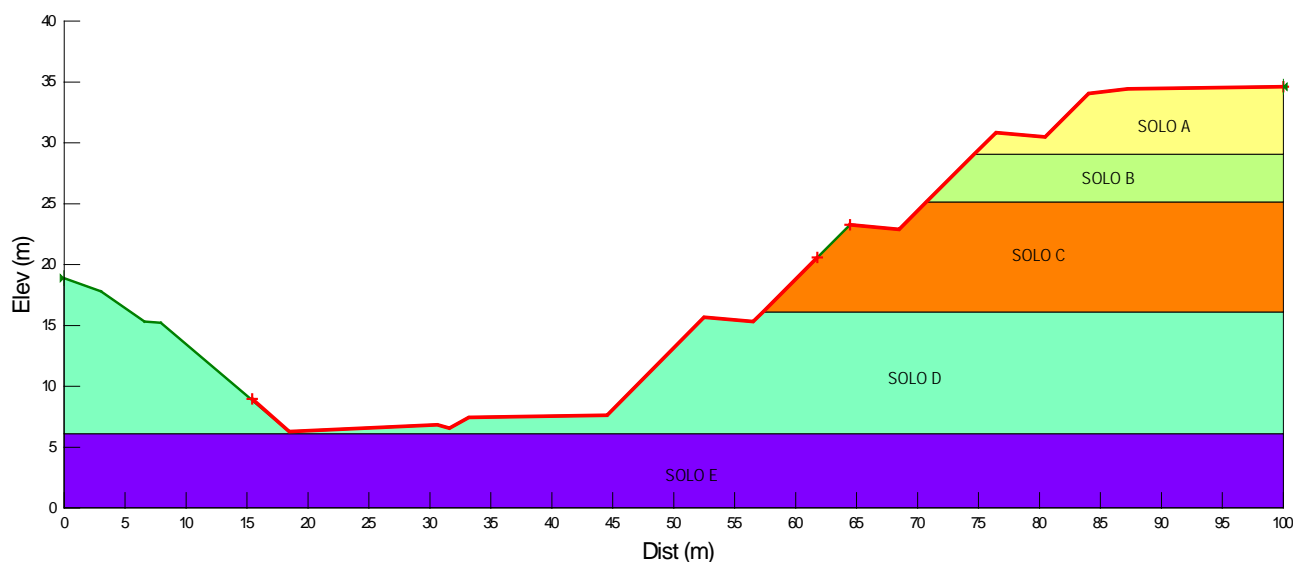
**Tabela 66.5**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	6-8	17	18	18
B	Silte areno-argiloso	9-12	17	18	25
C	Silte areno-argiloso	9-16	18	20	27
D	Silte areno-argiloso	15-21	18	20	30
E	Silte areno-argiloso	20-26	20	30	30
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 66.2. Análises de Estabilidade

A Figura 66.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 176+760.



**Figura 66.21** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 176+760 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,503 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 66.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

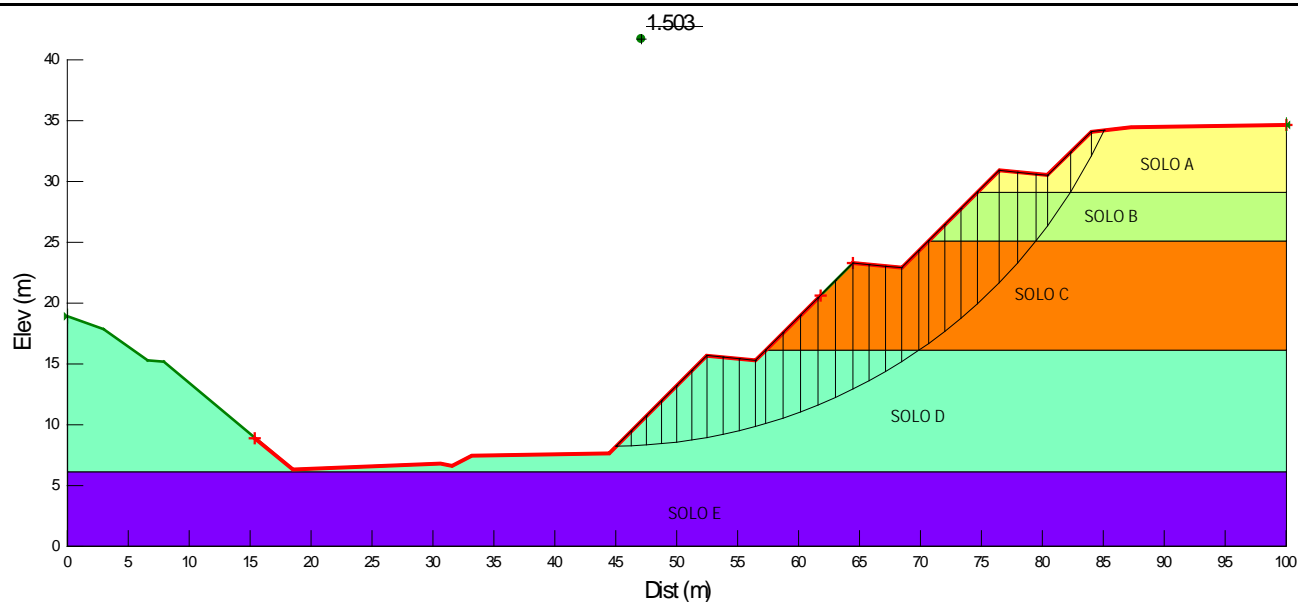
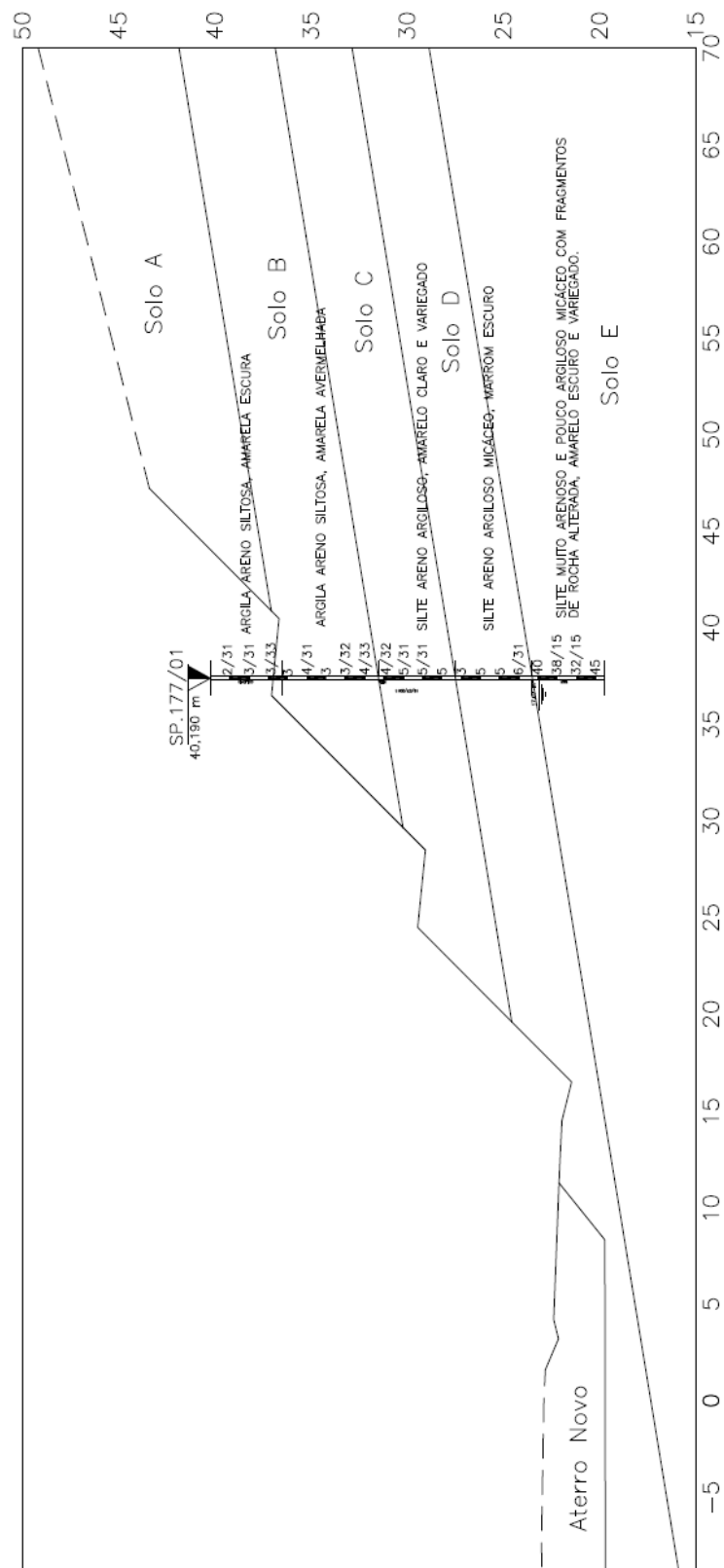


Figura 66.22– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 176+760 - Corte).

## 67. ESTACA KM 177+260 (CORTE)

### 67.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 67.1.



**Figura 67.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 177+260– Corte).

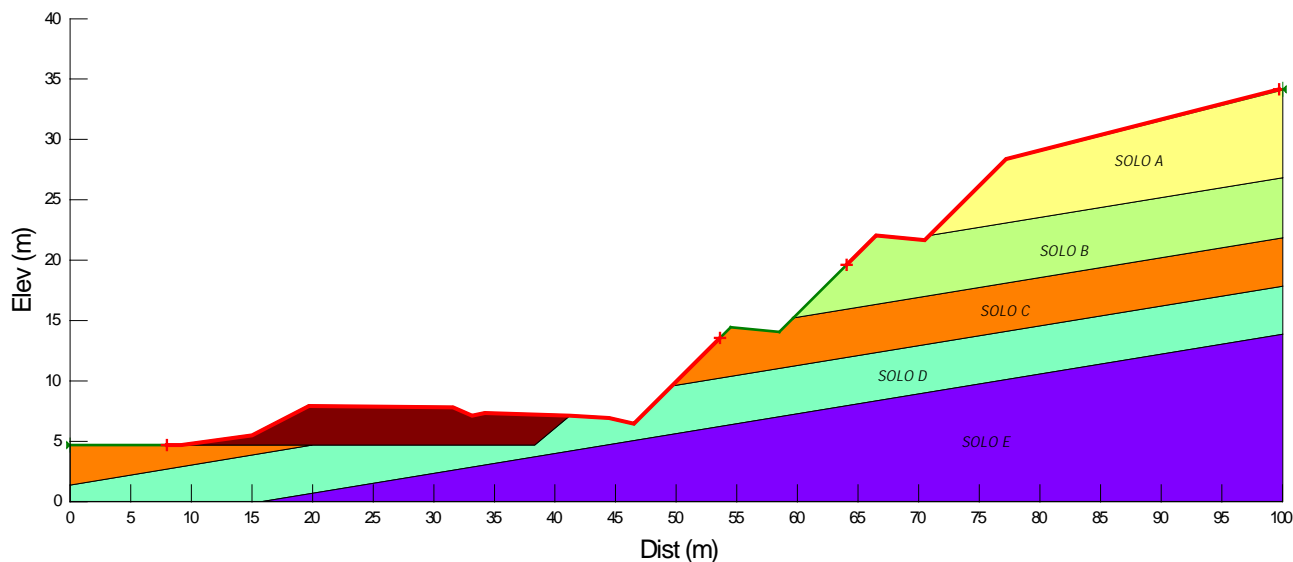
**Tabela 67.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	6-8	16	15	15
B	Argila areno-siltosa	3-4	16	18	20
C	Silte areno-argiloso	4-5	17	15	25
D	Silte areno-argiloso	3-6	17	15	26
E	Silte areno-argiloso	>40	20	30	32
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

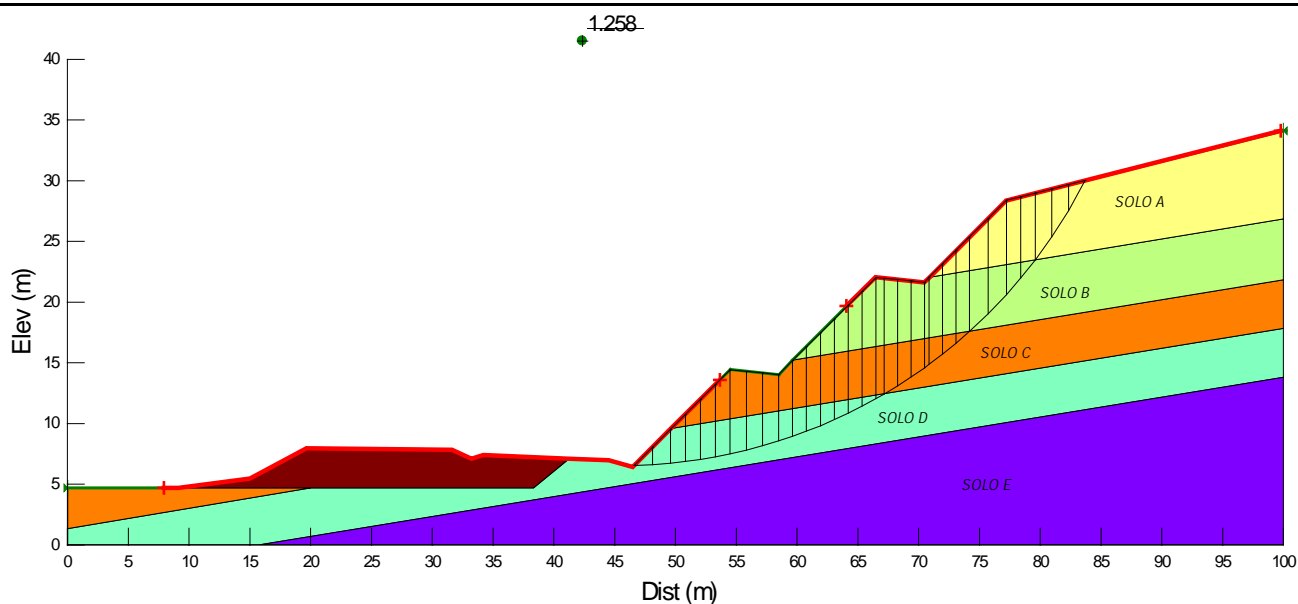
## 67.2. Análises de Estabilidade

A Figura 67.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 177+260.



**Figura 67.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 177+260 - Corte).

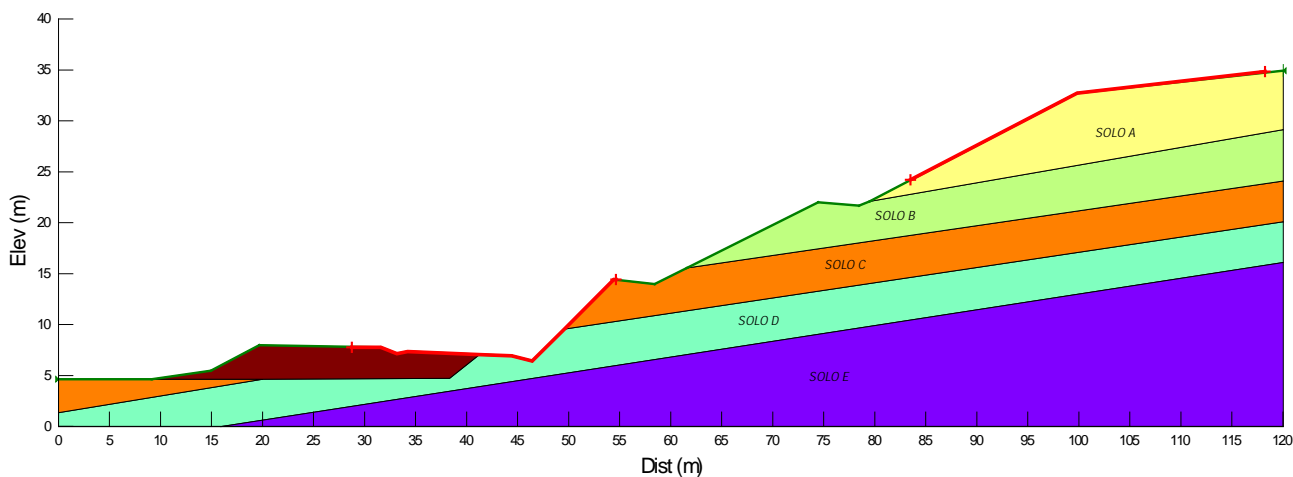
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,258 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 67.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 67.3**– Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Estaca km 177+260 - Corte).

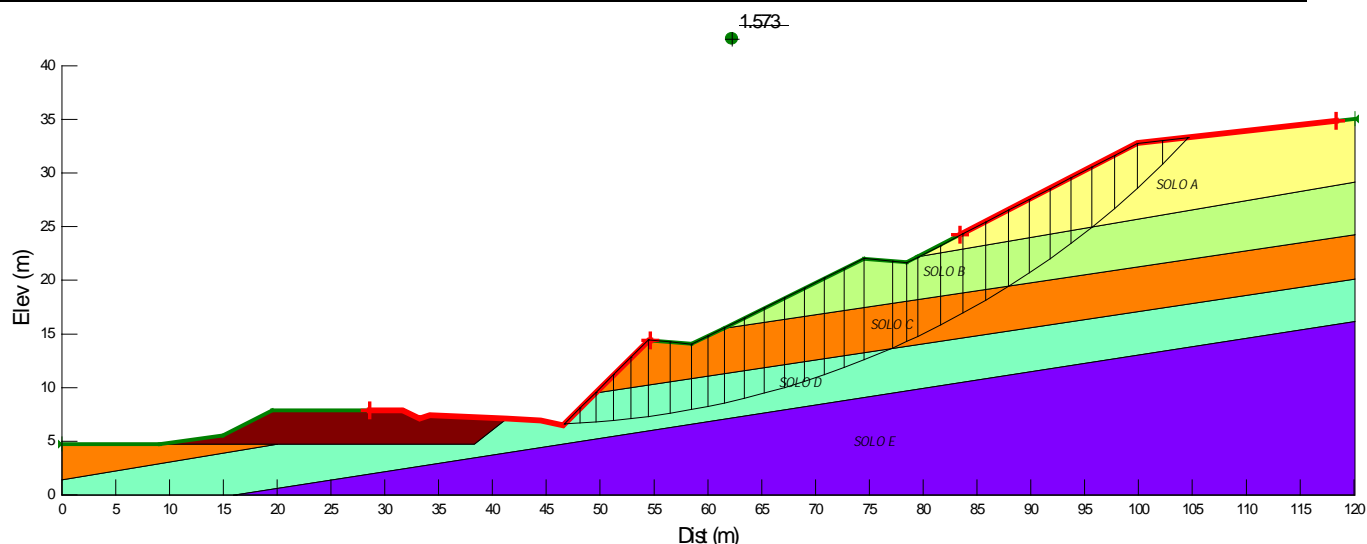
### Utilização de talude abatido

A Figura 67.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos dois lances superiores do corte (2,0:1, H:V).



**Figura 67.4** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 177+260 - Corte).

A Figura 67.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



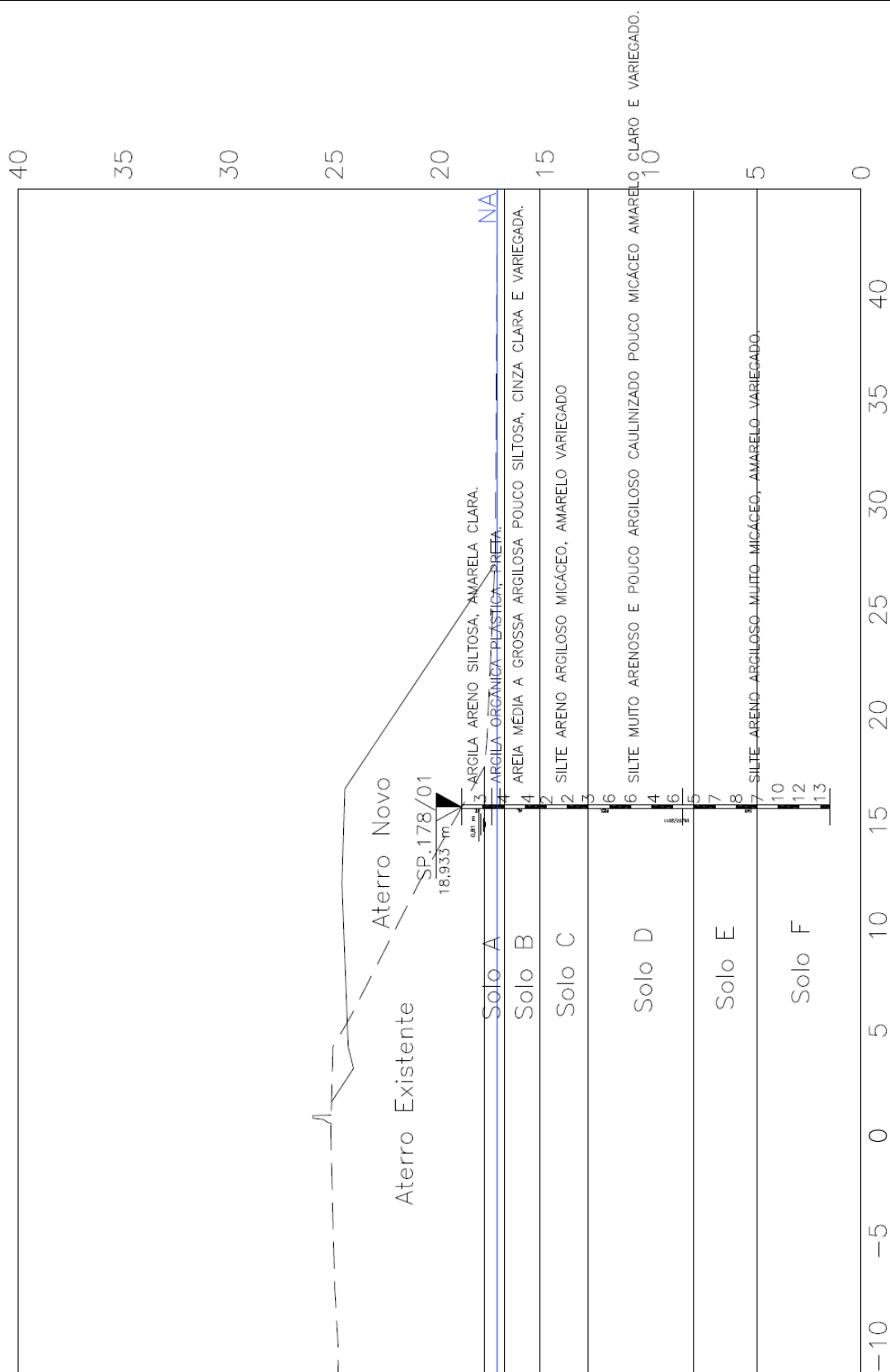
**Figura 67.5** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 177+260- Corte, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,573$ , como ilustrado na Figura 67.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida por esta consultoria.

## 68. ESTACA KM 178+260 (ATERRO)

### 68.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 68.1.



**Figura 68.6**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 178+260 – Aterro).

**Tabela 68.2 – Parâmetros adotados.**

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila orgânica plástica	3-4	16	15	10	2000	0,4
B	Areia média a grossa argilosa	4	16	5	23	8000	0,35
C	Silte areno-argiloso	2-3	16	10	19	7000	0,35
D	Silte muito arenoso pouco argiloso	4-6	17	15	22	8000	0,3
E	Silte areno-argiloso	7-8	17	17	25	8000	0,3
F	Silte areno-argiloso	10-13	17	20	26	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

No Solo A ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 68.2.

**Tabela 68.3 – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.**

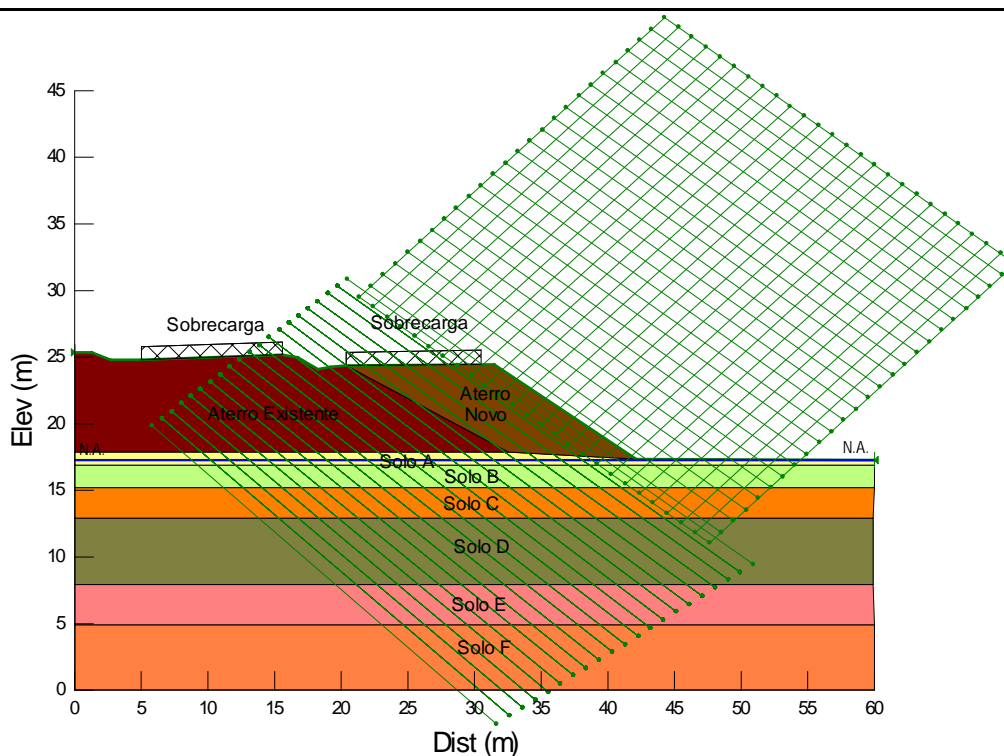
$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,15	0,015	20

Legenda: e<sub>0</sub> – índice de vazios inicial; C<sub>c</sub> – índice de compressão do solo; C<sub>r</sub> - índice de recompressão do solo; C<sub>v</sub> – Coeficiente de Adensamento Vertical.

## 68.2. Análises de Estabilidade

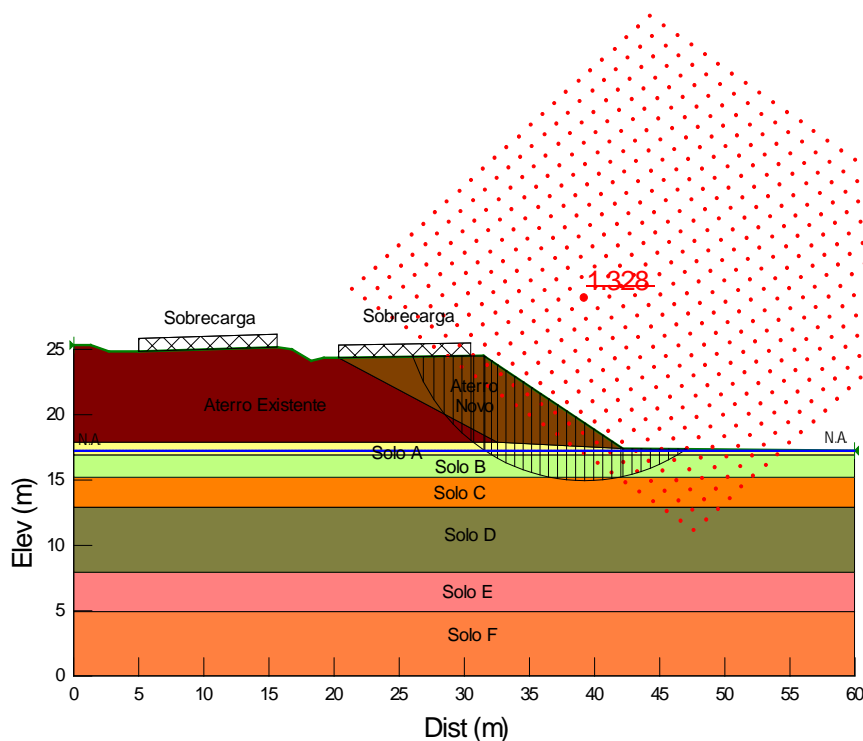
A Figura 68.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 178+260.





**Figura 68.7** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 178+260– Aterro).

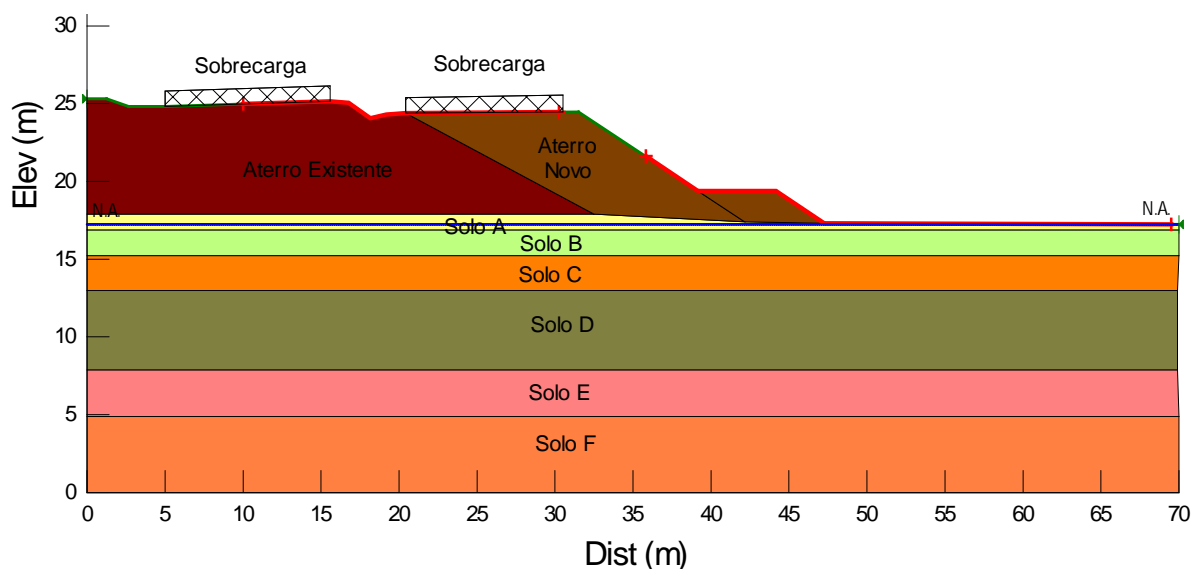
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,328 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 68.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 68.8**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 178+260– Aterro).

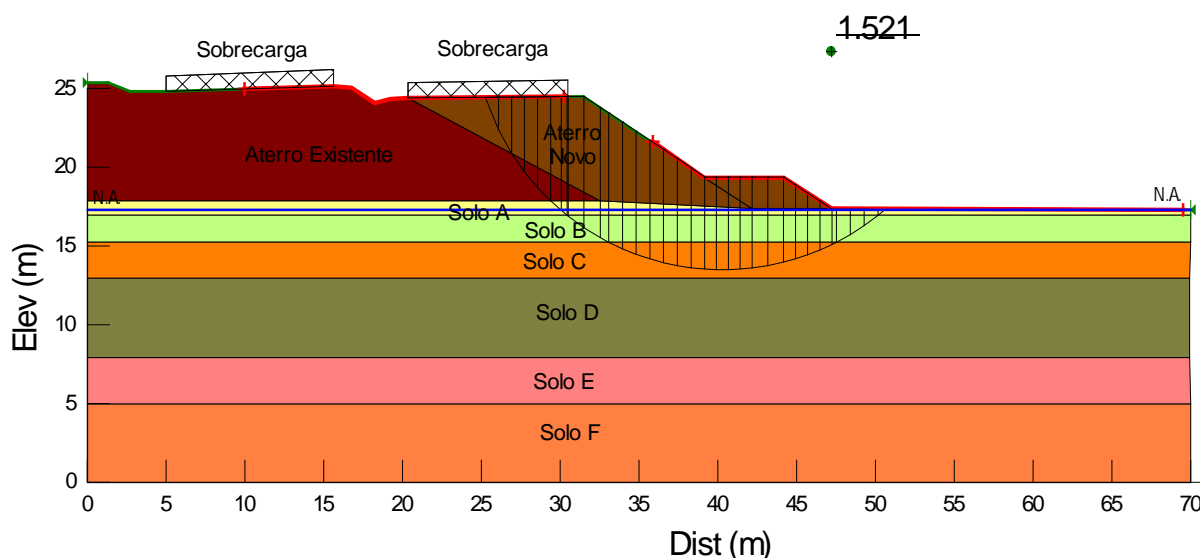
### Utilização de Berma de Equilíbrio

A Figura 68.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de berma de equilíbrio de 2,0 m de altura e 5,0 m de largura.



**Figura 68.9** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 178+260– Berma de equilíbrio).

A Figura 68.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

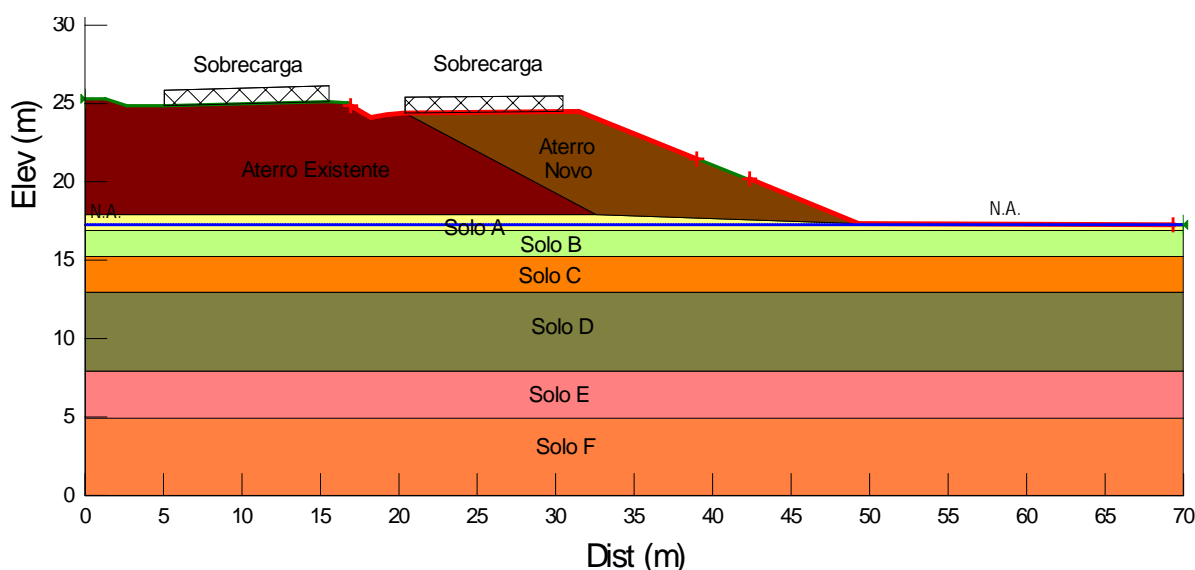


**Figura 68.10** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 178+260– Berma de equilíbrio).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,521 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 68.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

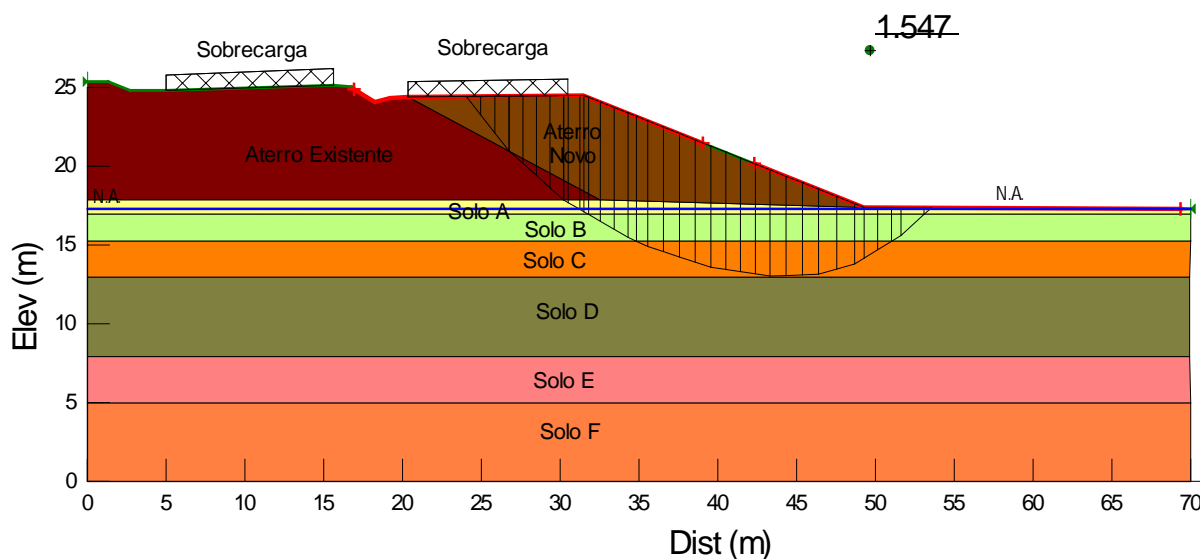
### Utilização de talude abatido

A Figura 68.6 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido (2,5:1, H:V).



**Figura 68.11** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 178+260 – Aterro).

A Figura 68.7 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



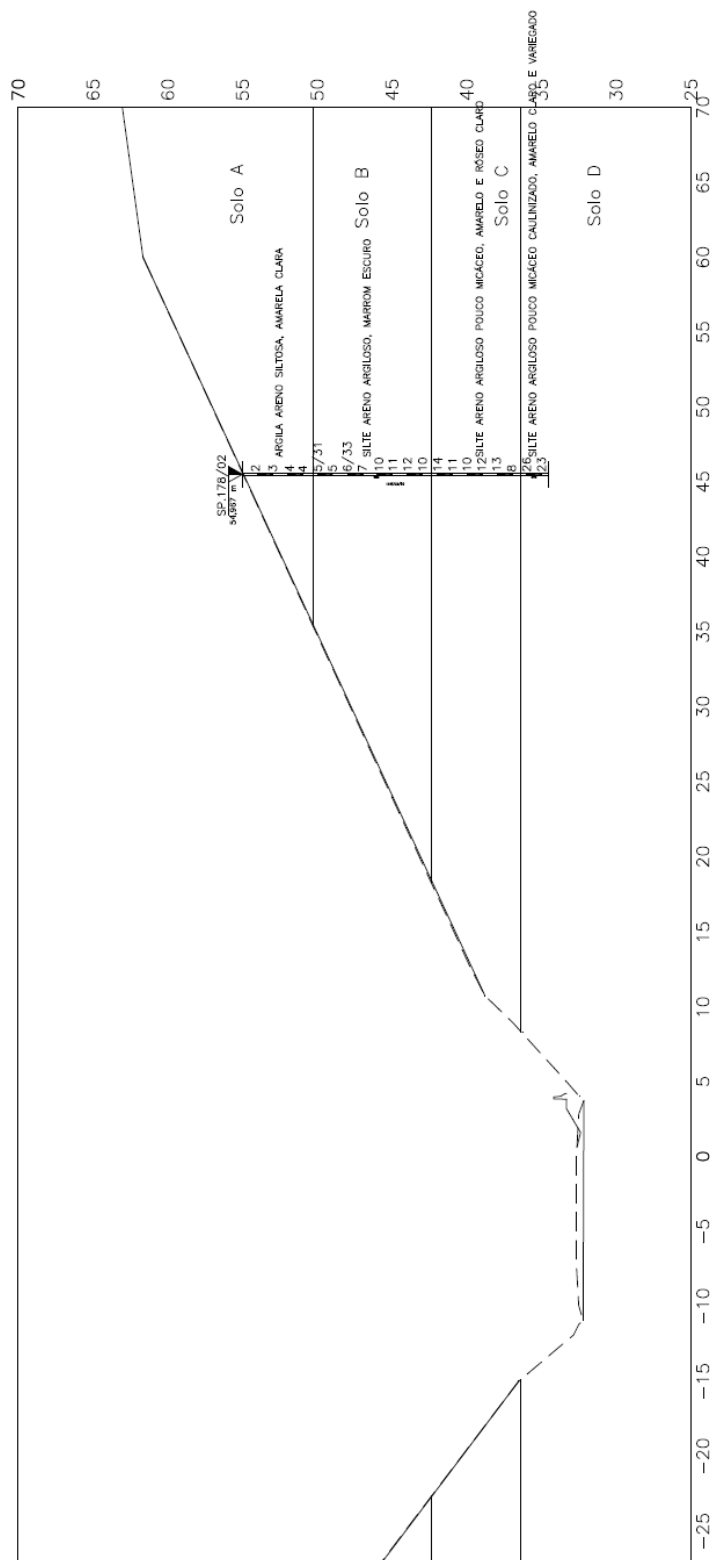
**Figura 68.12** – Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Aterro - Estaca km 178+260 – Aterro, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,547, como ilustrado na Figura 68.7. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro com a utilização de berma de equilíbrio apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida por esta consultoria.

## 69. ESTACA KM 178+900 (corte)

### 69.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 69.1



**Figura 69.13**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 178+900– Corte).

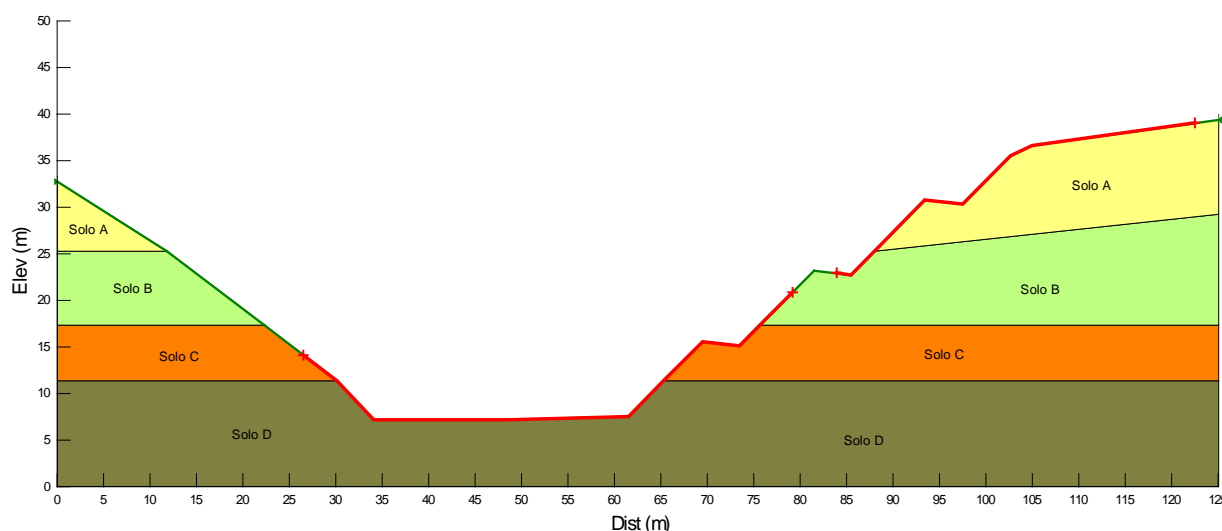
**Tabela 69.4**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	2-4	16	18	15
B	Silte areno-argiloso	5-10	17	18	25
C	Silte areno-argiloso	8-14	18	20	27
D	Silte areno-argiloso	23-26	19	20	29
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 69.2. Análises de Estabilidade

A Figura 69.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 178+900.



**Figura 69.14** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 178+900– Corte).

Foram verificadas superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,359 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 69.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

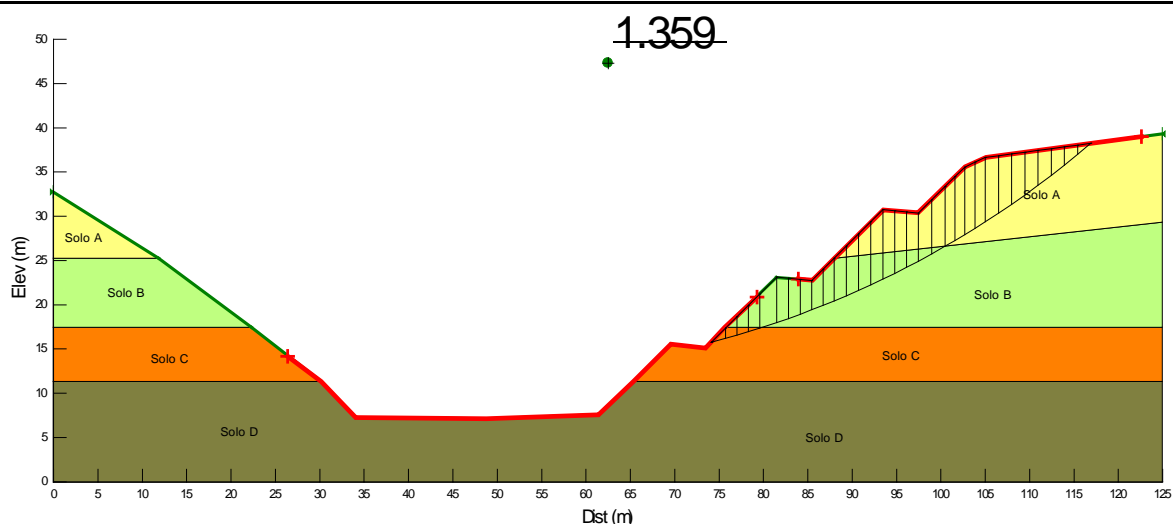


Figura 69.15– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 178+900– Corte).

### Utilização de talude abatido

A Figura 69.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos dois lances superiores do corte (1,5:1, H:V).

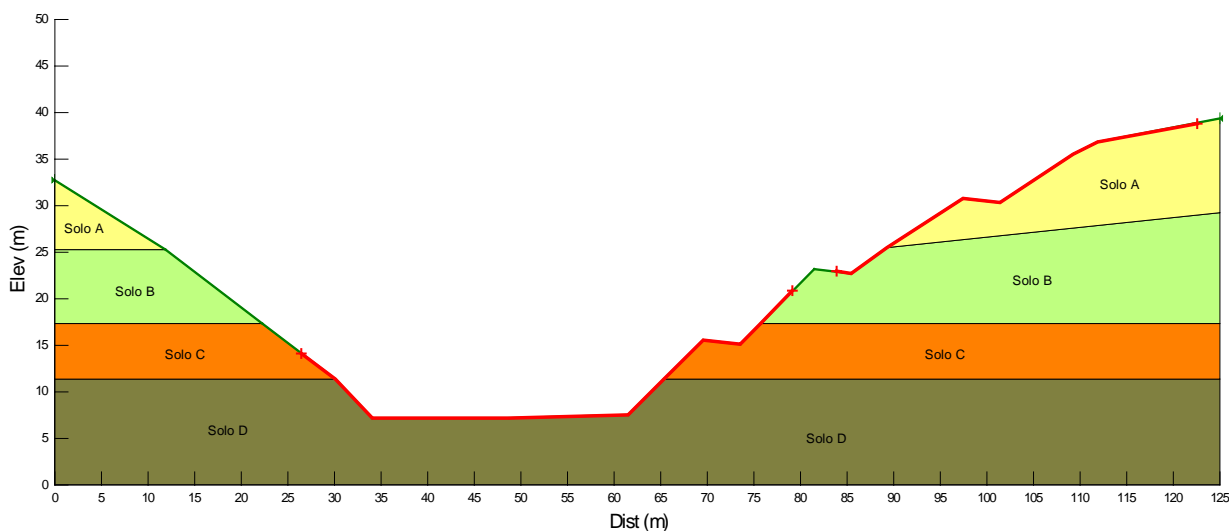
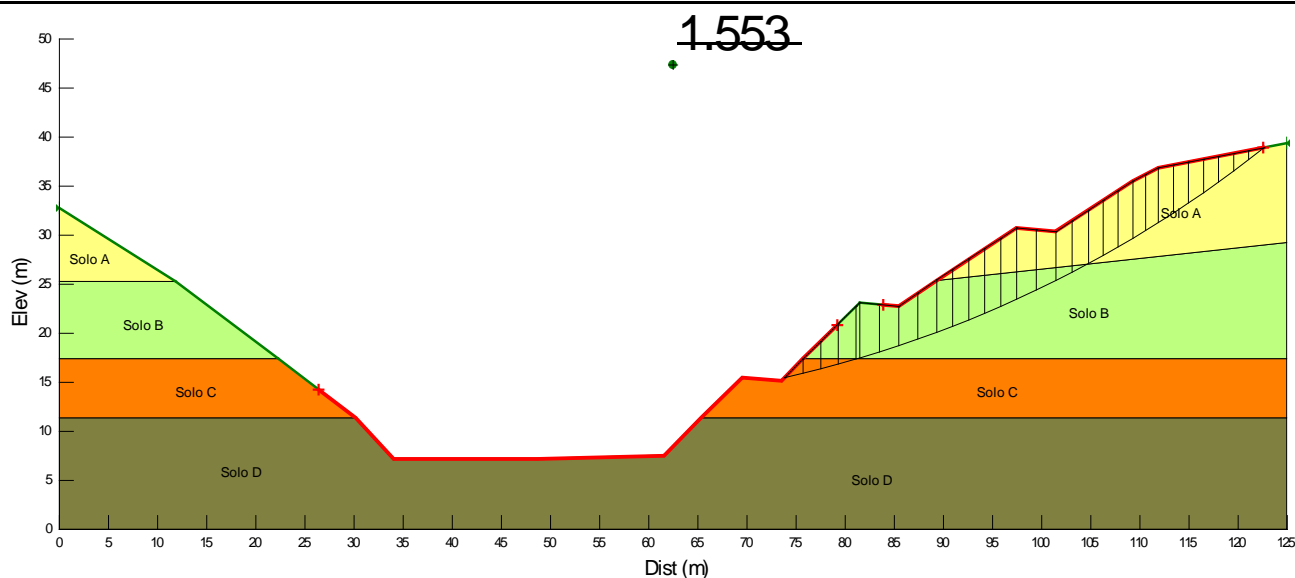


Figura 69.16 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 178+900 - Corte).

A Figura 69.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



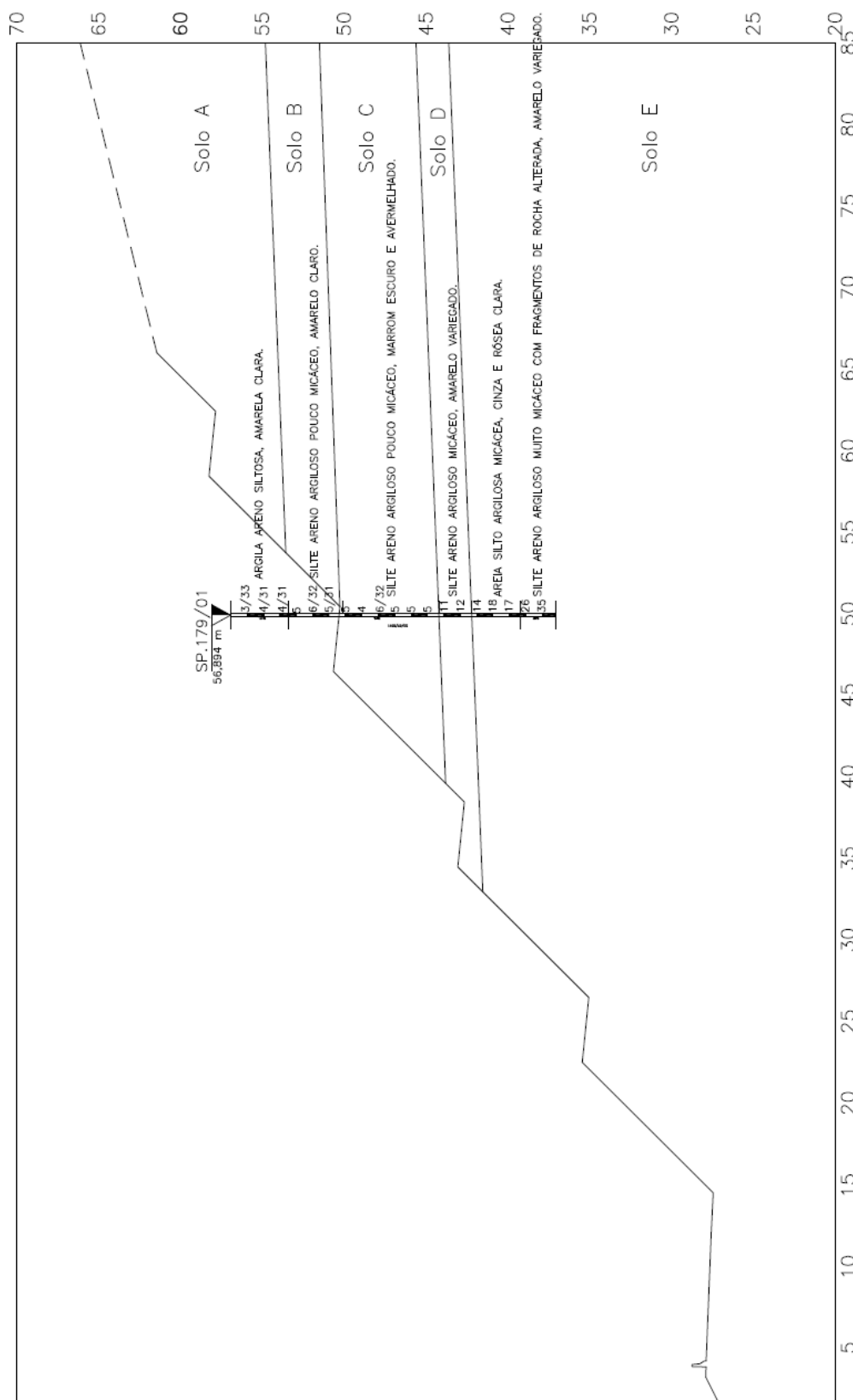
**Figura 69.17** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 178+900 - Corte, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,553$ , como ilustrado na Figura 69.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida por esta consultoria.

## 70. ESTACA KM 179+100 (corte)

### 70.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 70.1.



**Figura 70.18**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 179+100– Aterro).



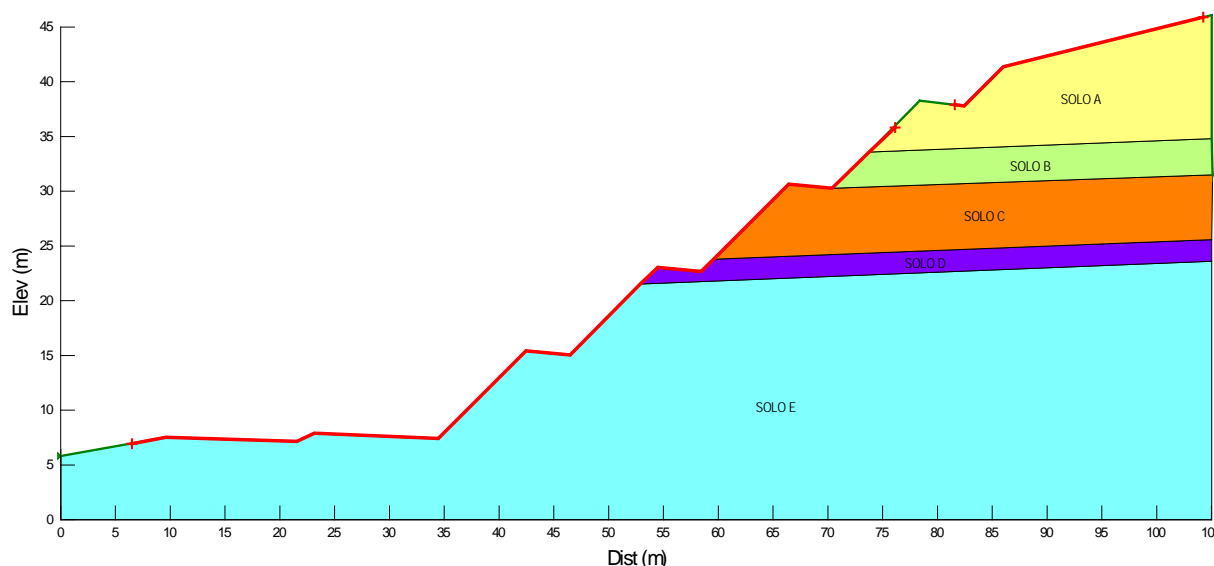
**Tabela 70.5**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	3-4	16	18	15
B	Silte areno-argiloso	4-6	17	15	22
C	Silte areno-argiloso	11-12	17	18	25
D	Areia silto-argilosa	14-18	18	10	30
E	Silte areno-argiloso com fragmentos de rocha	26-35	20	30	30
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson

## 70.2. Análises de Estabilidade

A Figura 70.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 179+100.



**Figura 70.19** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 179+100– Corte).

Foram verificadas 14196 superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,317 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 70.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

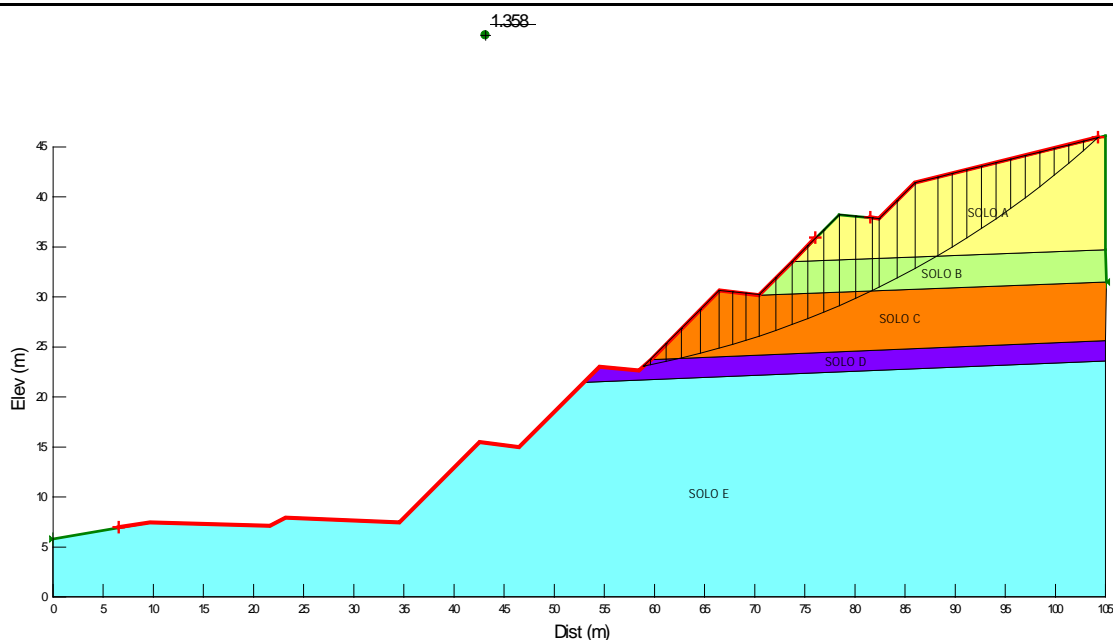


Figura 70.20– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Estaca km 179+100 - Corte).

### Utilização de talude abatido

A Figura 70.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos dois lances superiores do corte, sendo inclinação de 1,5:1(H:V) para o 4º lance (de baixo para cima) e inclinação de 2:1 para o 5º lance (de baixo para cima).

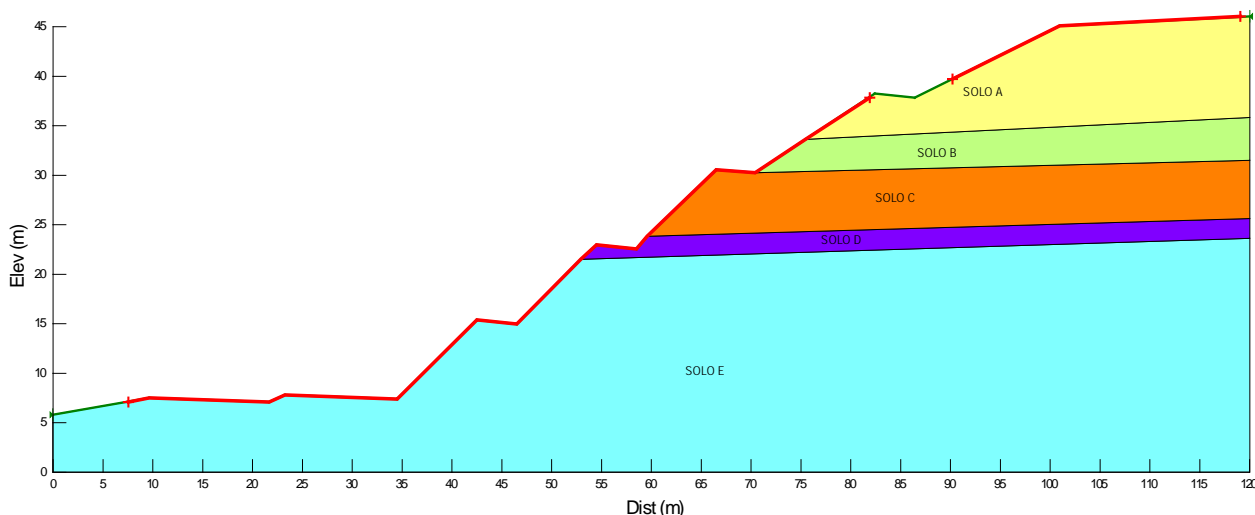
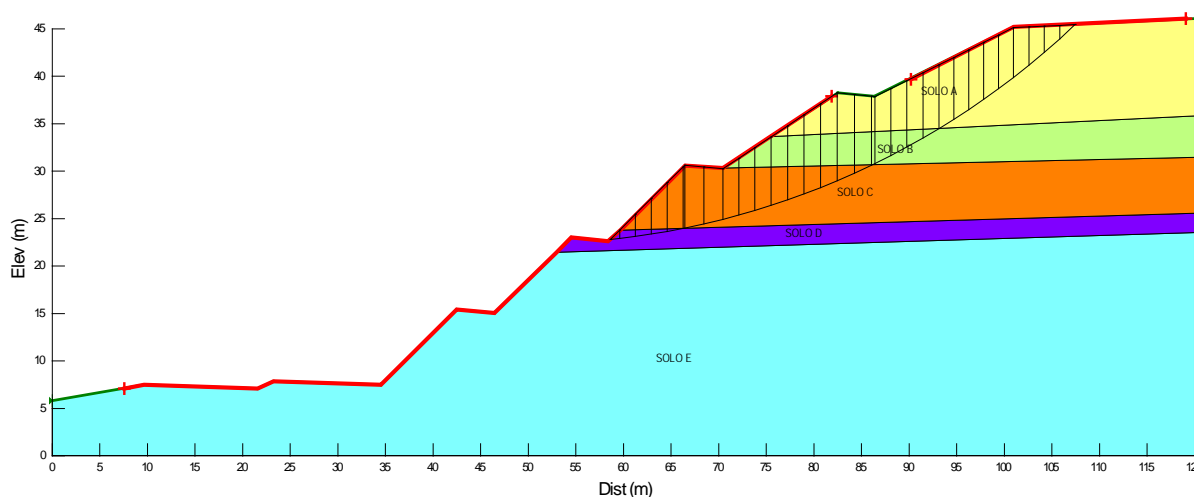


Figura 70.21 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 178+900 - Corte).

A Figura 70.5 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.

~~1.504~~



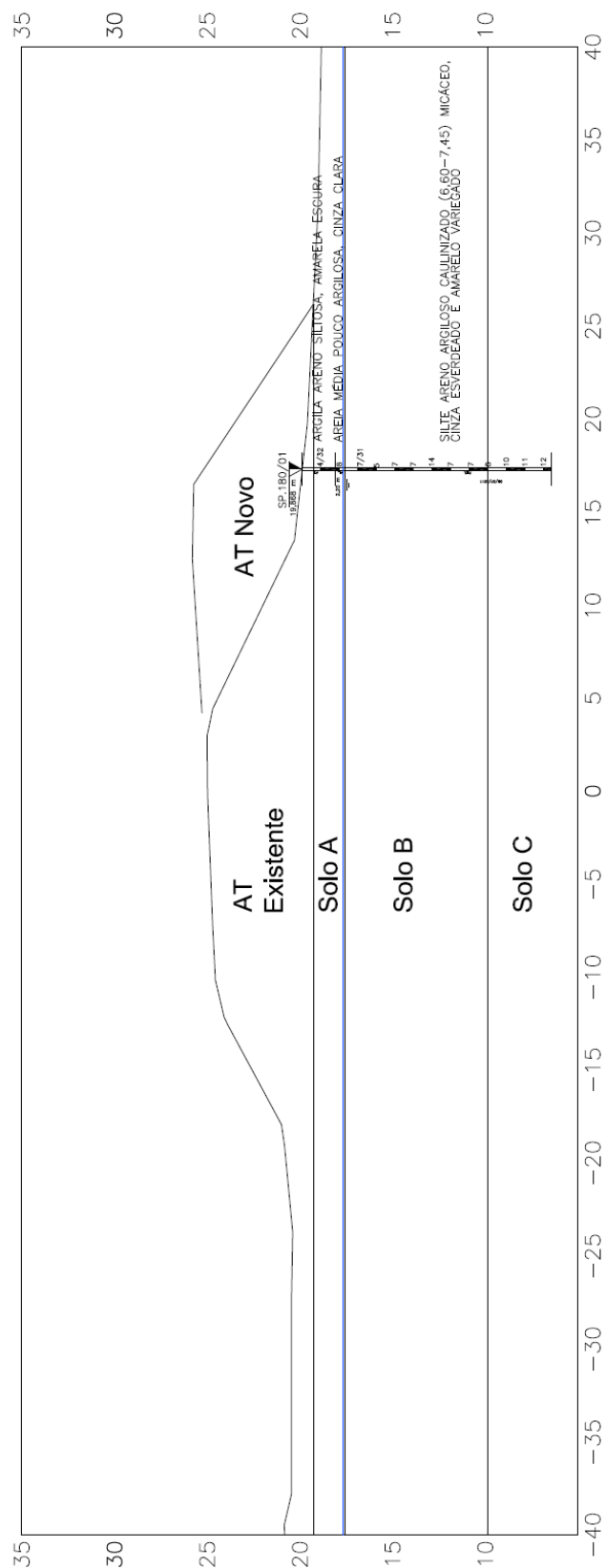
**Figura 70.22** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 178+900 - Corte, Talude abatido).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,504$ , como ilustrado na Figura 70.5. Conclui-se que o maciço de solo resultante apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida por esta consultoria.

## 71. ESTACA KM 180+260 (aterro)

### 71.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 71.1.



**Figura 71.23**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 180+260 - Aterro).

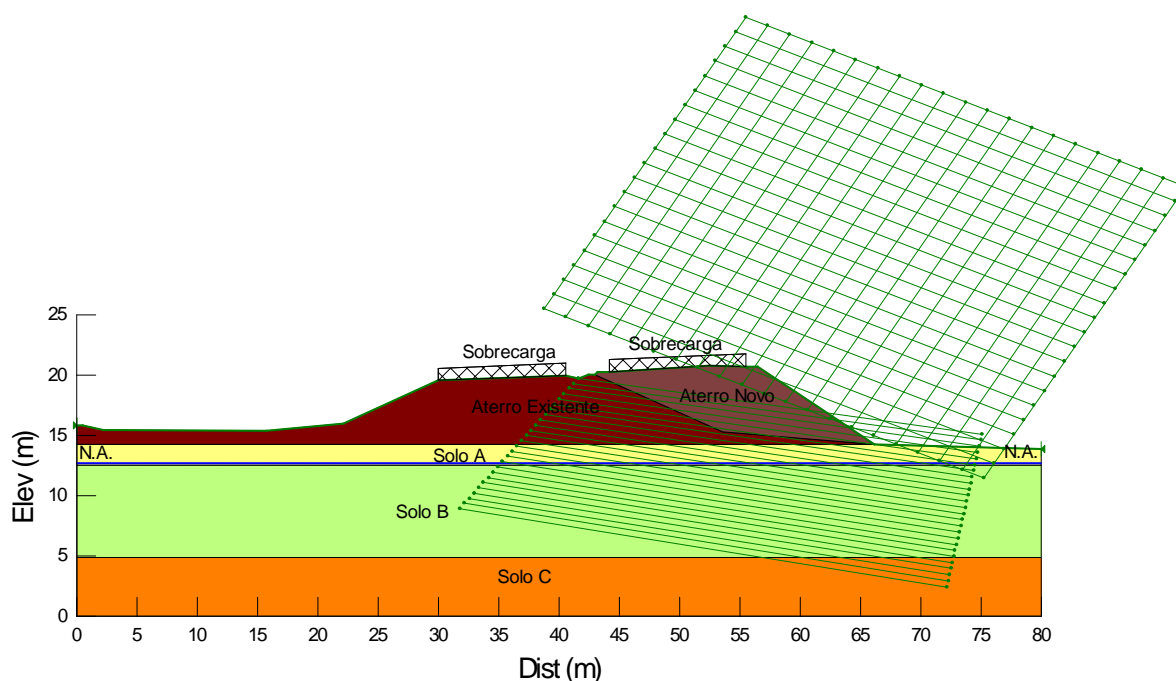
**Tabela 71.6**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Areia média pouco argilosa	8	18	10	17	10000	0,3
B	Silte areno-argiloso	5-7	17	18	25	9000	0,3
C	Silte areno-argiloso	10-12	18	20	26	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 71.2. Análises de Estabilidade

A Figura 71.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 180+260.



**Figura 71.24** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 180+260 - Aterro).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,550 > 1,5, como ilustrado na Figura 71.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

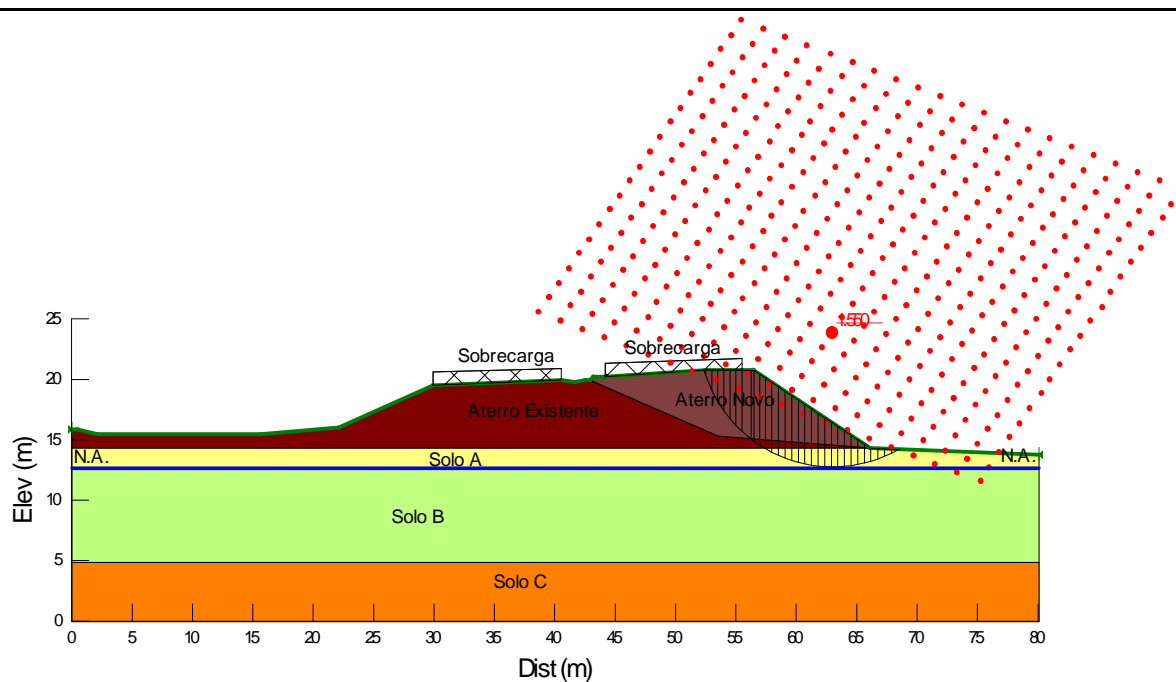
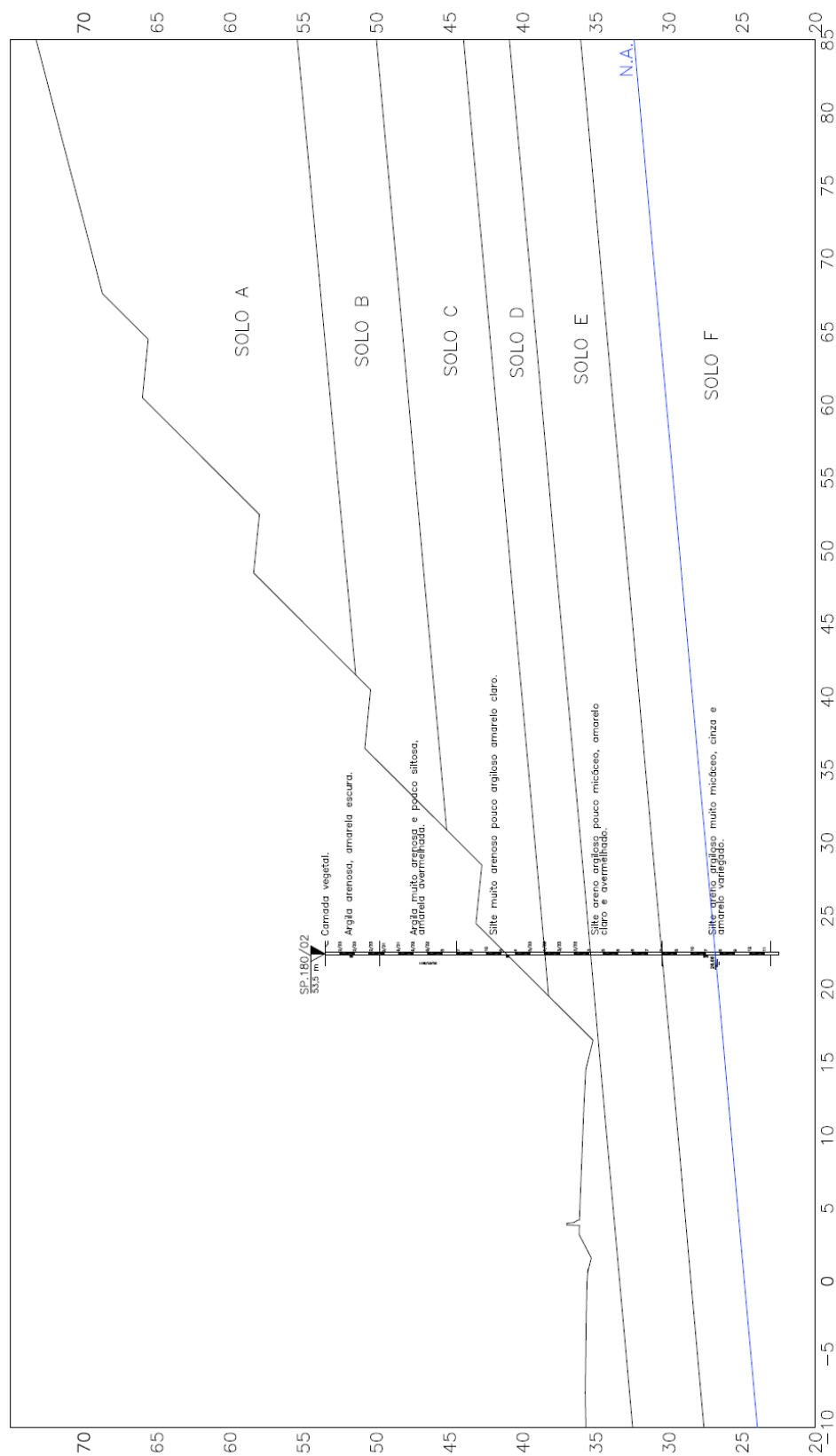


Figura 71.25– Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Estaca km 180+260 – Aterro).

## 72. ESTACA KM 180+920 (corte)

### 72.1. Parâmetros Adotados

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 72.1.



**Figura 72.26**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 180+920 – Corte).

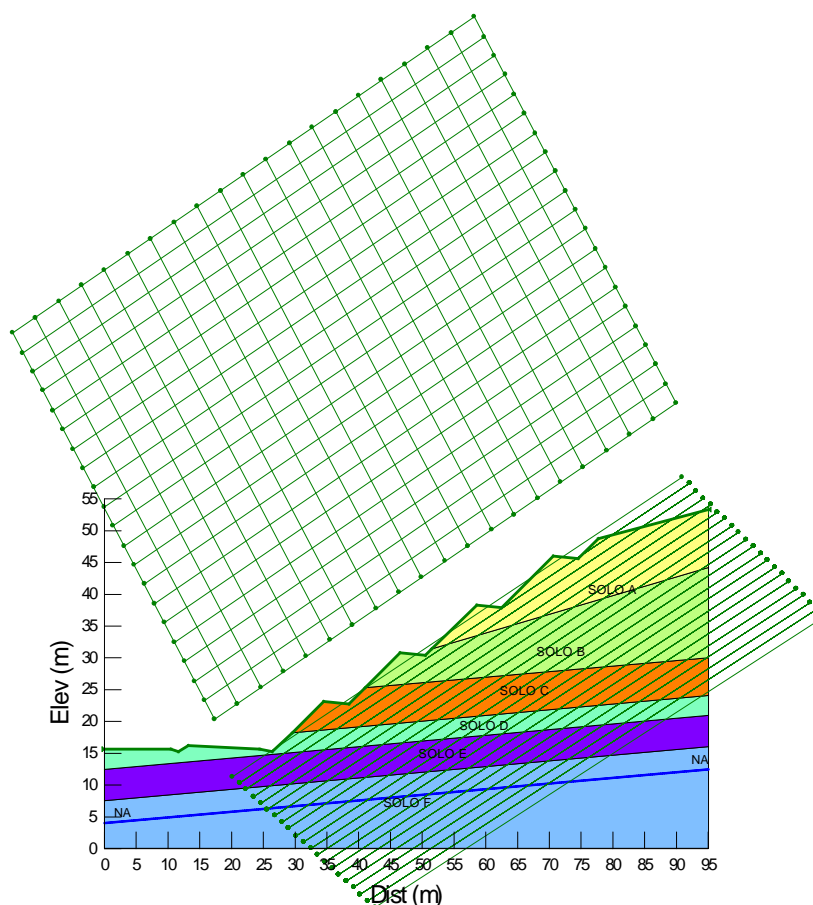
**Tabela 72.7–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila arenosa	2/33	17	16	15
B	Argila muito arenosa pouco siltosa	4-6	17	20	20
C	Silte muito arenoso pouco argiloso	4-7	17	18	25
D	Silte areno-argiloso	3	17	15	22
E	Silte areno-argiloso	5-7	18	18	25
F	Silte areno-argiloso	7-12	18	20	27
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson

## 72.2. Análises de Estabilidade

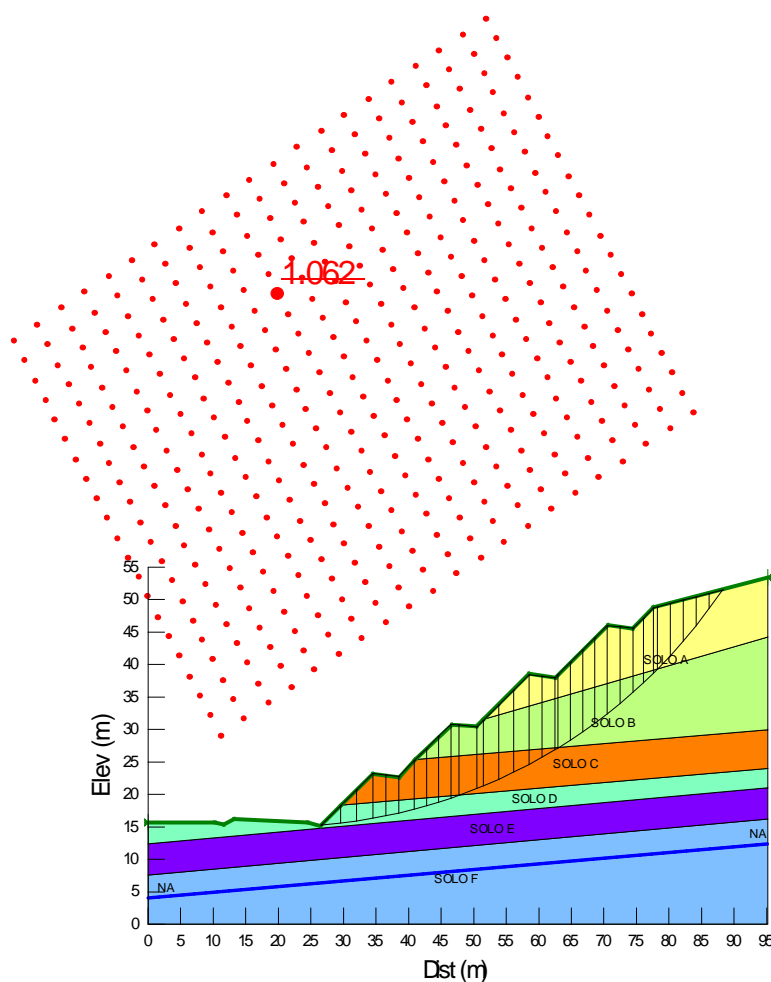
A Figura 72.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 180+920.



**Figura 72.27** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 180+920 - Corte).



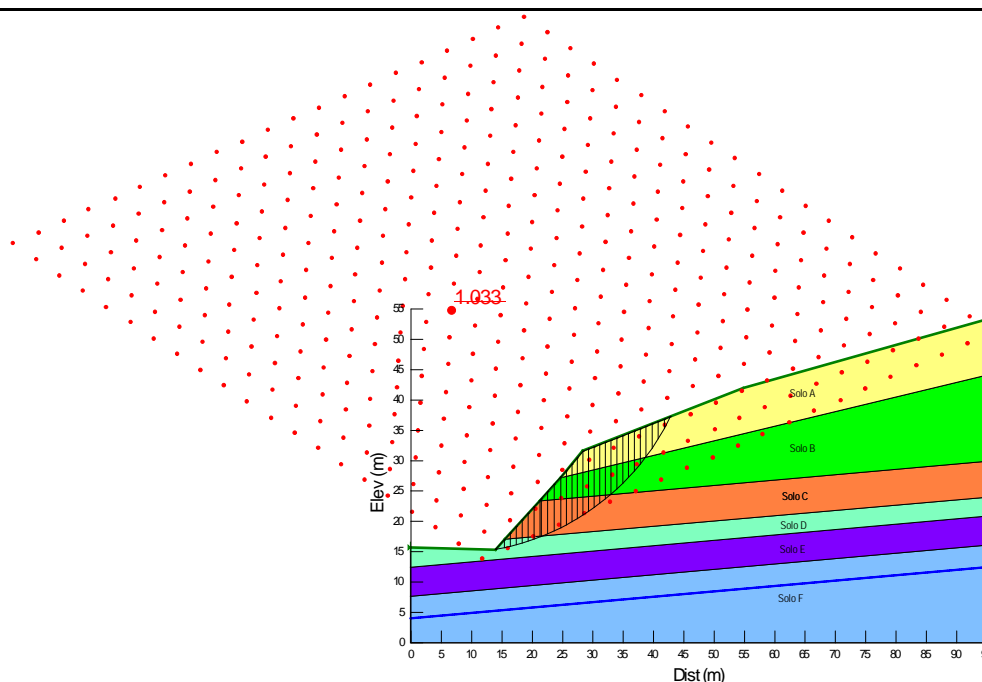
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais obteve-se a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,062 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 72.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 72.28**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Estaca km 180+920 - Corte).

### **Avaliação do corte existente**

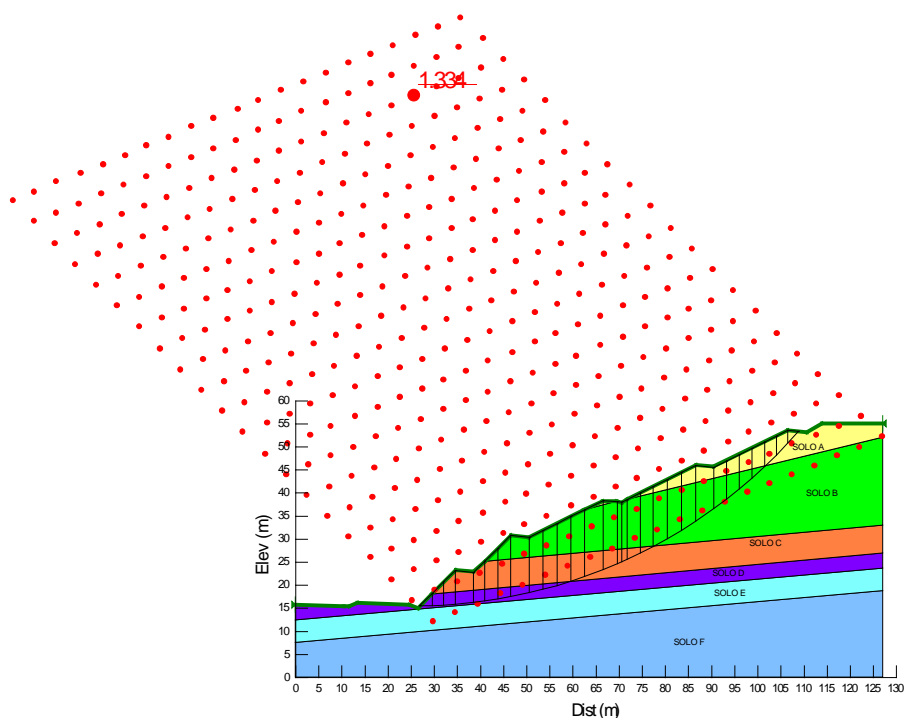
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura do corte existente, das quais resultou a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,033$ , como ilustrado na **Figura 72.4**.



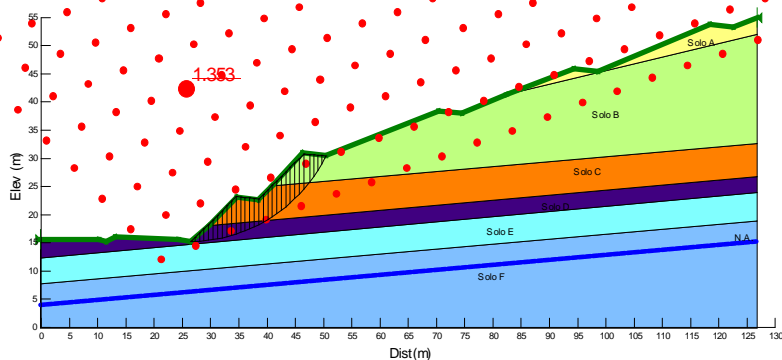
**Figura 72.29** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade do corte existente por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 180+920 - Corte).

### Utilização de talude abatido

Propõe-se o abrandamento dos 3 (três) taludes superiores para inclinações 2:1 (FS = 1,334) e 2,5:1 (FS = 1,353) (H:V) com o intuito de aumentar a estabilidade do corte. A **Figura 72.5** e a **Figura 72.6** apresentam a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos três lances superiores do corte.



**Figura 72.30** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 180+920 – Corte – Talude 2:1).



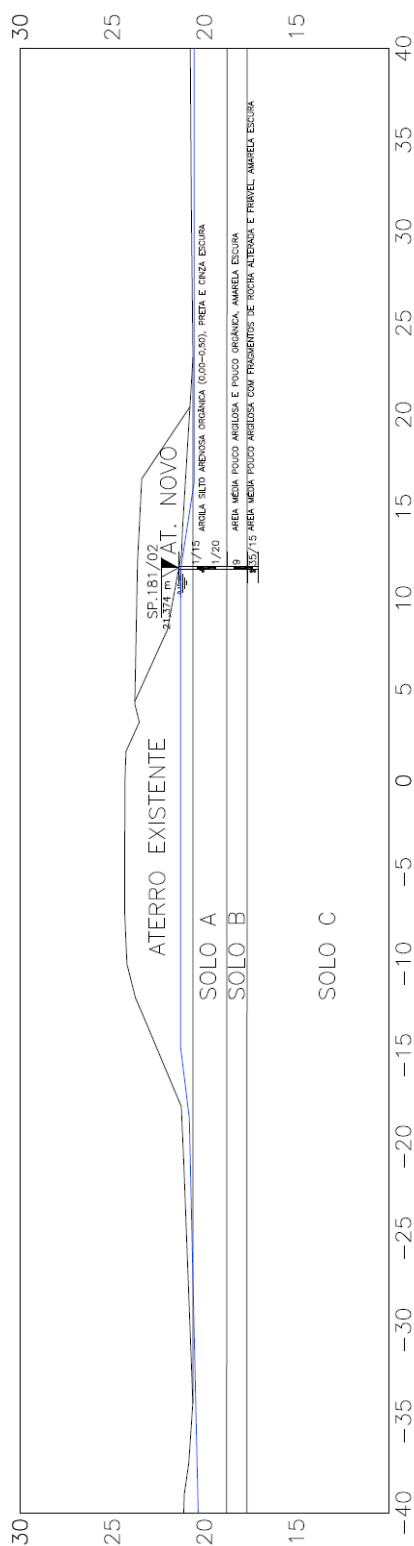
**Figura 72.31** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 180+920 – Corte – Taludes 2,5:1).

Como o fator de segurança não atingiu o mínimo ( $FS \geq 1,5$ ) adotado neste trabalho, propõe-se o abrandamento dos 3 (três) taludes superiores com inclinação de 2:1 (H:V) e monitoramento do terrapleno.

## 73. ESTACA KM 181+520 (ATERRO)

### 73.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 73.1.



**Figura 73.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 181+520 – Aterro).

**Tabela 73.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila silto-arenosa orgânica	1-2	17	15	10	2000	0,4
B	Areia média pouco argilosa	9	18	5	28	10000	0,3
C	Areia média pouco argilosa com fragmentos de rocha	>30	19	10	30	12000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

No Solo A ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 73.2.

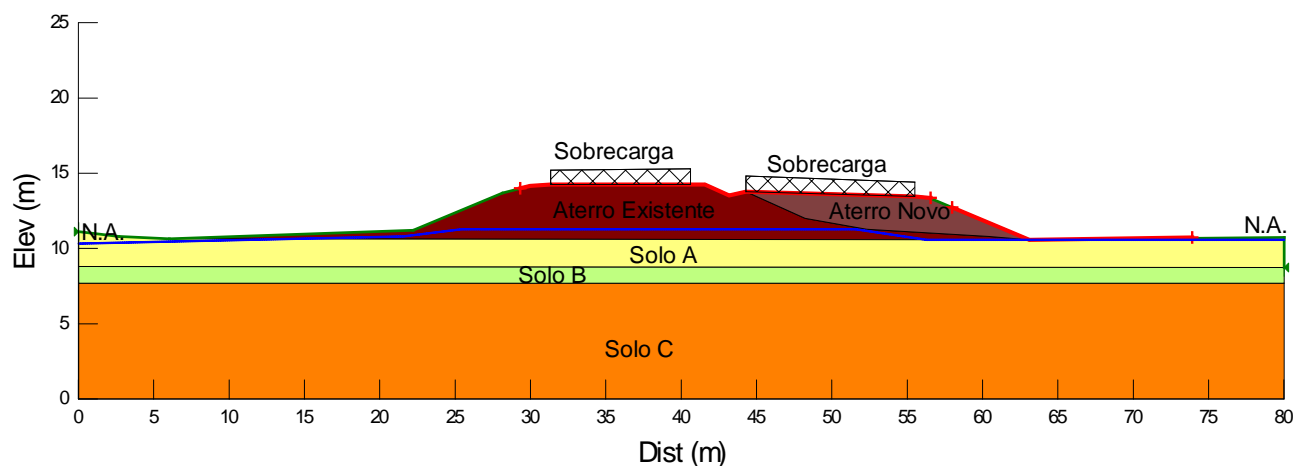
**Tabela 73.2** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,20	0,020	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

### 73.2. Análises de Estabilidade

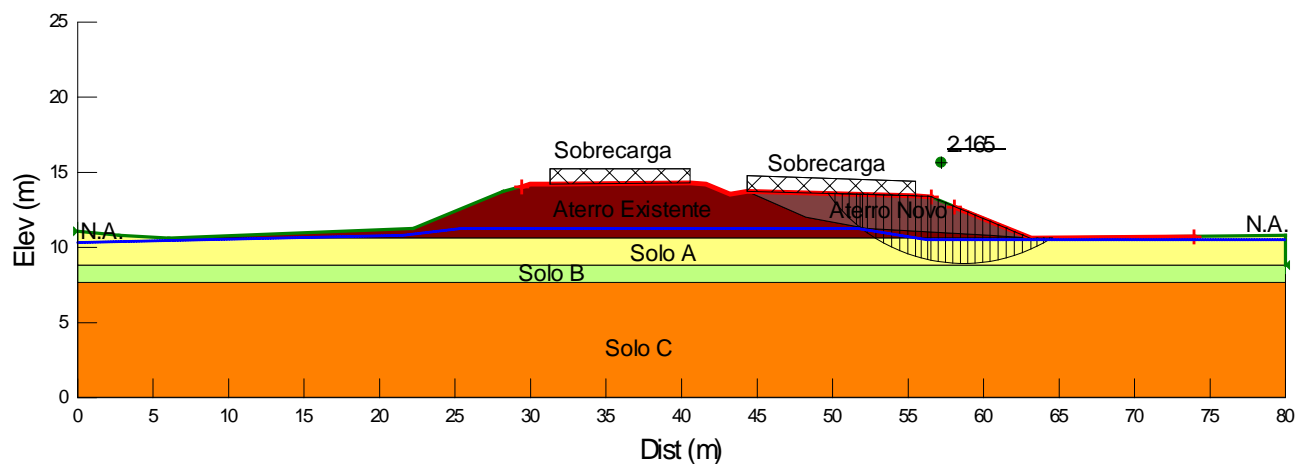
A Figura 73.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 181+520.



**Figura 73.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W para direita e para esquerda (Estaca km 181+520– Aterro).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança

obtido no deslizamento foi de  $FS = 2,165 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 73.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

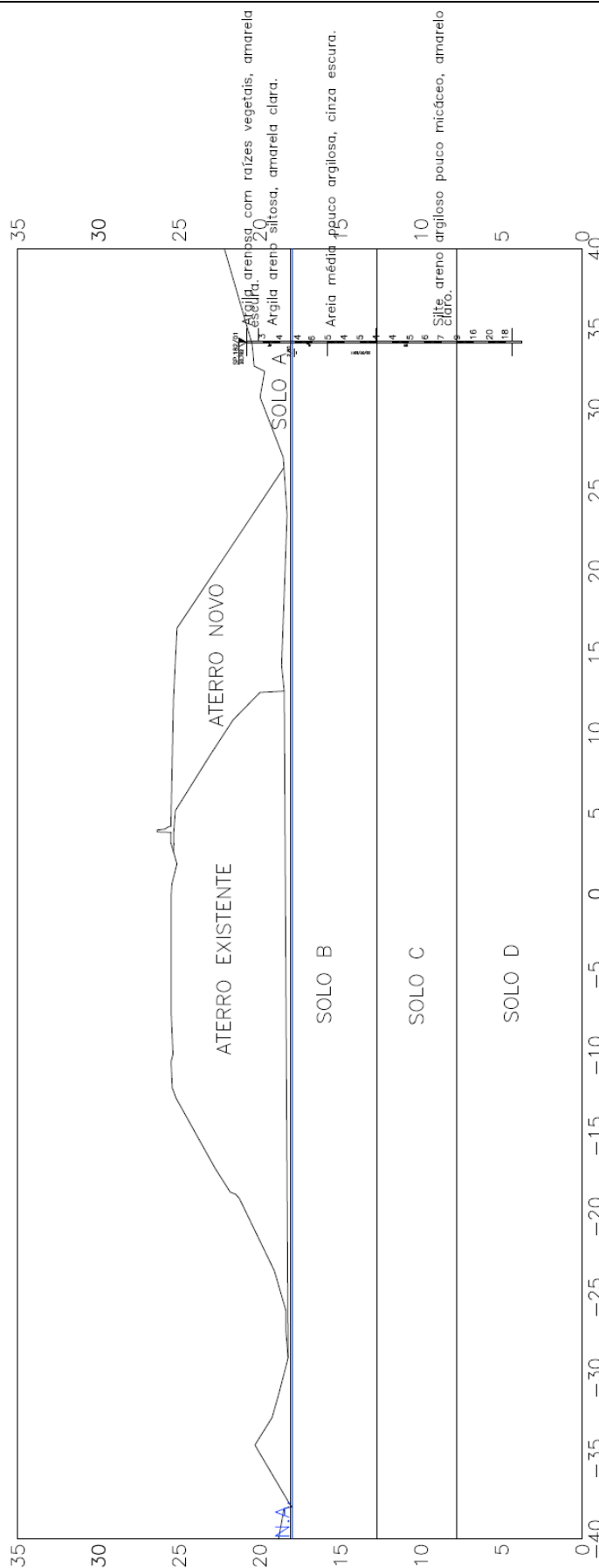


**Figura 73.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 181+520– Aterro).

## 74. ESTACA KM 182+000 (ATERRO)

### 74.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 74.1.



**Figura 74.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 182+000 - Aterro).

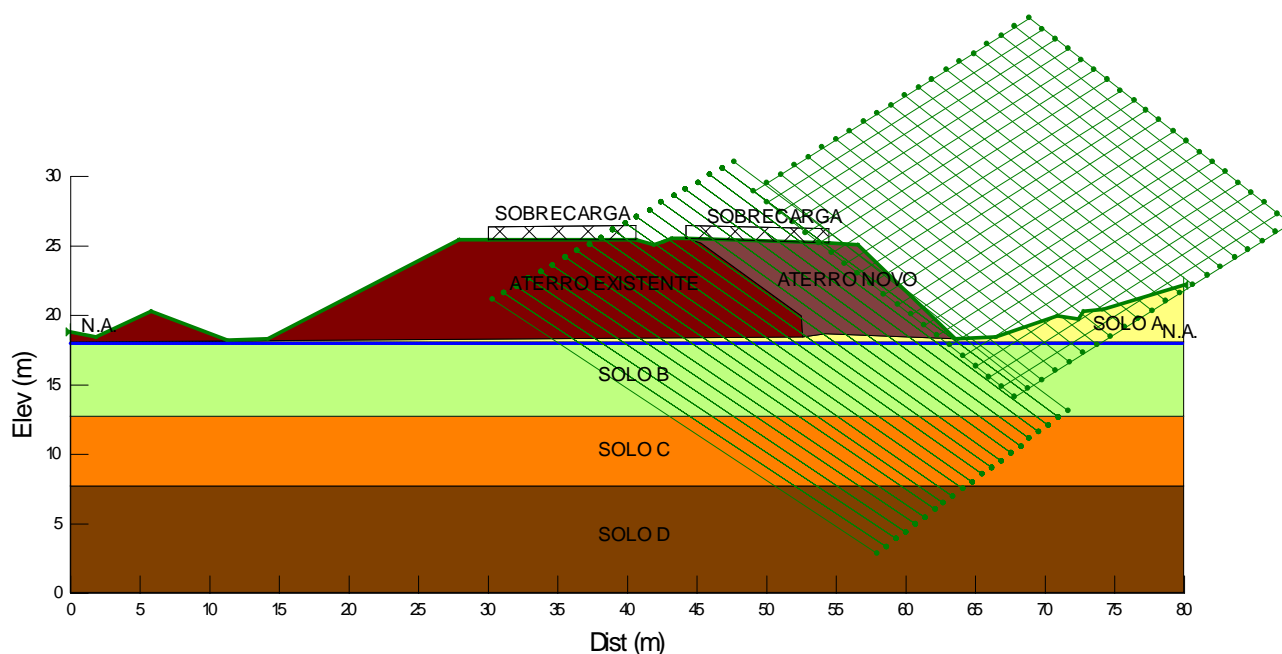
**Tabela 74.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila areno-siltosa	3-4	17	18	15	7000	0,4
B	Areia média pouco argilosa	4-6	17	5	26	8000	0,3
C	Silte areno-argiloso	4-7	17	18	25	8000	0,3
D	Silte areno-argiloso	16-20	19	25	28	9000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  – Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 74.2. Análises de Estabilidade

A Figura 74.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 182+000.



**Figura 74.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 182+000 - Aterro).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,553 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 74.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.



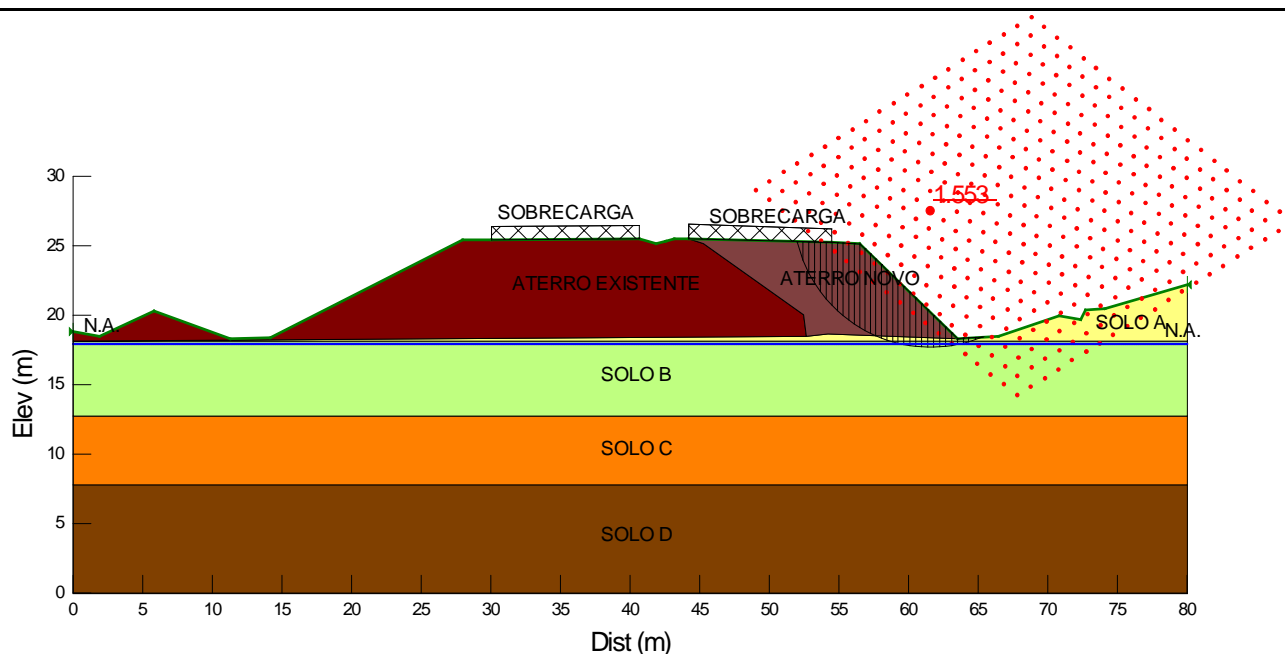
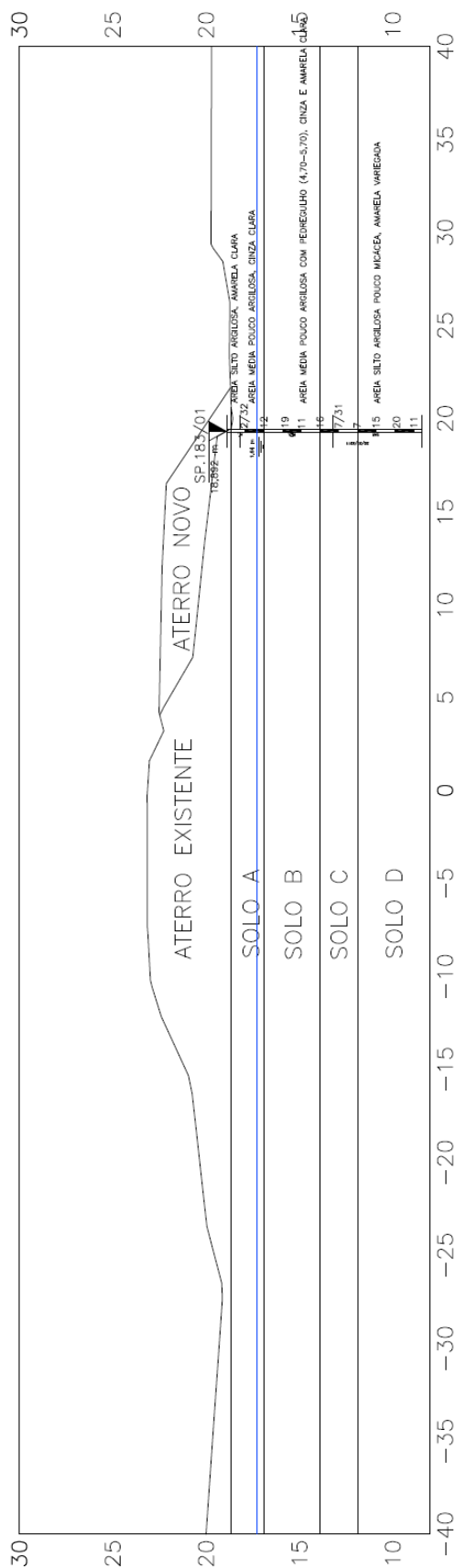


Figura 74.3– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 182+000 – Aterro).

## 75. ESTACA KM 183+120 (ATERRO)

### 75.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 75.1.



**Figura 75.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 183+120 - Aterro).

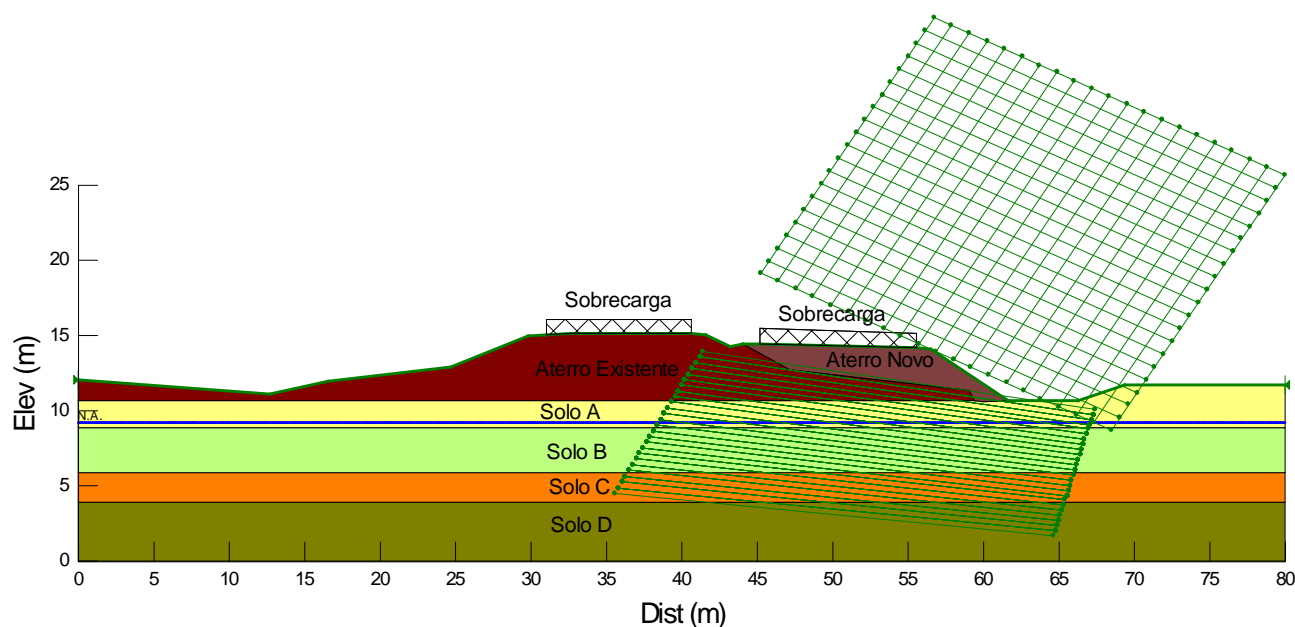
**Tabela 75.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Areia média pouco argilos	2	17	0	20	7000	0,35
B	Areia média pouco argilosa com pedregulho	11-19	18	5	39	11000	0,3
C	Areia silto-argilosa	7	17	5	26	8000	0,3
D	Areia silto-argilosa	11-20	18	10	29	10000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

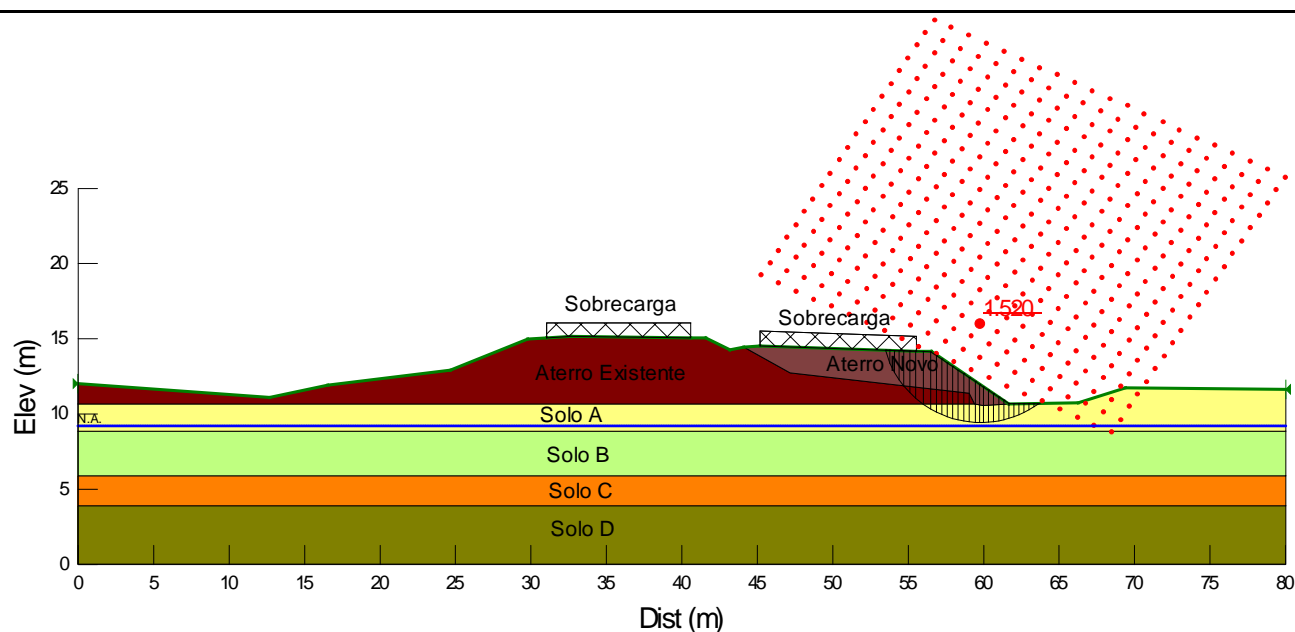
## 75.2. Análises de Estabilidade

A Figura 75.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 183+120.



**Figura 75.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 183+120 - Aterro).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,520 > 1,5, como ilustrado na Figura 75.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória.

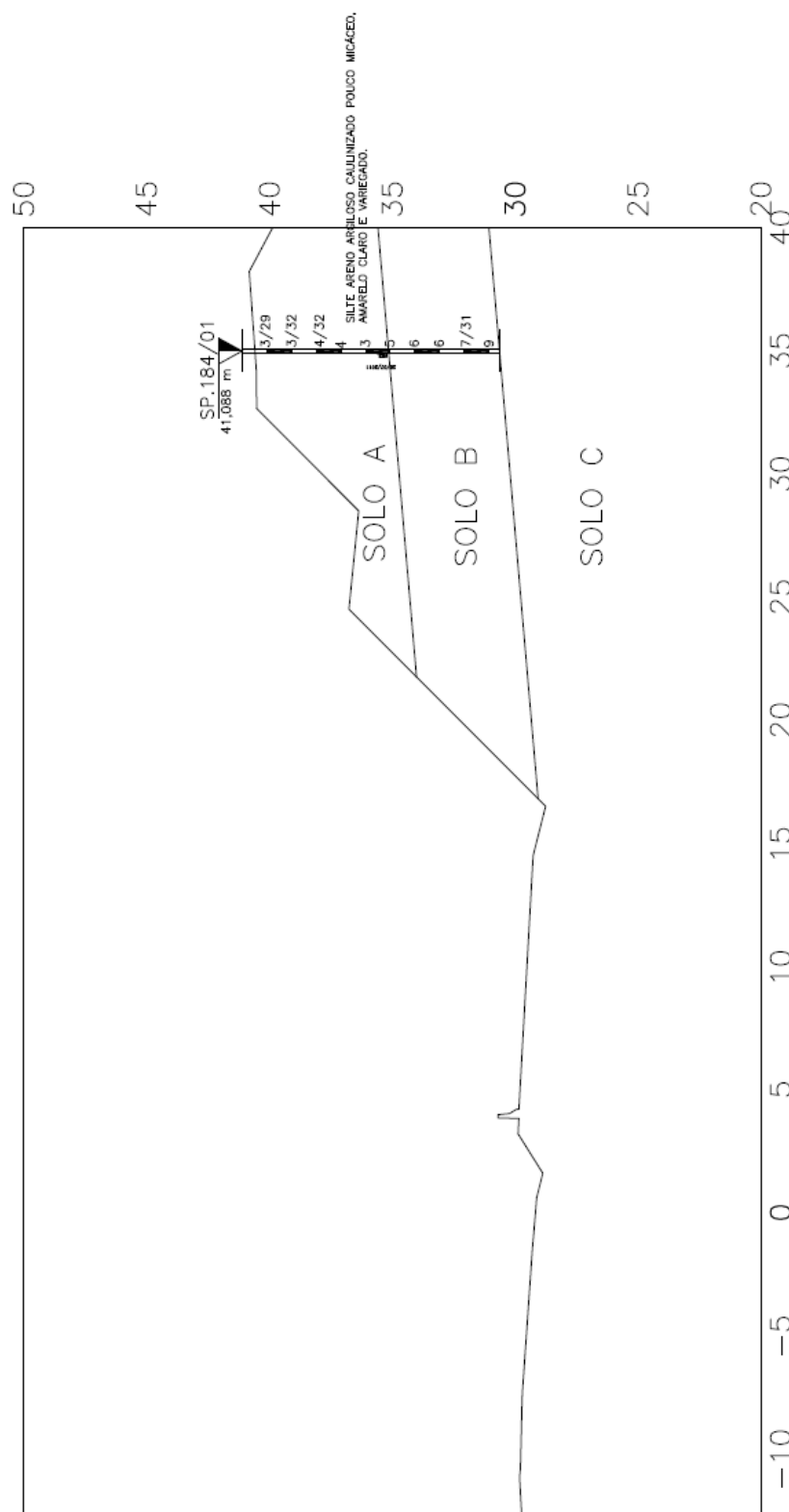


**Figura 75.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 183+120 – Aterro).

## 76. ESTACA KM 184+340 (CORTE)

### 76.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 76.1.



**Figura 76.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 184+340 – Corte).

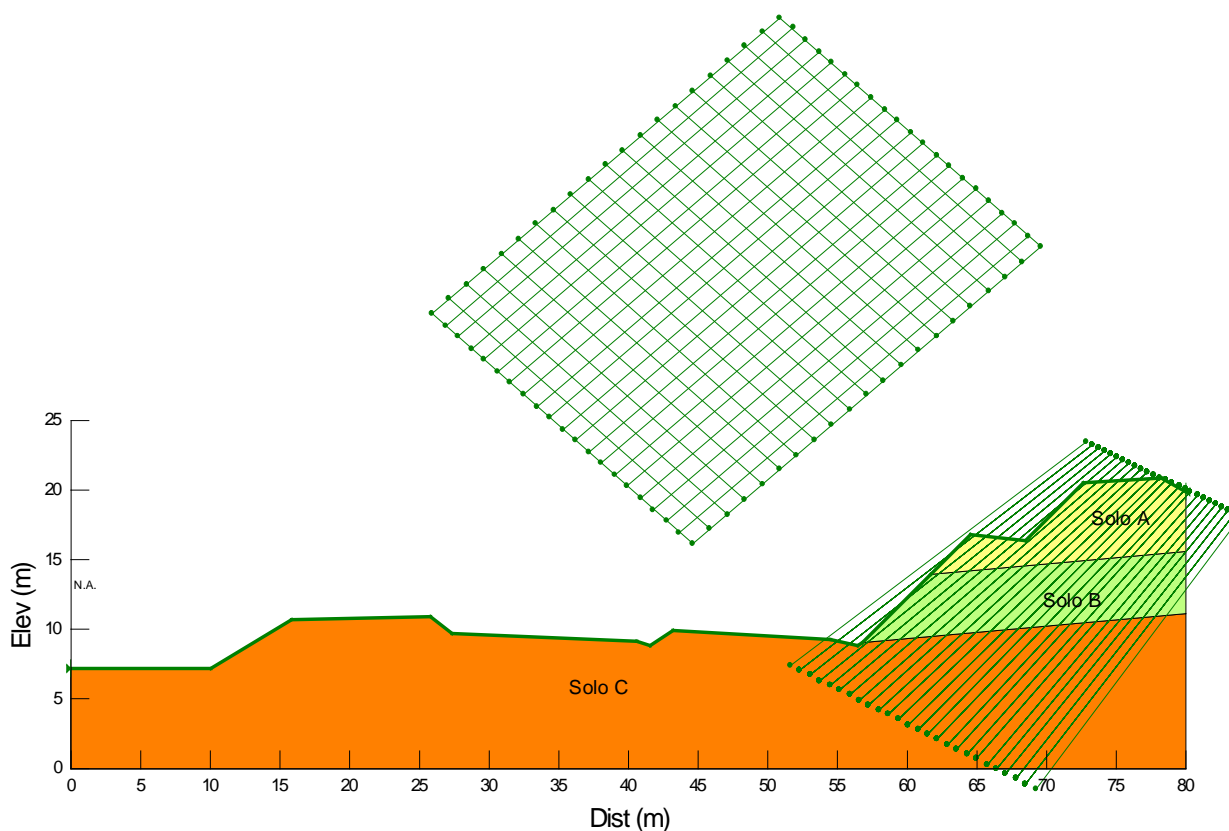
**Tabela 76.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Silte areno-argiloso	3-4	17	15	22
B	Silte areno-argiloso	5-9	18	18	25
C	Silte areno-argiloso	>9	18	20	26
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

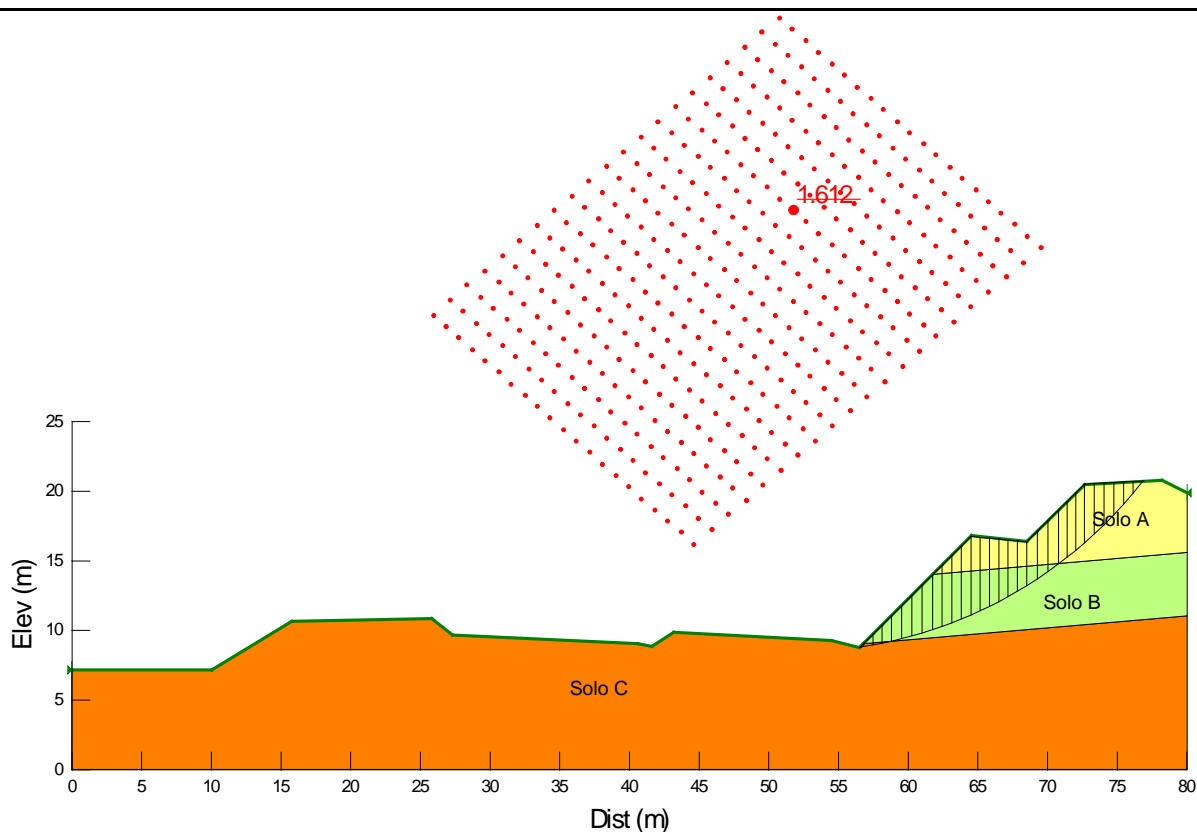
### 76.1. Análises de Estabilidade

A Figura 76.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 184+340.



**Figura 76.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 184+340 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,612 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 76.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

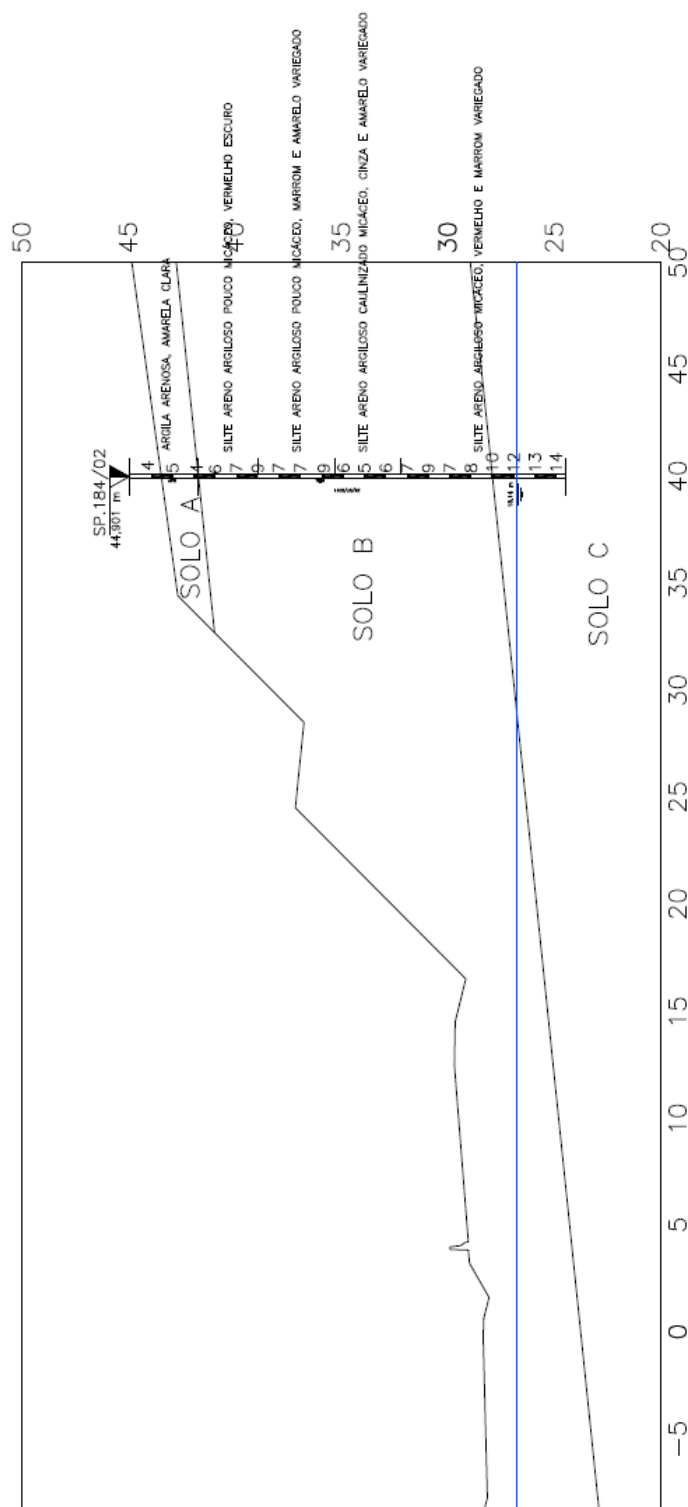


**Figura 76.3**– Superfície crítica de ruptura – FS<sub>min</sub> (Estaca km 184+340 - Corte).

## 77. ESTACA KM 184+620 (CORTE)

### 77.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 77.1.



**Figura 77.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 184+620 – Corte).



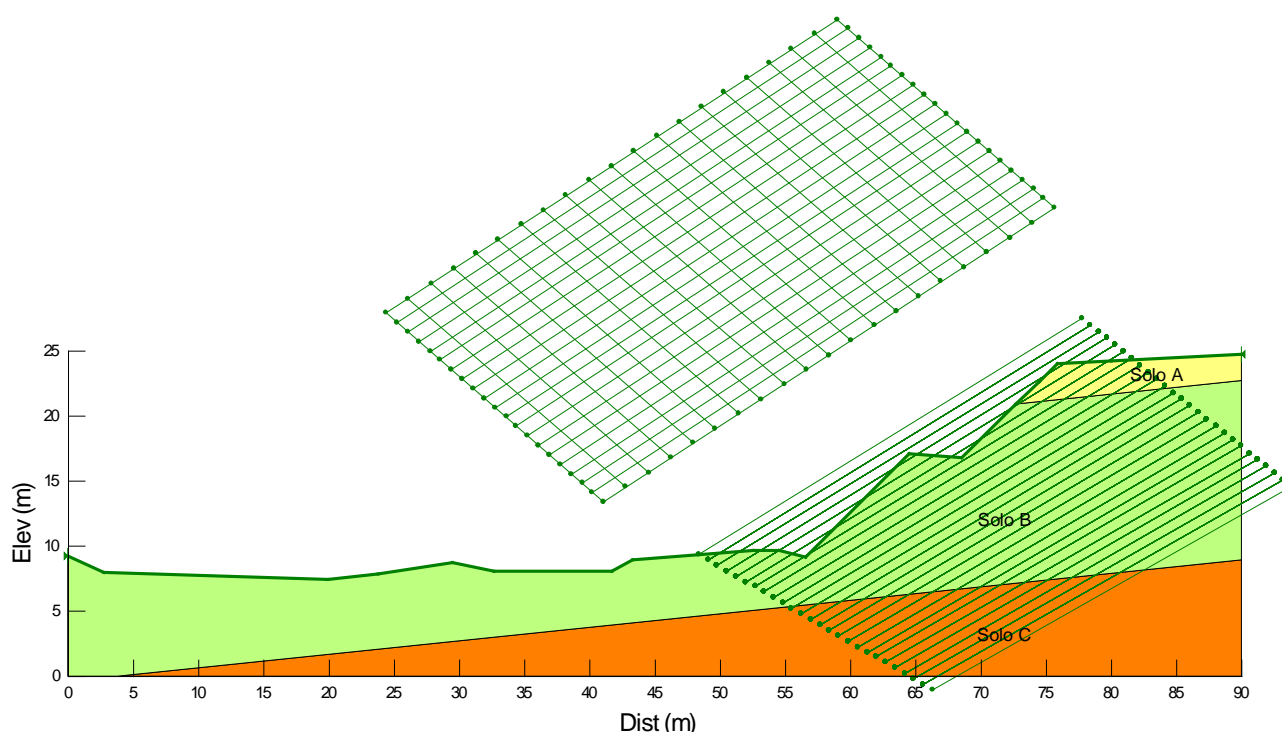
**Tabela 77.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila arenosa	4-5	17	18	15
B	Silte areno-argiloso	6-9	18	18	25
C	Silte areno-argiloso	10-14	18	22	28
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 77.2. Análises de Estabilidade

A Figura 77.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 184+620.



**Figura 77.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 184+620 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas as superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de FS = 1,507 > 1,5, como ilustrado na Figura 77.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

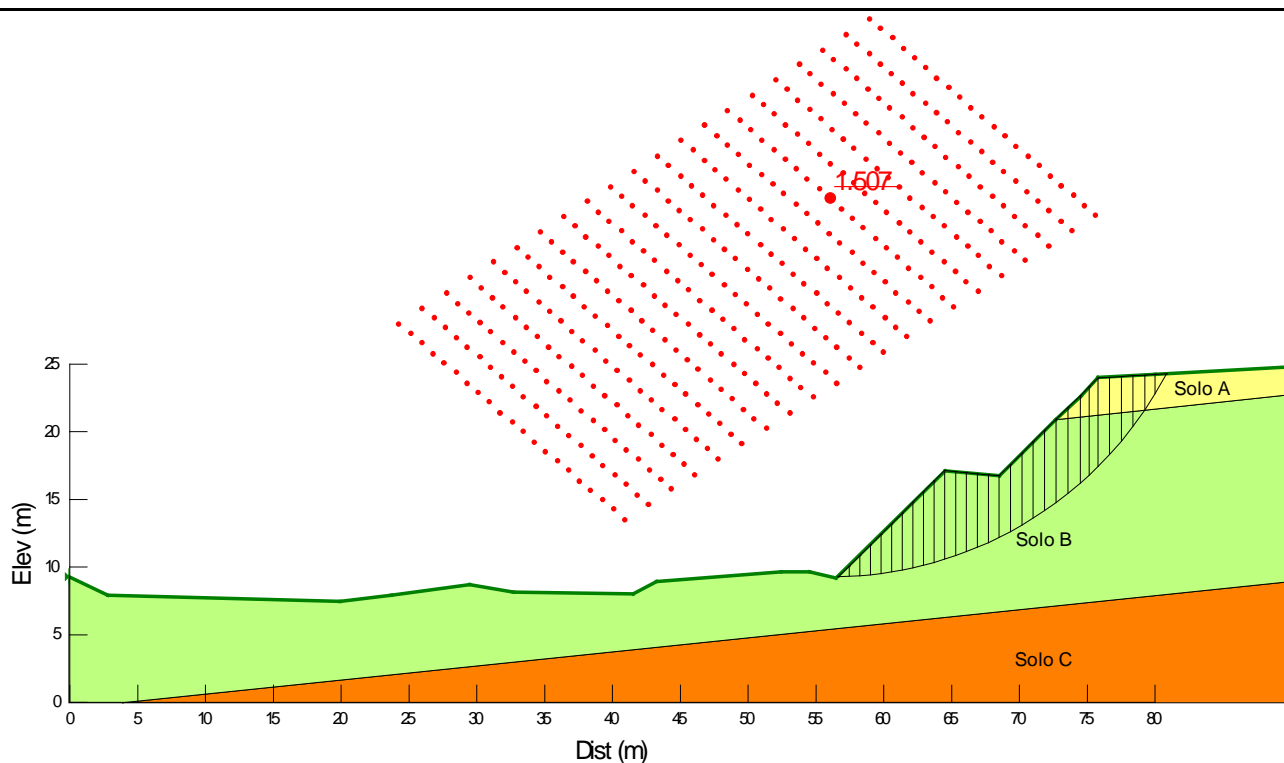
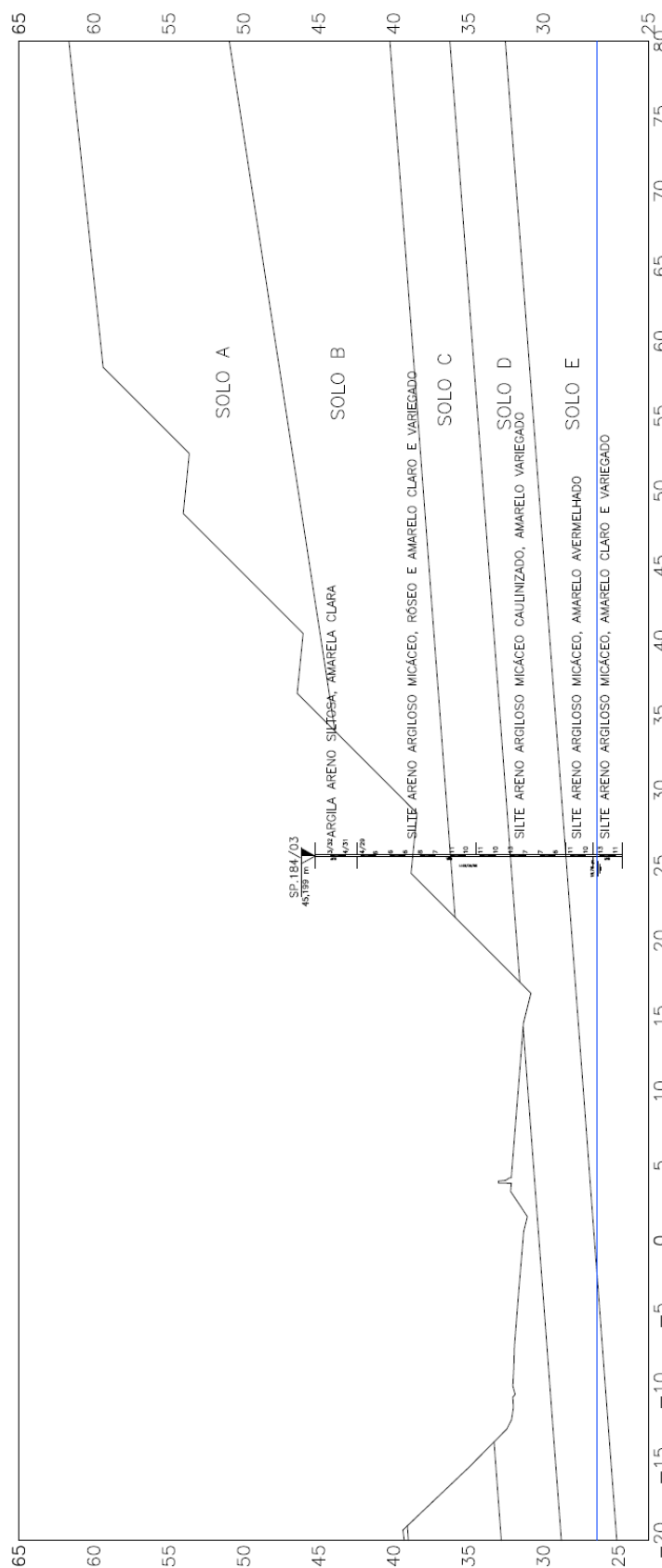


Figura 77.3– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 184+620 - Corte).

## 78. ESTACA KM 184+940 (CORTE)

### 78.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 78.1.



**Figura 78.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 184+940 – Corte).

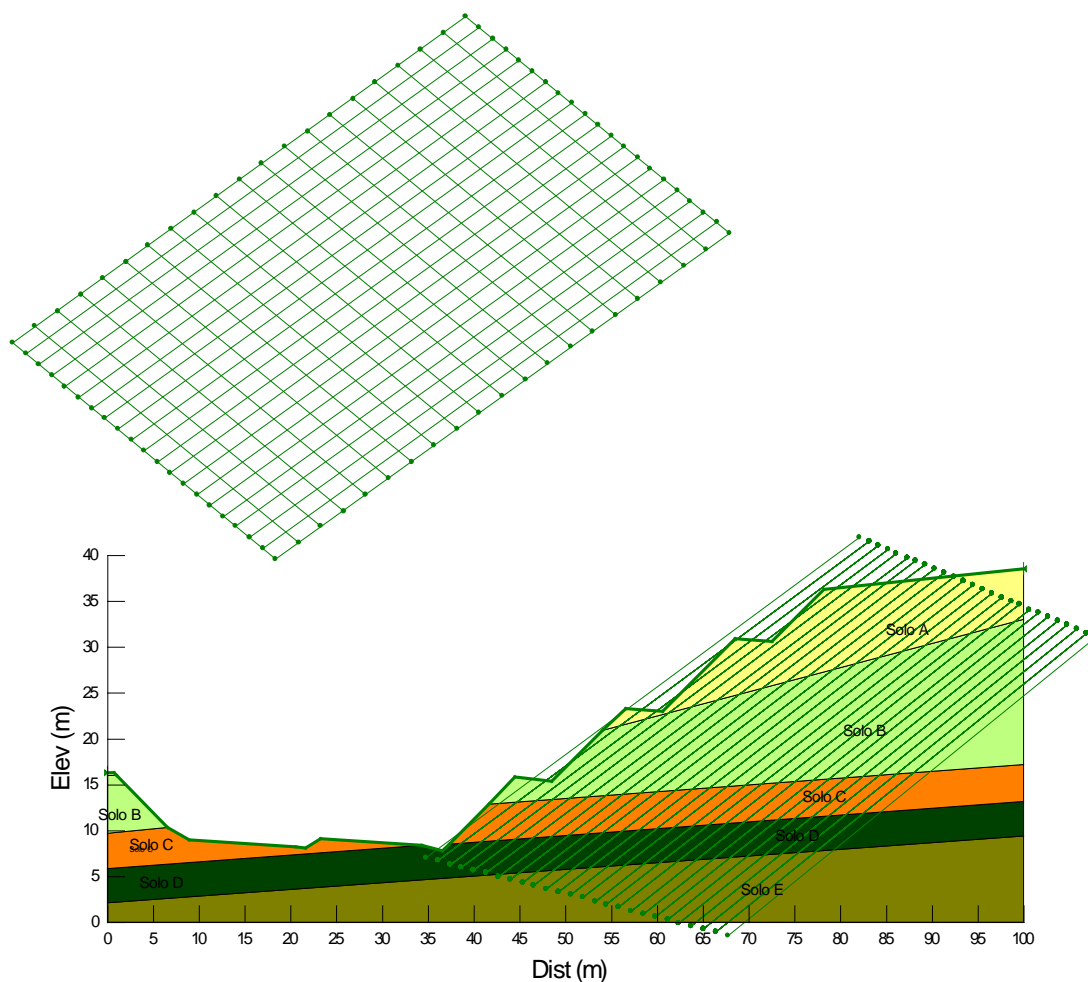
**Tabela 78.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	3-4	17	18	20
B	Silte areno-argiloso	6-8	18	18	25
C	Silte areno-argiloso	10-13	18	20	27
D	Silte areno-argiloso	6-7	18	18	25
E	Silte areno-argiloso	10-13	18	20	26
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

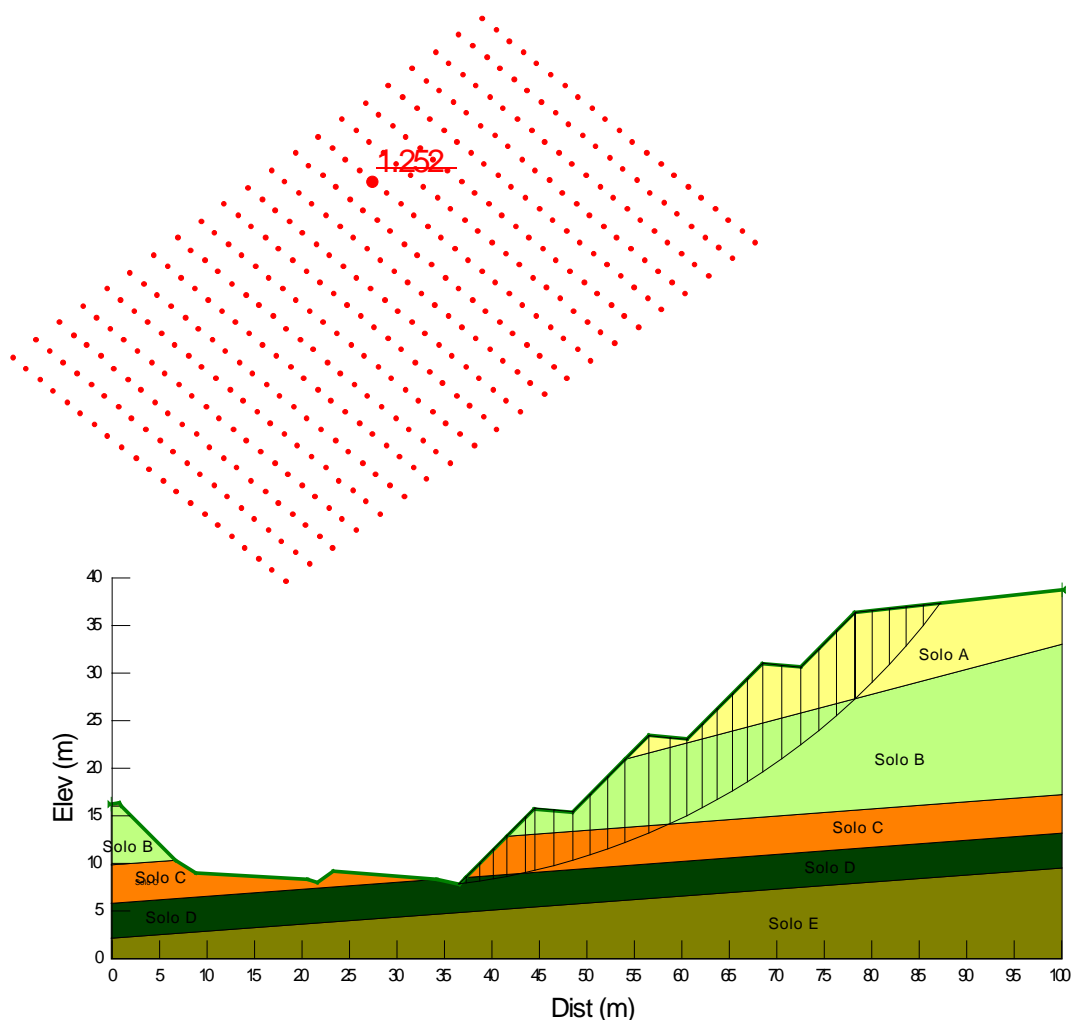
## 78.2. Análises de Estabilidade

A Figura 78.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 184+940.



**Figura 78.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 184+940 - Corte).

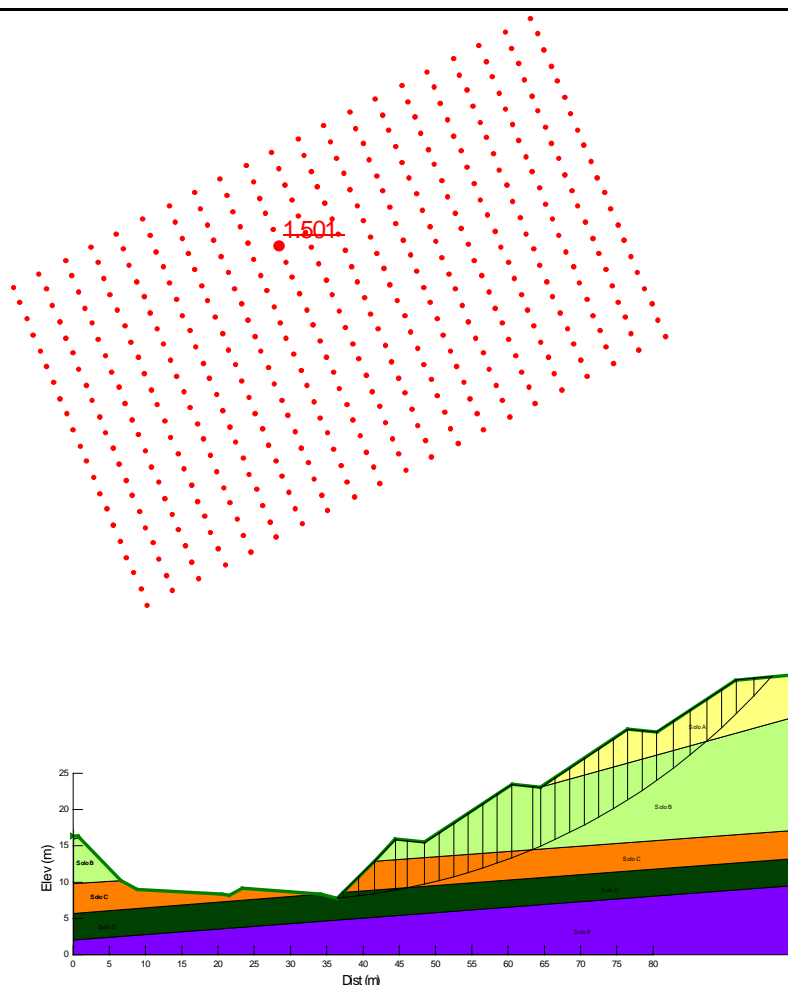
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais resultou superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,252 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 78.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 78.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 184+940 - Corte).

### **Utilização de talude abatido**

A Figura 78.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos 3 (três) lances superiores do corte (1,5:1, H:V).



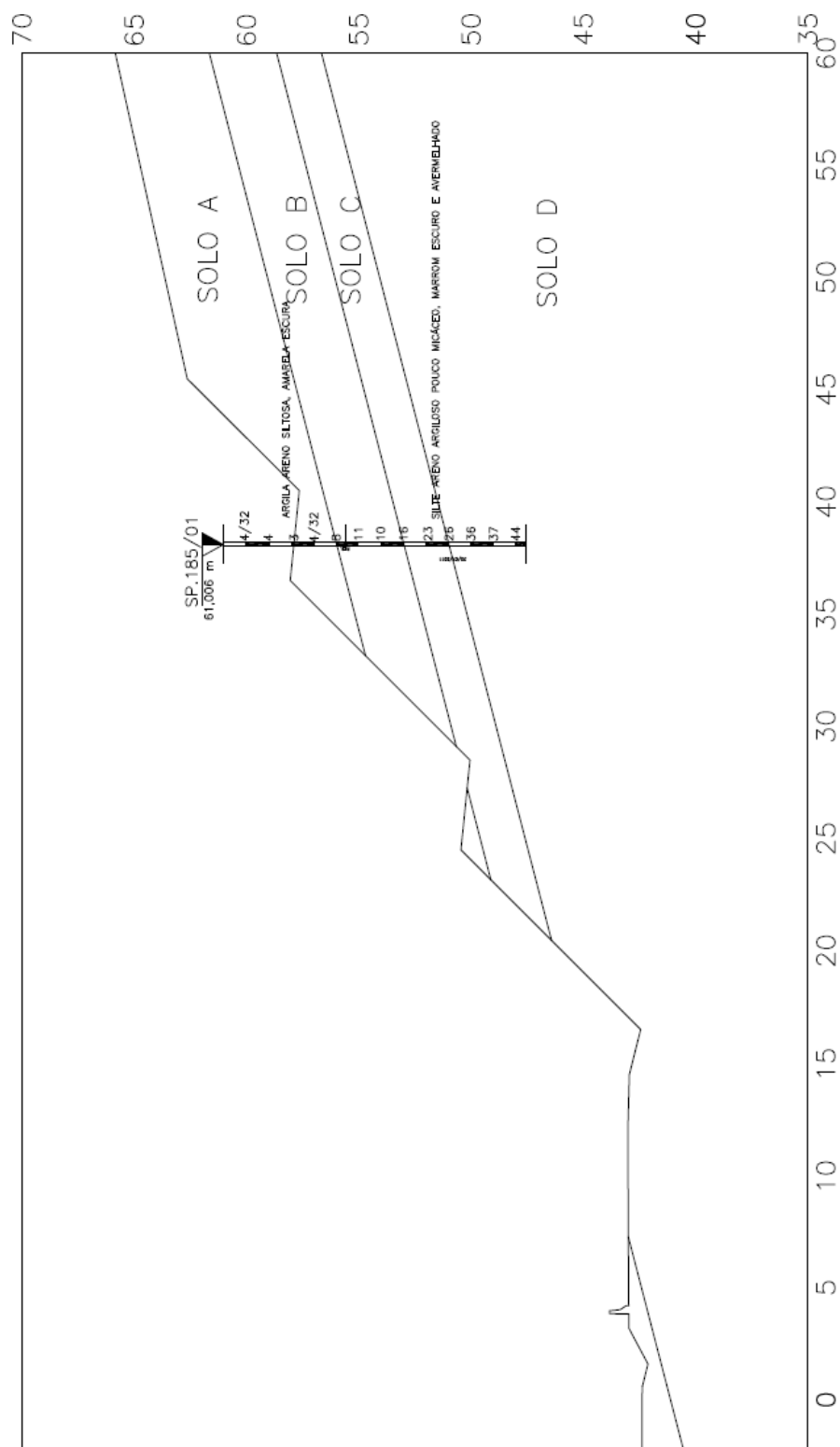
**Figura 78.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 171+700 - Corte, Taludes abatidos).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais resultou a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,501$ , como ilustrado na Figura 78.4. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com solução proposta por esta consultoria.

## 79. ESTACA KM 185+900 (CORTE)

### 79.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 79.1.



**Figura 79.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 185+900 – Corte).

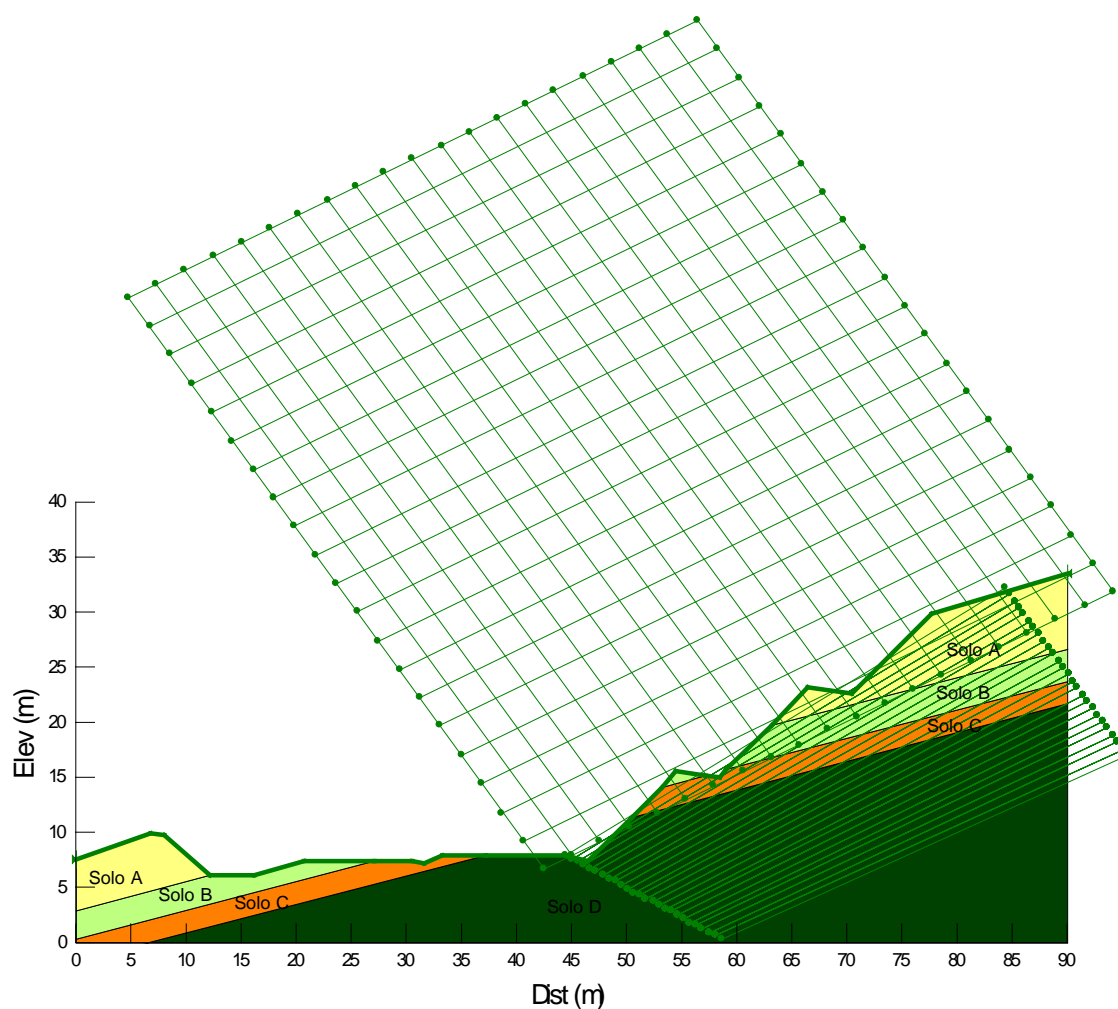
**Tabela 79.1–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	3-4	17	18	20
B	Silte areno-argiloso	10-16	18	20	26
C	Silte areno-argiloso	23-26	19	20	29
D	Silte areno-argiloso	>35	20	25	31
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson

## 79.2. Análises de Estabilidade

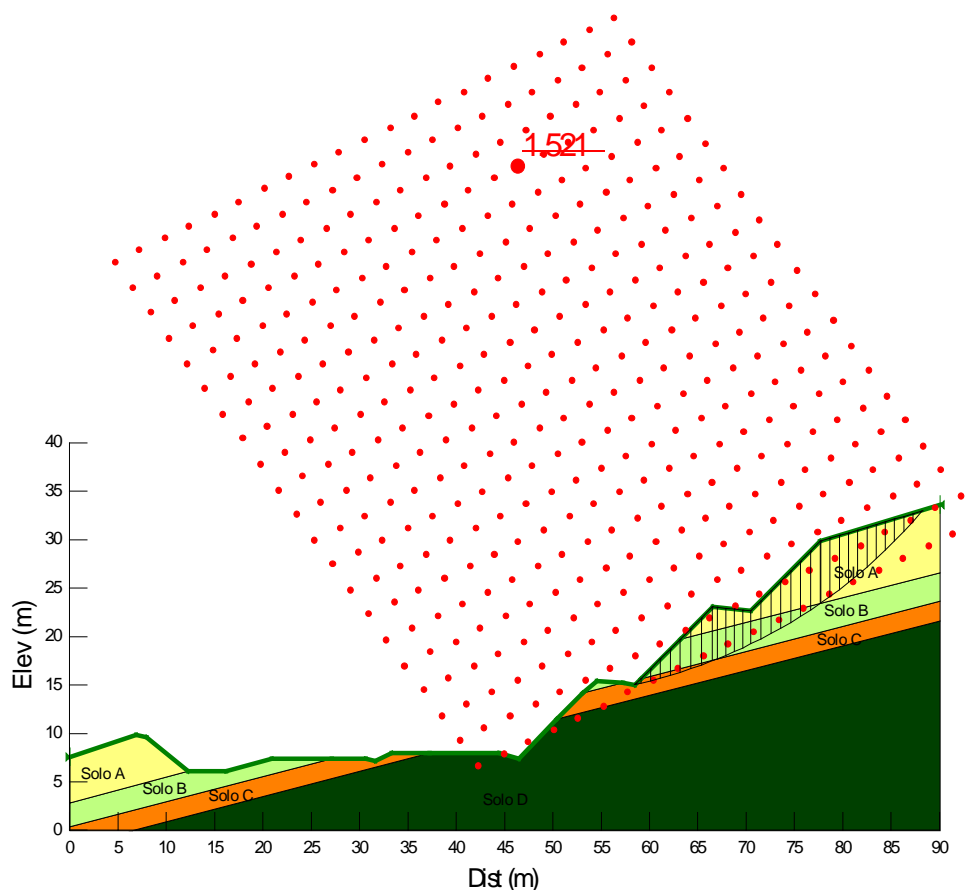
A Figura 79.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 185+900.



**Figura 79.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 185+900 - Corte).



Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais resultou a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,521 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 79.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

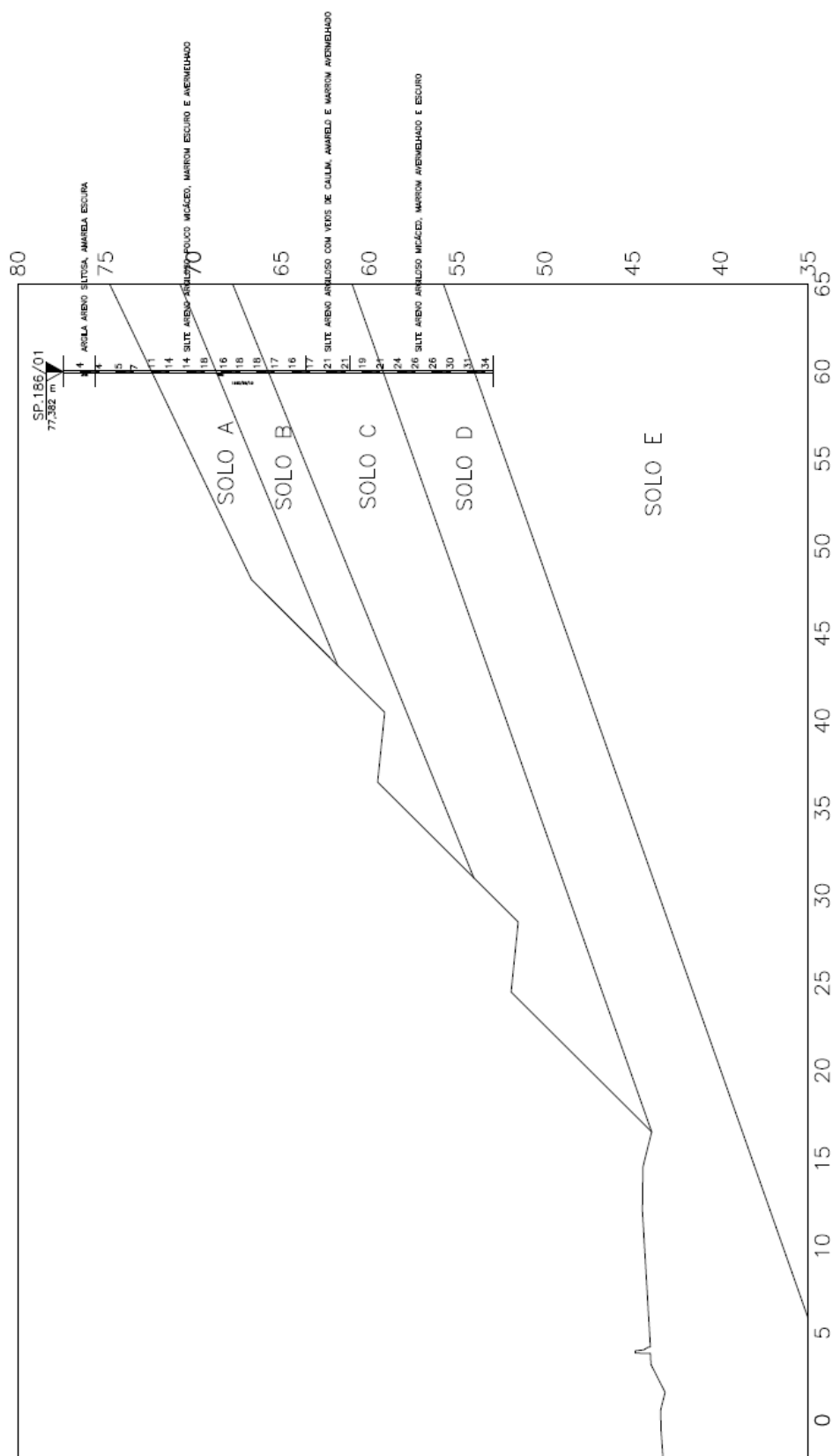


**Figura 79.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 185+900 - Corte).

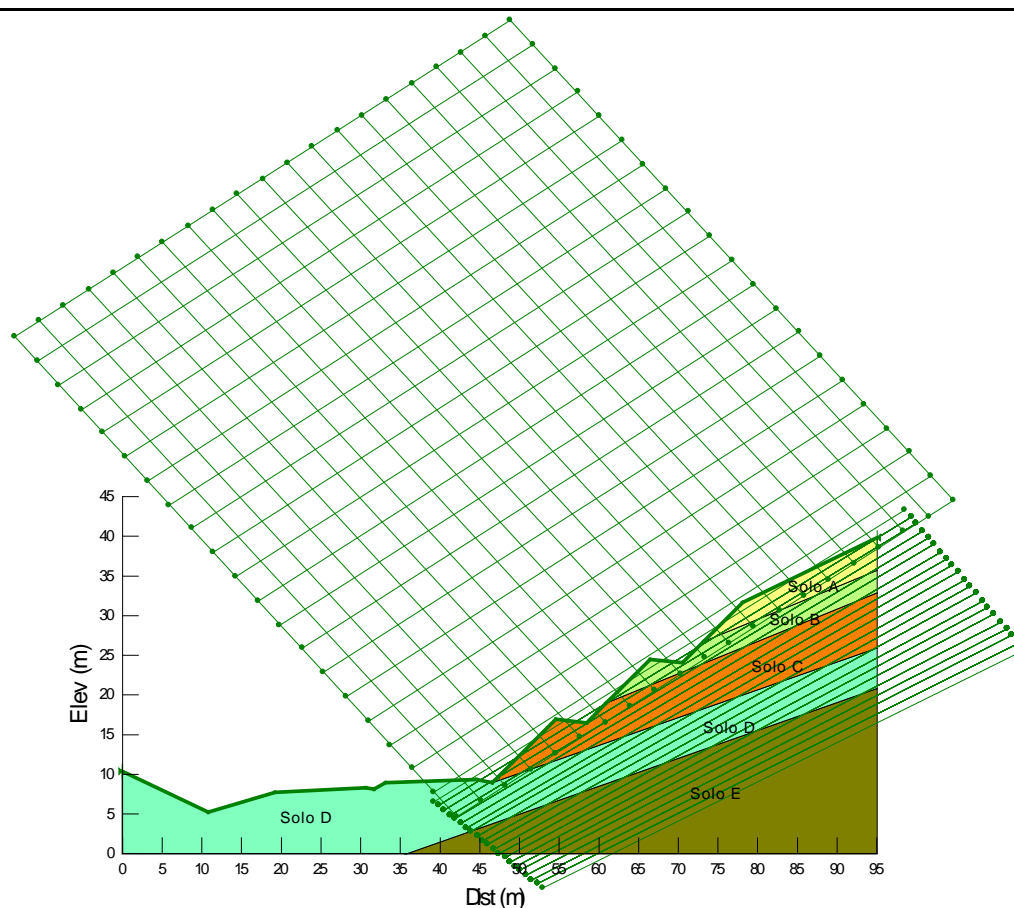
## 80. ESTACA KM 185+981.893 (CORTE)

### 80.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 80.1.

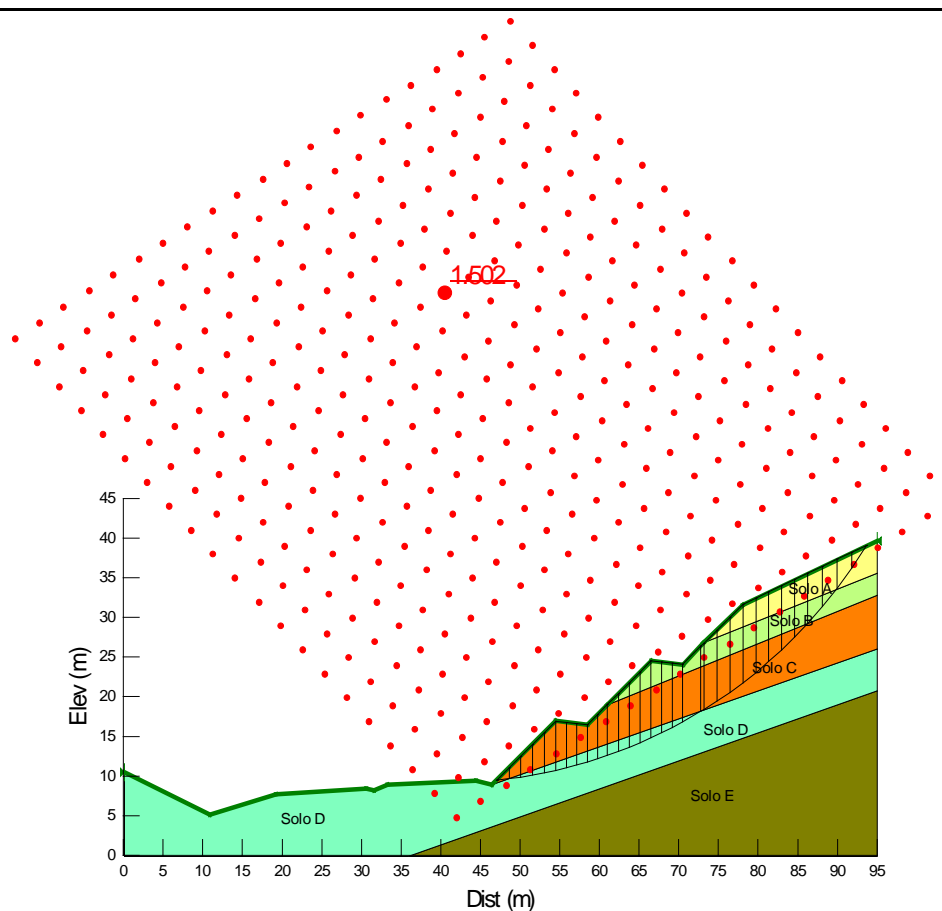


**Figura 80.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 185+981.893 – Corte).



**Figura 80.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 185+981.893 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,502 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 80.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

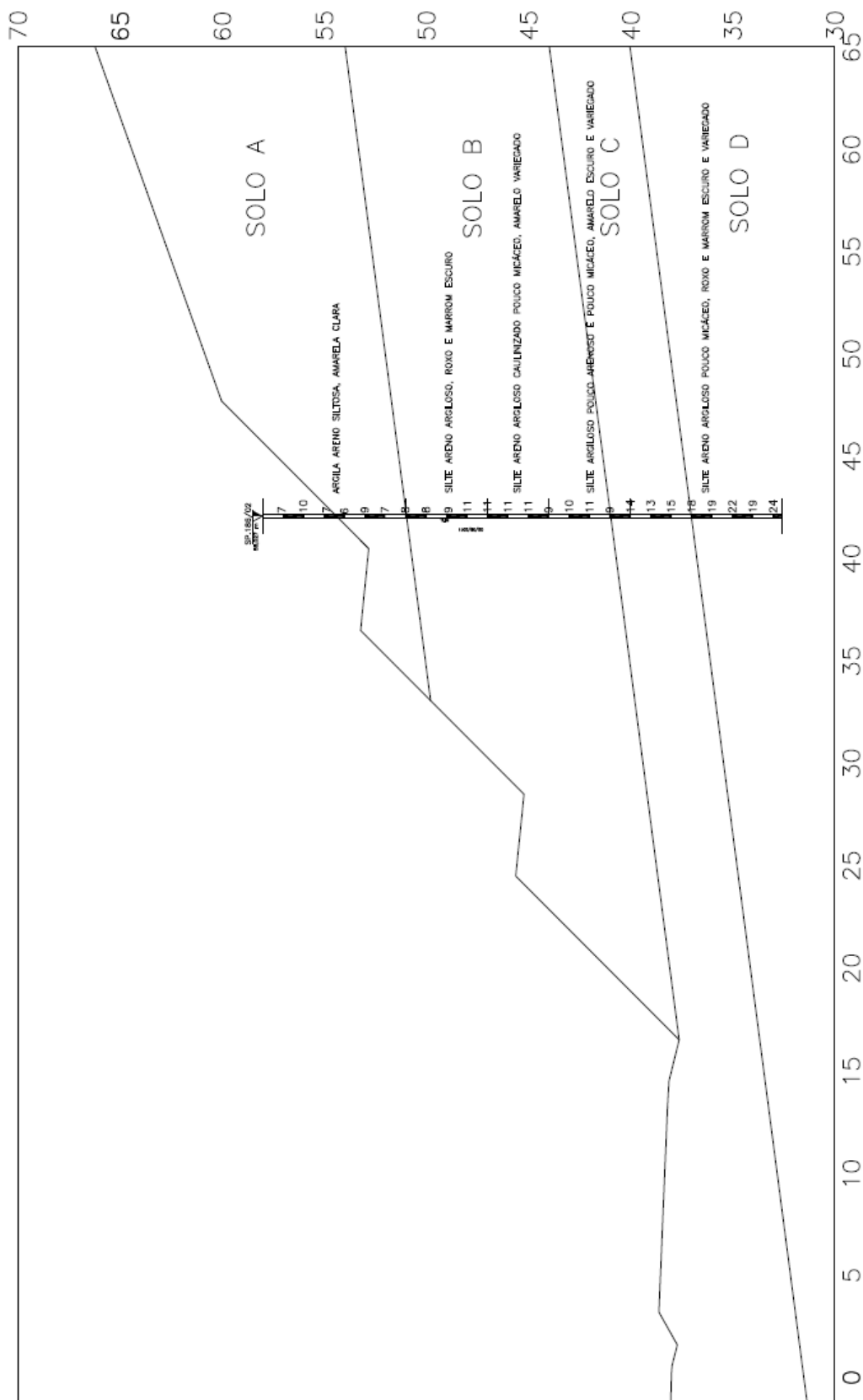


**Figura 80.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 185+981.893 - Corte).

## 81. ESTACA KM 186+540 (CORTE)

### 81.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 81.1.



**Figura 81.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 186+540 – Corte).

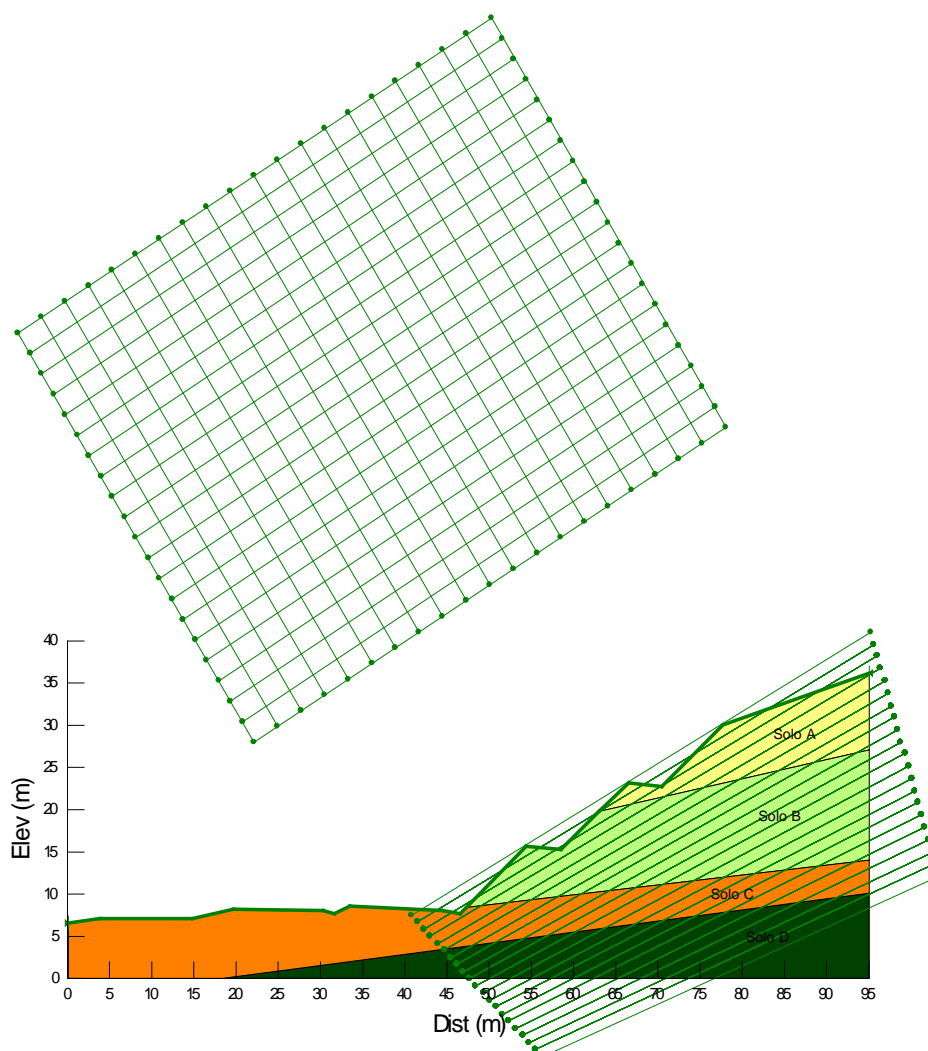
**Tabela 81.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	7-10	18	25	20
B	Silte areno-argiloso	8-11	18	20	27
C	Silte areno-argiloso	14-15	18	25	28
D	Silte areno-argiloso	19-24	19	28	30
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

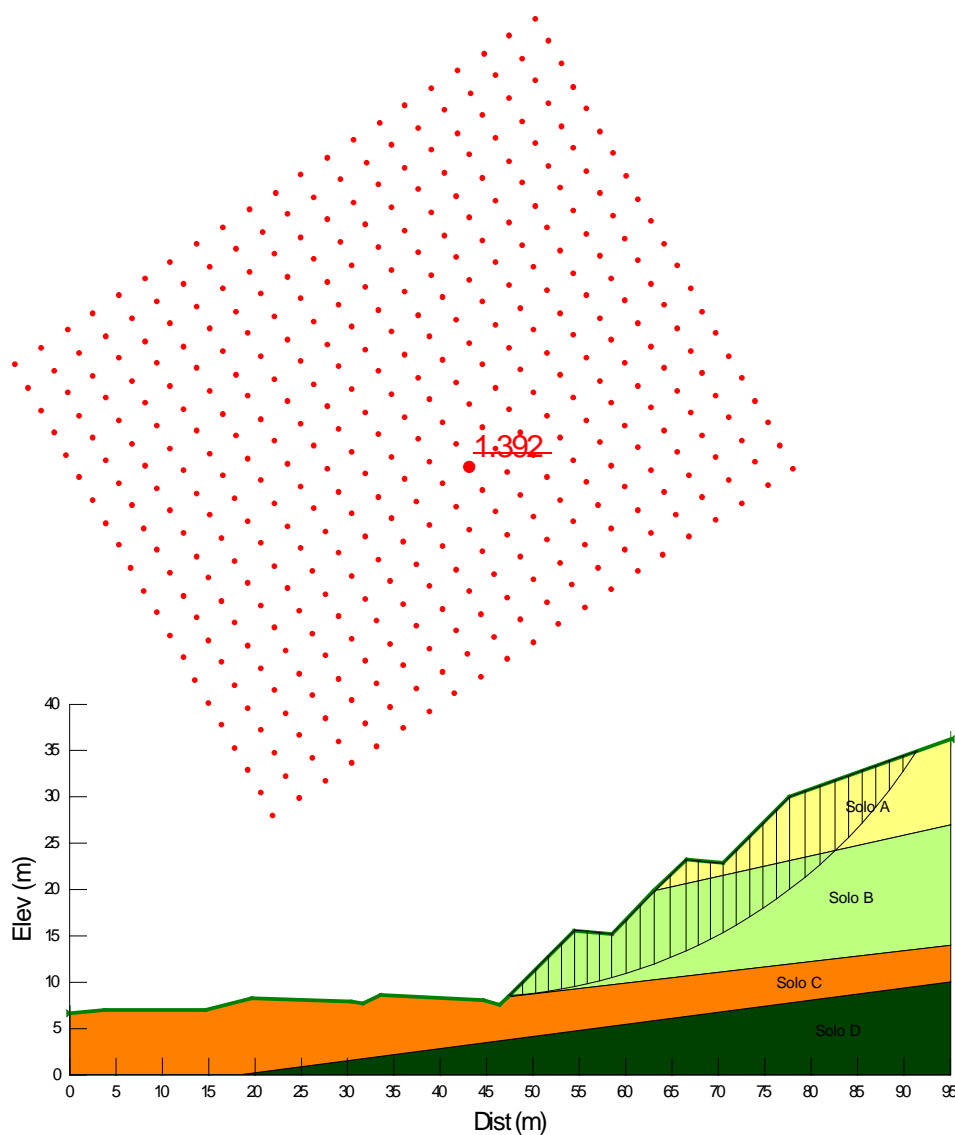
### 81.2. Análises de Estabilidade

A Figura 81.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 186+540.



**Figura 81.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 186+540 - Corte).

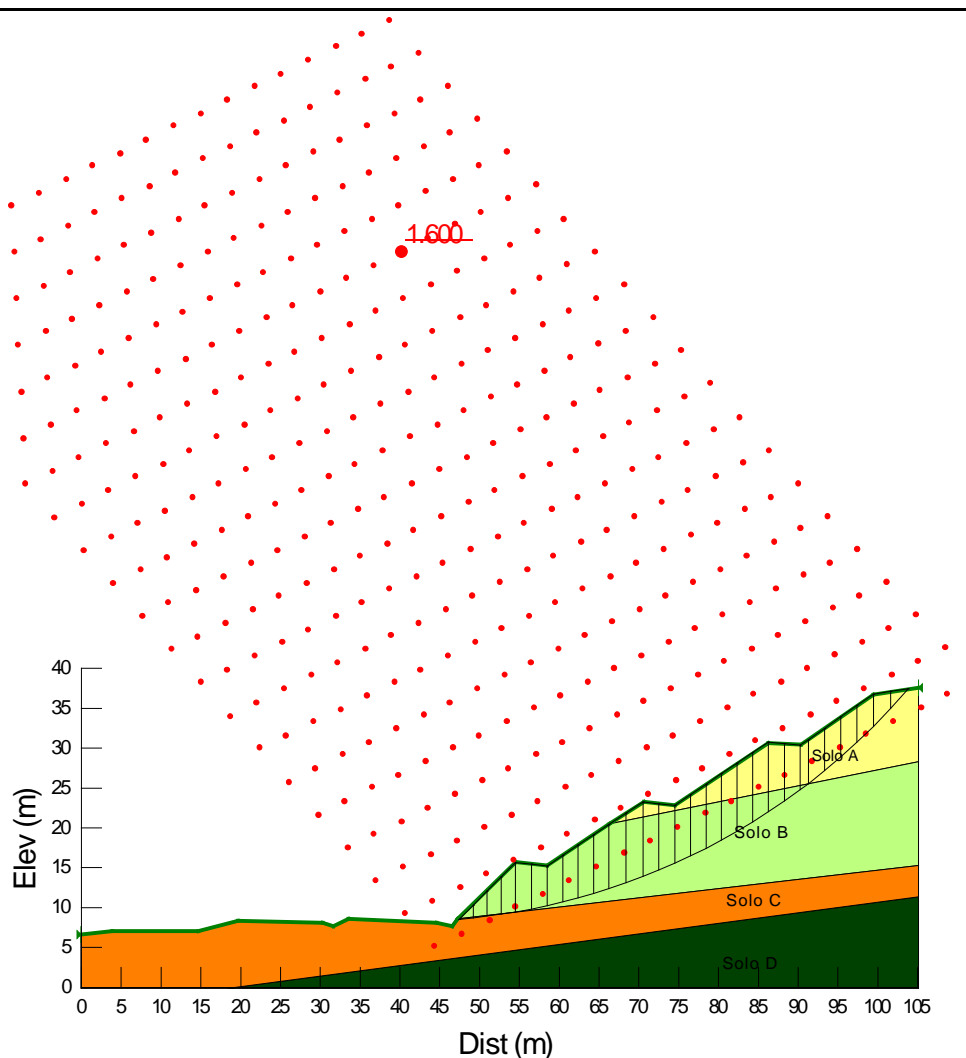
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,392 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 81.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 81.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 186+540 - Corte).

### **Utilização de talude abatido**

A Figura 81.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos 2 (dois) lances superiores do corte (1,5:1, H:V).



**Figura 81.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 186+540 - Corte, Taludes abatidos).

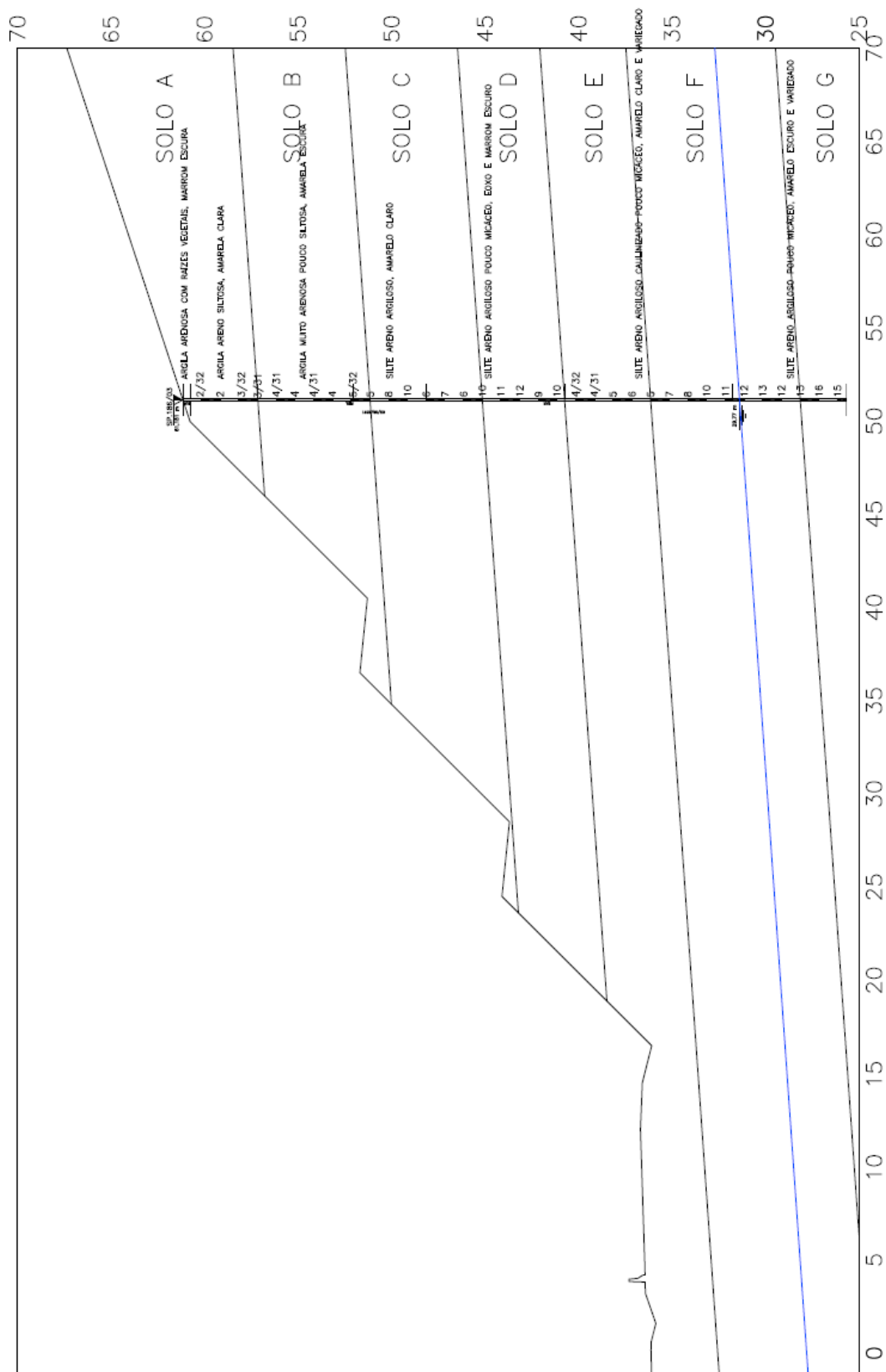
O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,600$ , como ilustrado na Figura 81.4. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a solução de estabilização proposta por esta consultoria.

## 82. ESTACA KM 186+760 (CORTE)

### 82.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 82.1.





**Figura 82.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 186+760 – Corte)

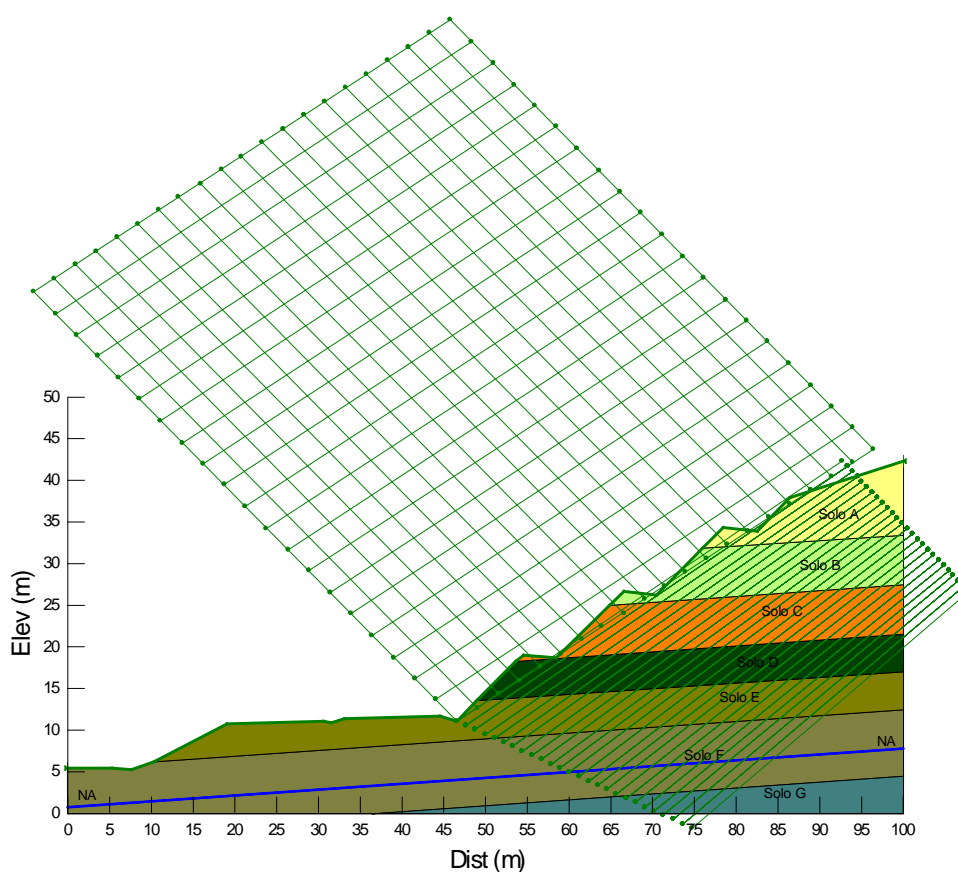
**Tabela 82.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	2-3	17	16	15
B	Argila muito arenosa pouco siltosa	4-5	17	20	20
C	Silte areno-argiloso	6-10	18	18	25
D	Silte areno-argiloso	9-12	18	20	27
E	Silte areno-argiloso	4-6	17	15	25
F	Silte areno-argiloso	7-12	18	20	27
G	Silte areno-argiloso	13-16	18	22	28
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

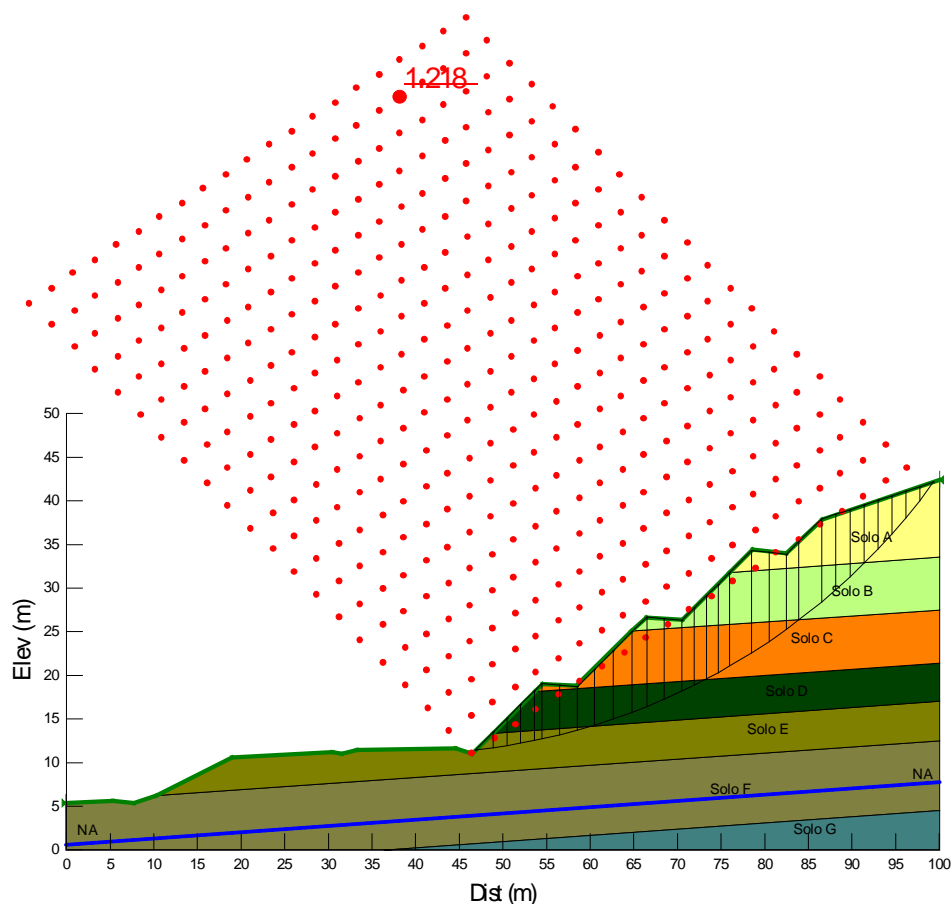
## 82.2. Análises de Estabilidade

A Figura 82.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 186+760.



**Figura 82.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 186+760 - Corte).

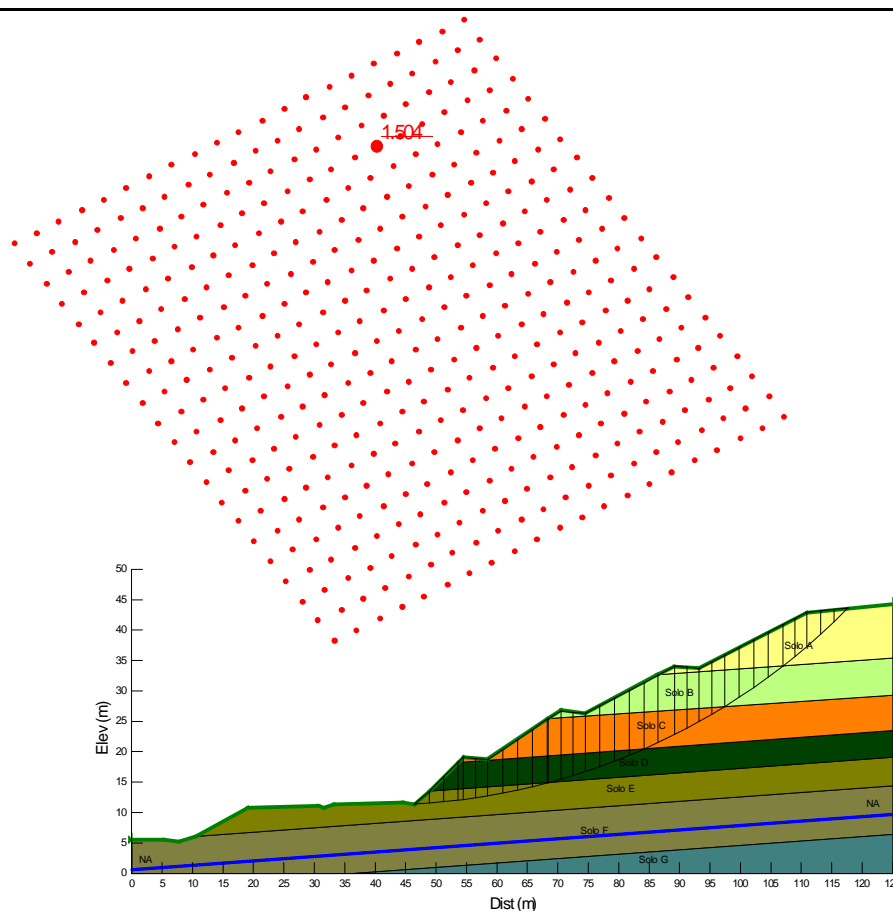
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,218 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 82.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 82.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 186+760 - Corte).

### **Utilização de talude abatido**

A Figura 82.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos três lances superiores do corte, sendo o 2º lance de talude (de baixo pra cima) com inclinação de 1,5:1 (H:V) e o 3º e 4º lances de talude (de baixo pra cima) com inclinação de 2:1 (H:V).



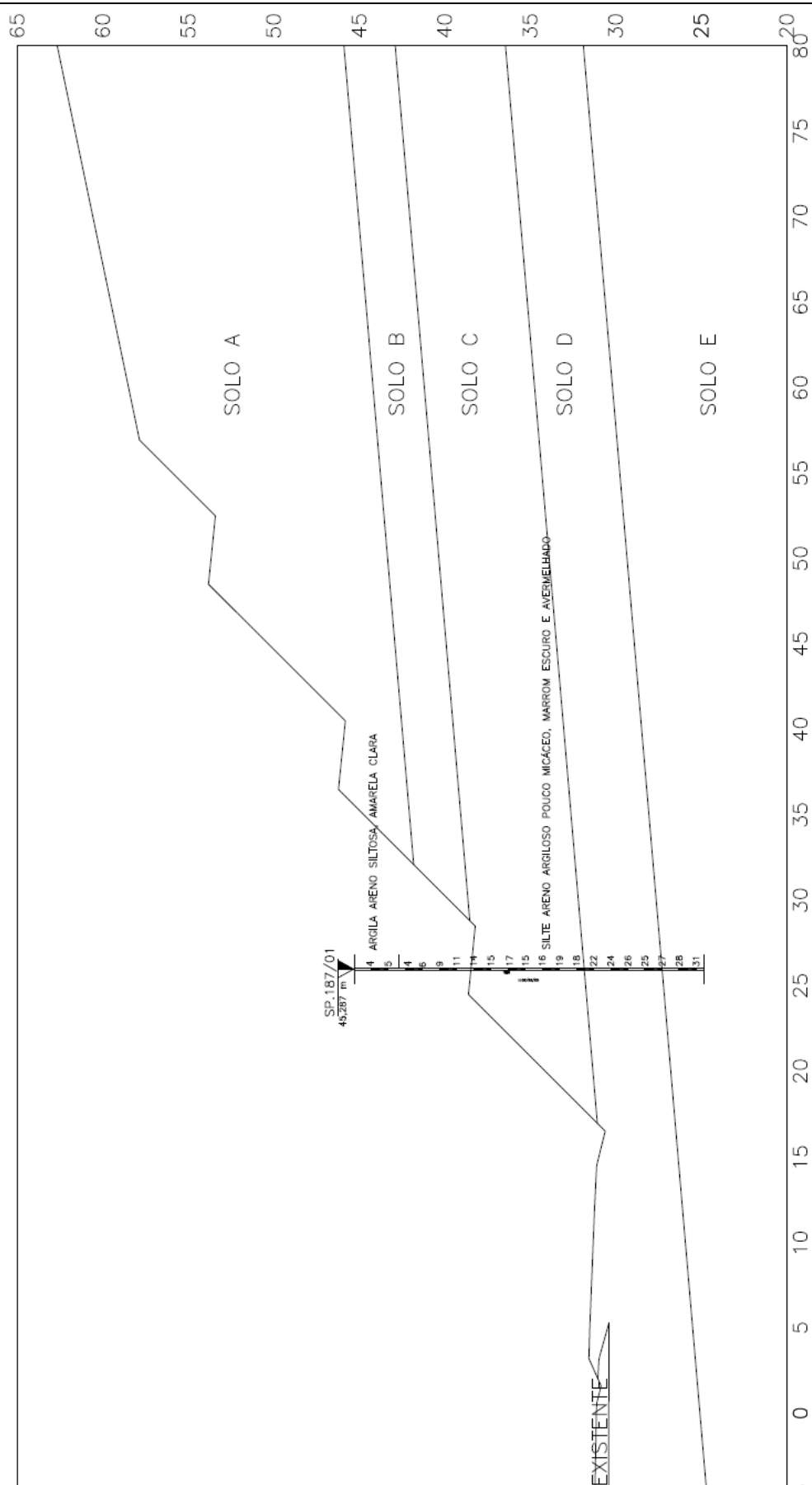
**Figura 82.4** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 186+760 - Corte, Taludes abatidos).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,504$ , como ilustrado na Figura 15.4. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de corte apresenta estabilidade satisfatória com a soçução de estabilização proposta por esta consultoria.

### 83. ESTACA KM 187+120 (CORTE)

#### 83.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 83.1.



**Figura 83.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 187+120 – Corte).

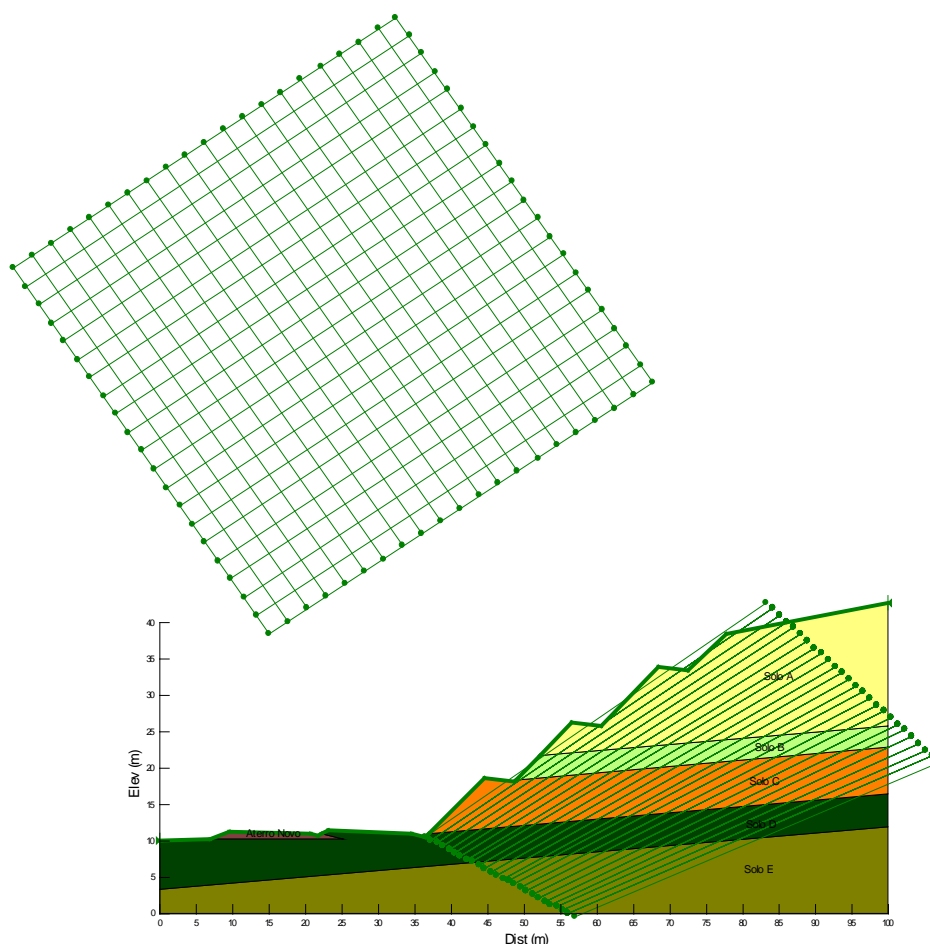
**Tabela 83.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	4-6	17	20	20
B	Silte areno-argiloso	9-14	18	18	25
C	Silte areno-argiloso	14-19	18	22	27
D	Silte areno-argiloso	22-27	19	25	30
E	Silte areno-argiloso	28-31	20	25	32
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

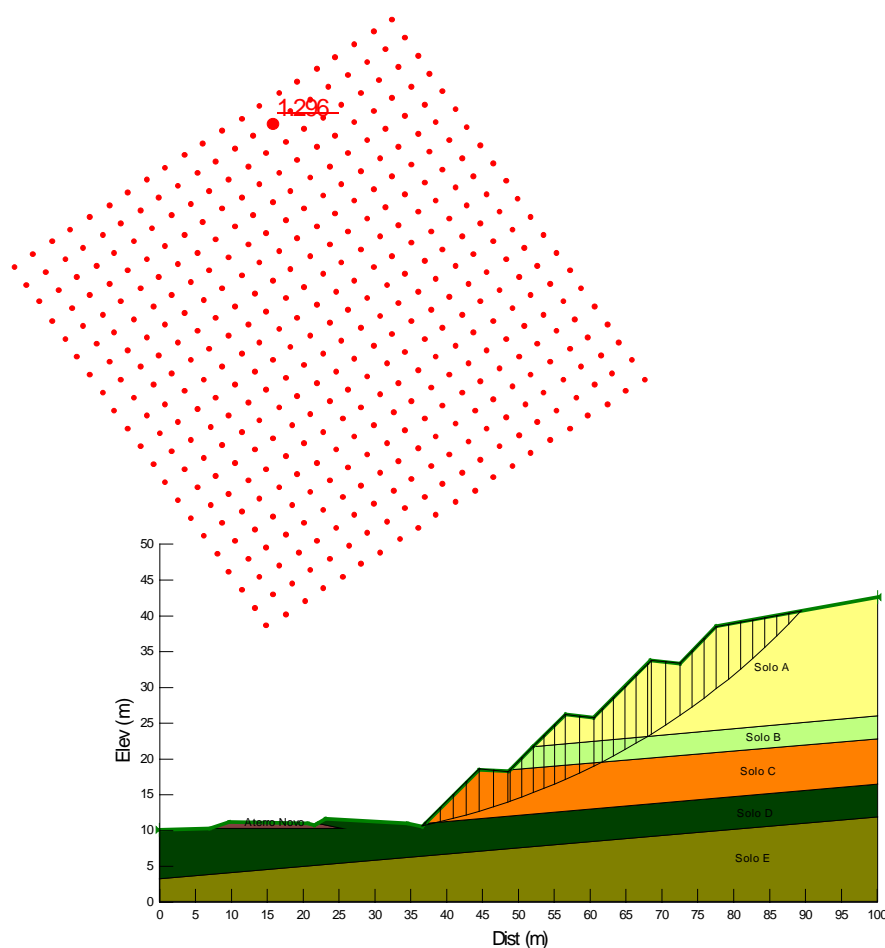
### 83.2. Análises de Estabilidade

A Figura 83.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 187+120.



**Figura 83.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 187+120 - Corte).

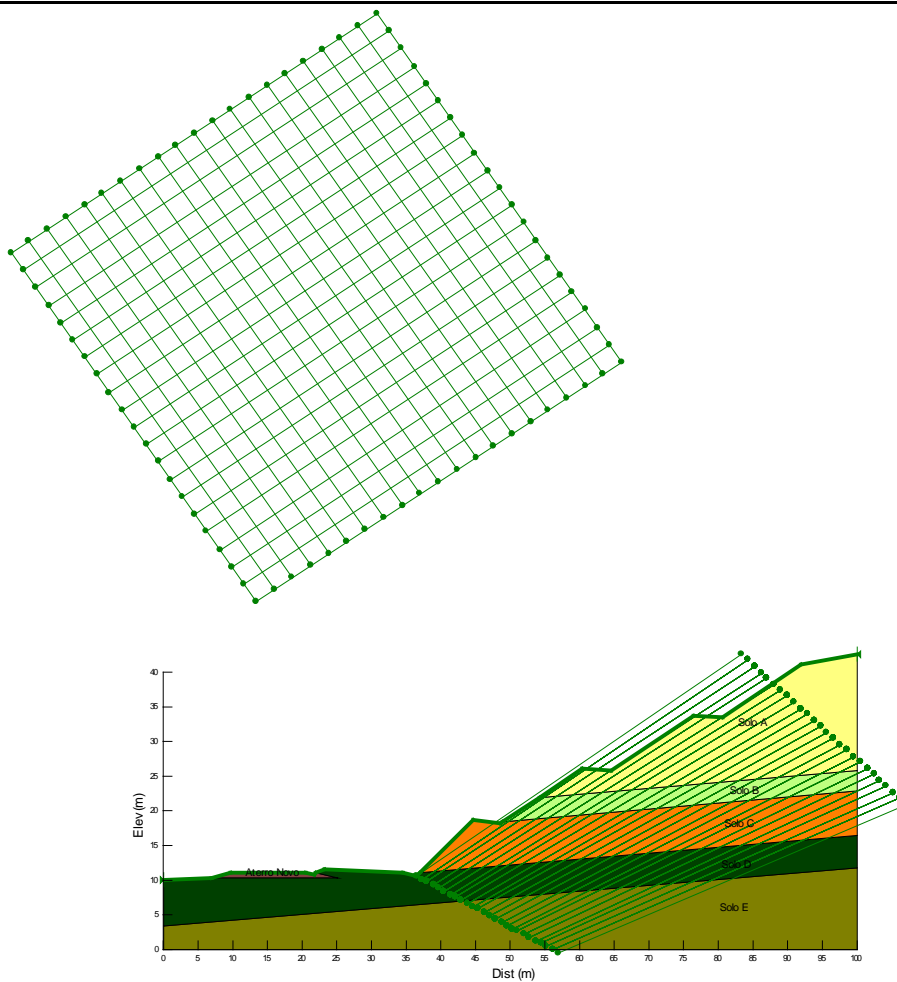
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,296 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 83.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 83.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 187+120 - Corte).

### **Utilização de talude abatido**

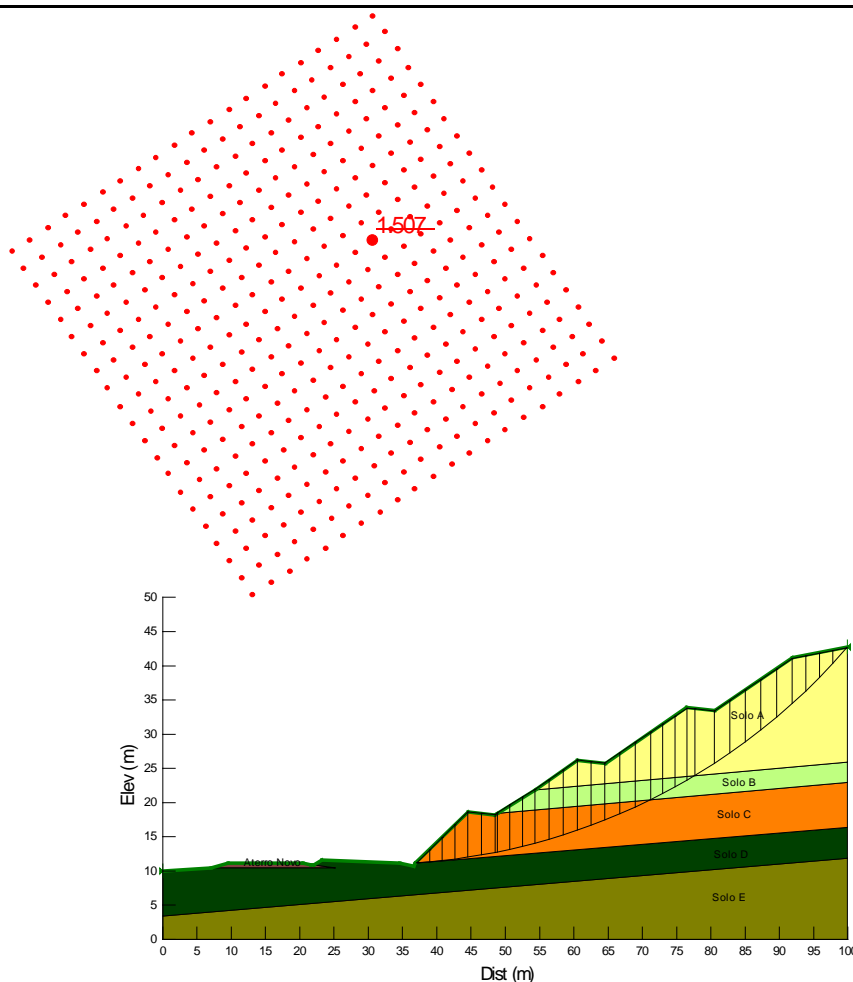
A Figura 83.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos 3 (três) lances superiores do corte (1,5:1, H:V).



**Figura 83.4** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 187+120 - Corte).

A **Figura 83.5** apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.





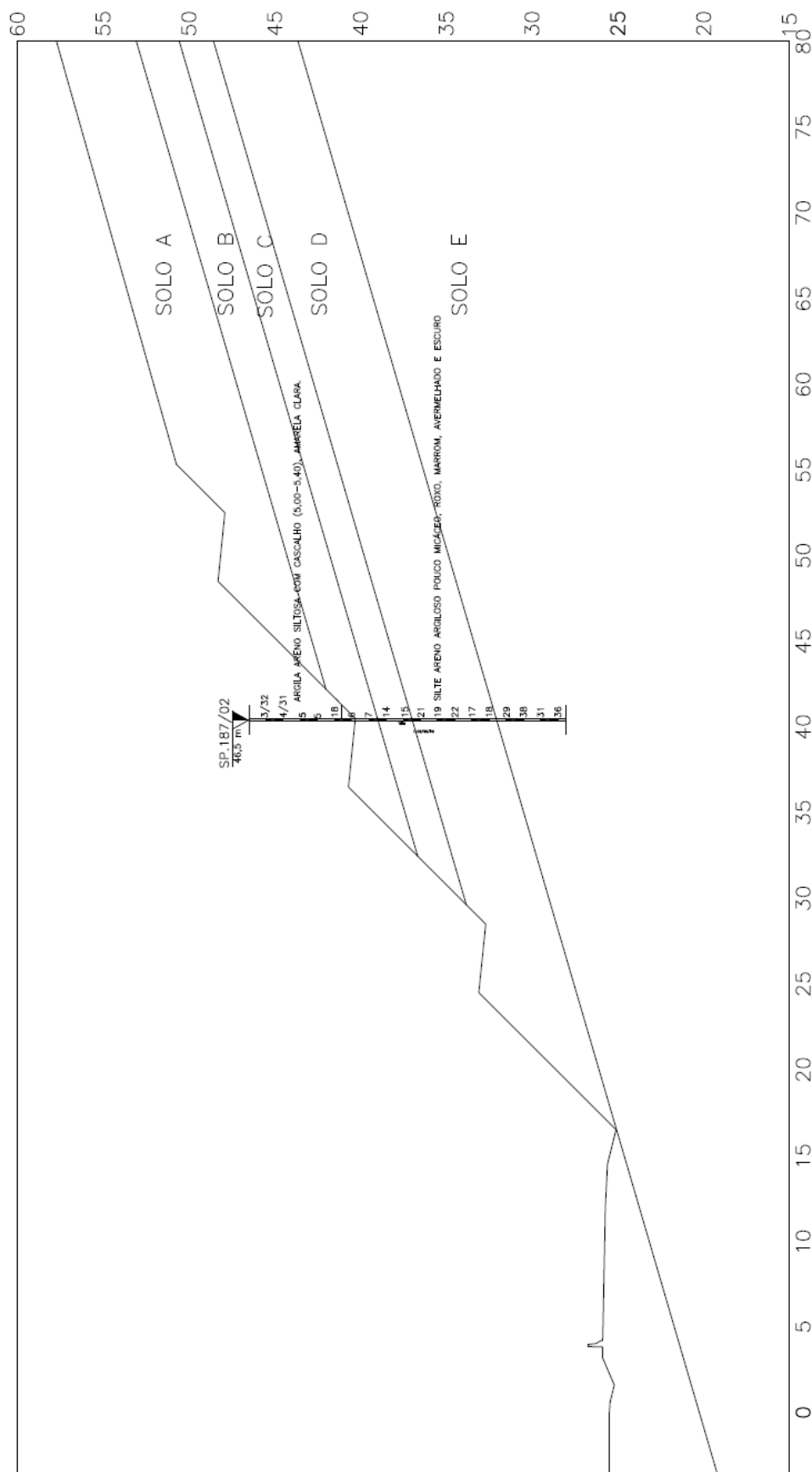
**Figura 83.5** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Aterro - Estaca km 187+120 - Corte, Taludes abatidos).

O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,507$ , como ilustrado na **Figura 16.5**. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a solução de estabilização proposta por esta consultoria.

## 84. ESTACA KM 187+840 (CORTE)

### 84.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na **Figura 84.1**.



**Figura 84.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 187+840 – Corte).

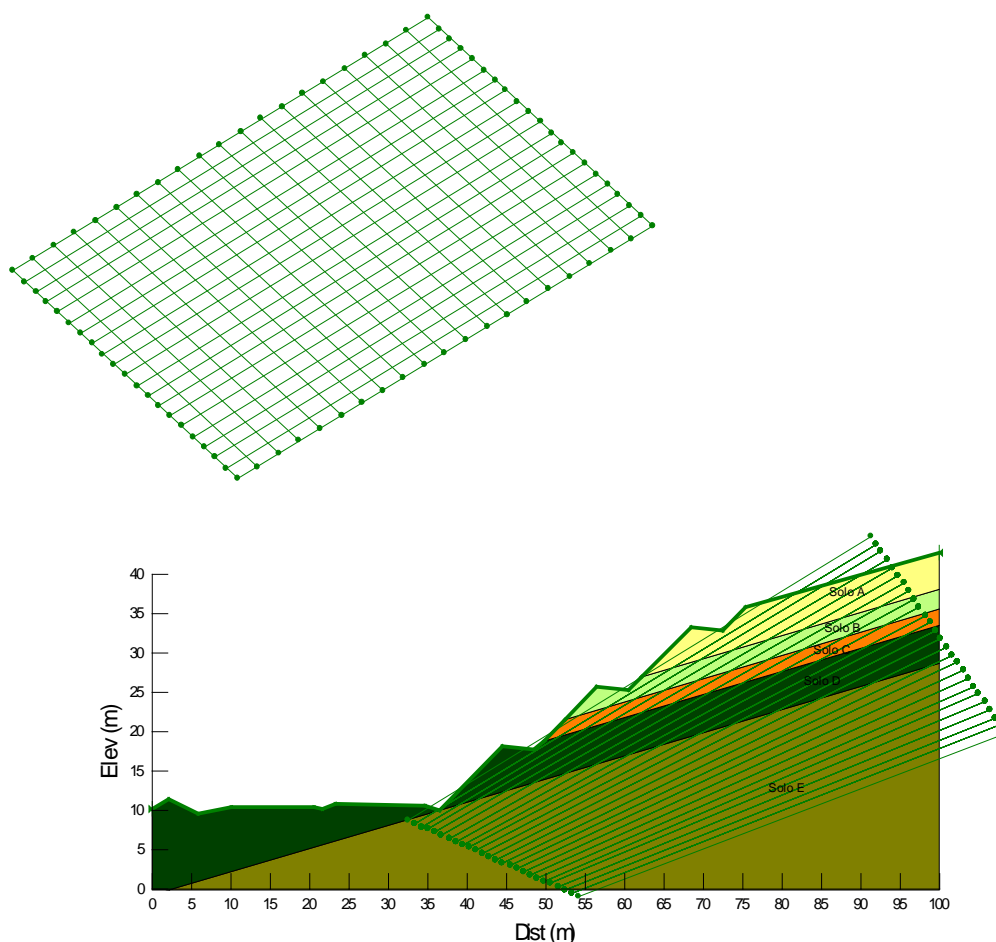
**Tabela 84.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	3-5	17	20	20
B	Silte areno-argiloso	6-7	18	18	24
C	Silte areno-argiloso	14-15	18	20	26
D	Silte areno-argiloso	17-22	19	25	28
E	Silte areno-argiloso	29-38	20	25	32
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

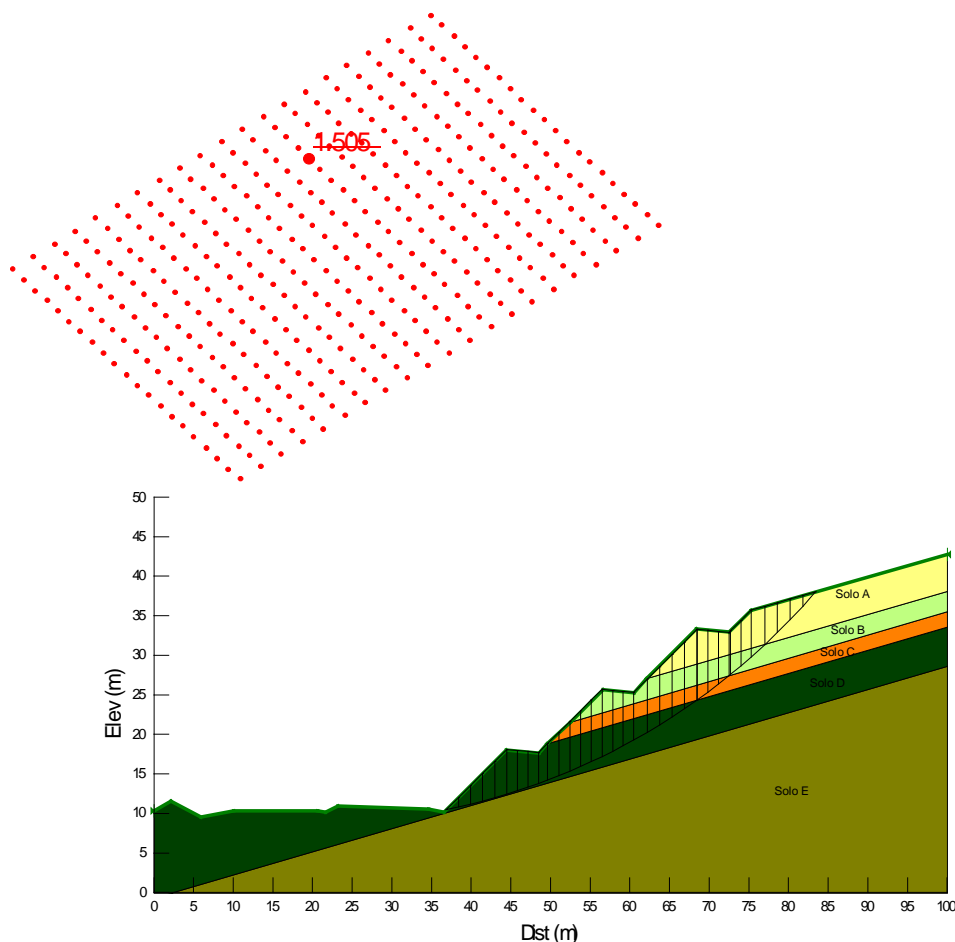
## 84.2. Análises de Estabilidade

A Figura 84.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 187+840.



**Figura 84.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 187+840 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,505 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 84.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

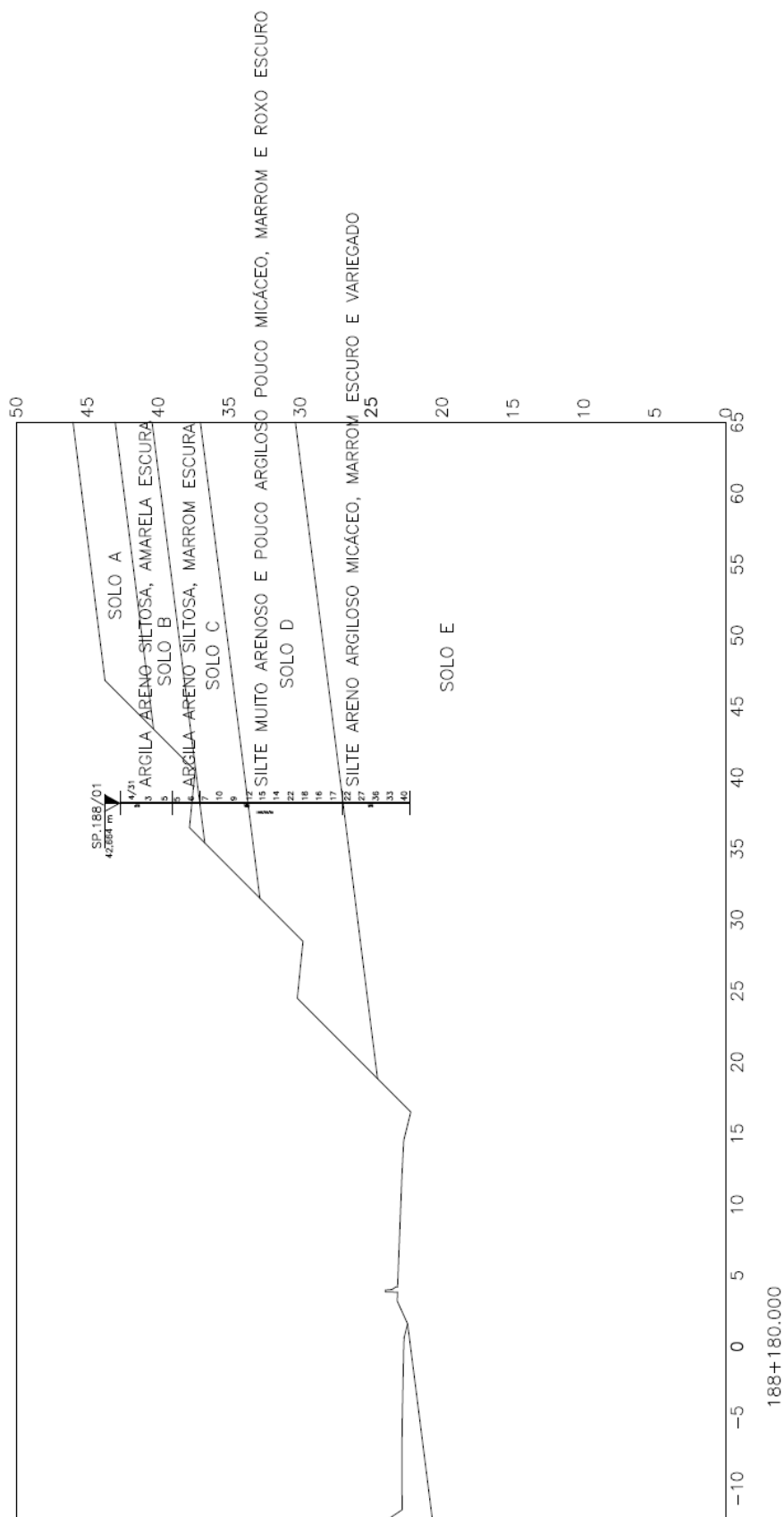


**Figura 84.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 187+840 - Corte).

## 85. ESTACA KM 188+180 (CORTE)

### 85.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 85.1.



**Figura 85.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 188+180 – Corte).

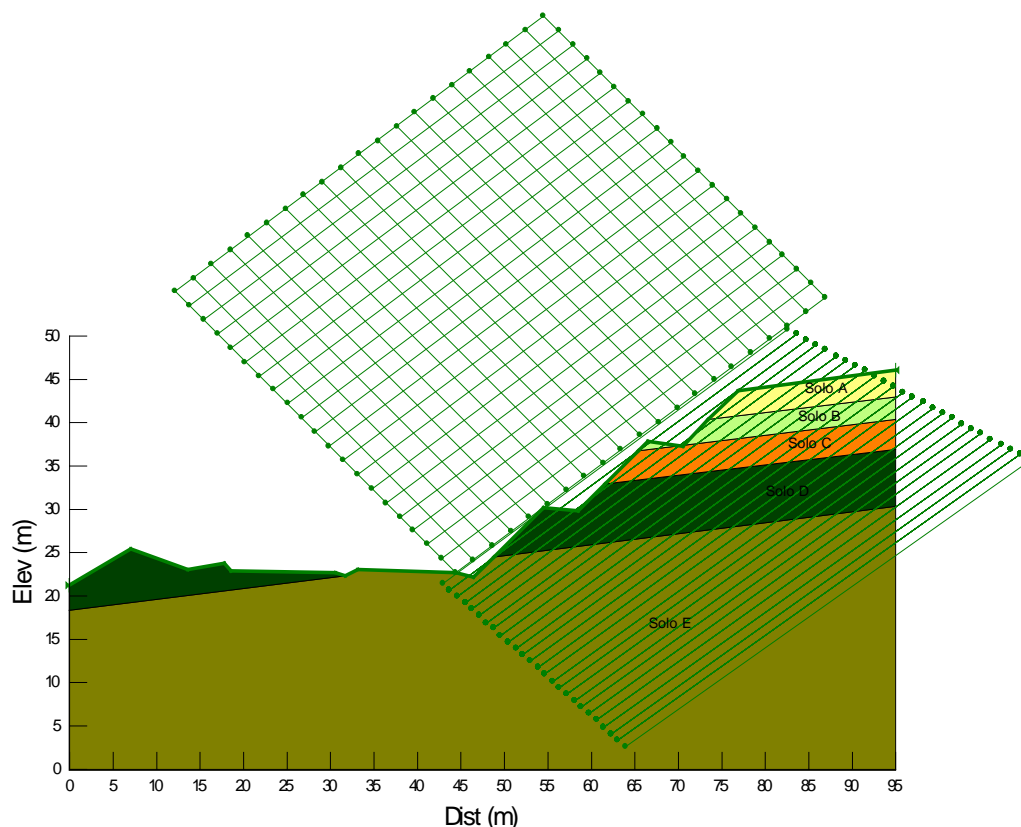
**Tabela 85.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	3-5	17	20	15
B	Argila areno-siltosa	5-7	17	20	20
C	Silte areno-argiloso	7-12	18	18	25
D	Silte areno-argiloso	12-22	19	23	27
E	Silte areno-argiloso	22-40	20	25	30
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20 </td <td>25</td>	25

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

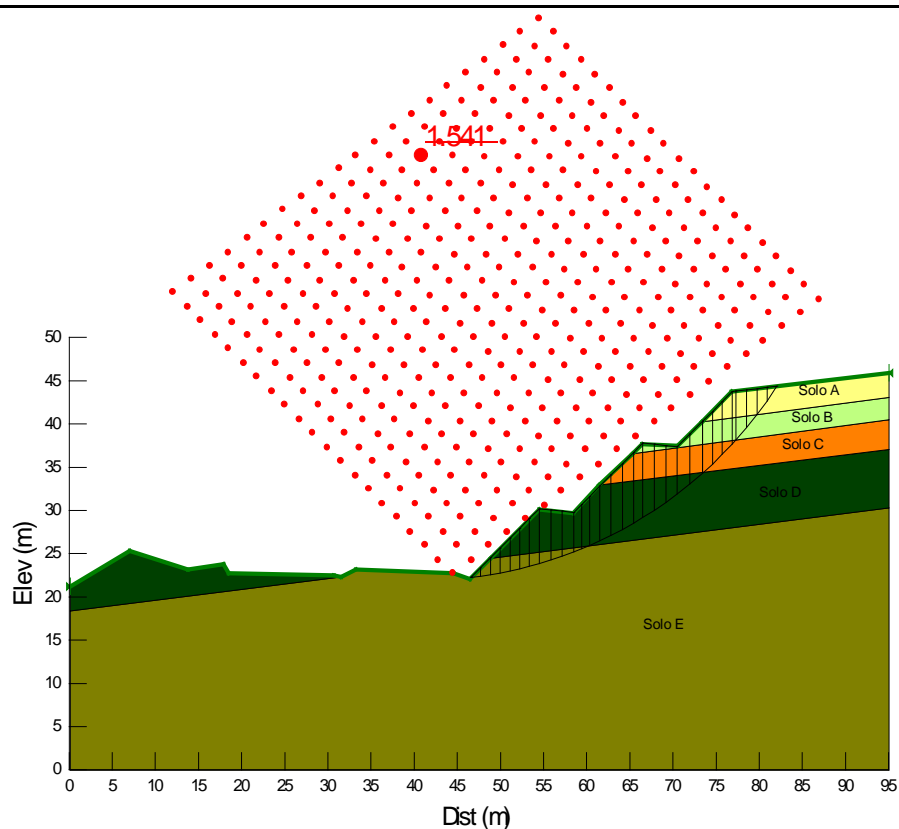
### 85.2. Análises de Estabilidade

A Figura 85.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 188+180.



**Figura 85.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 188+180 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,541 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 85.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

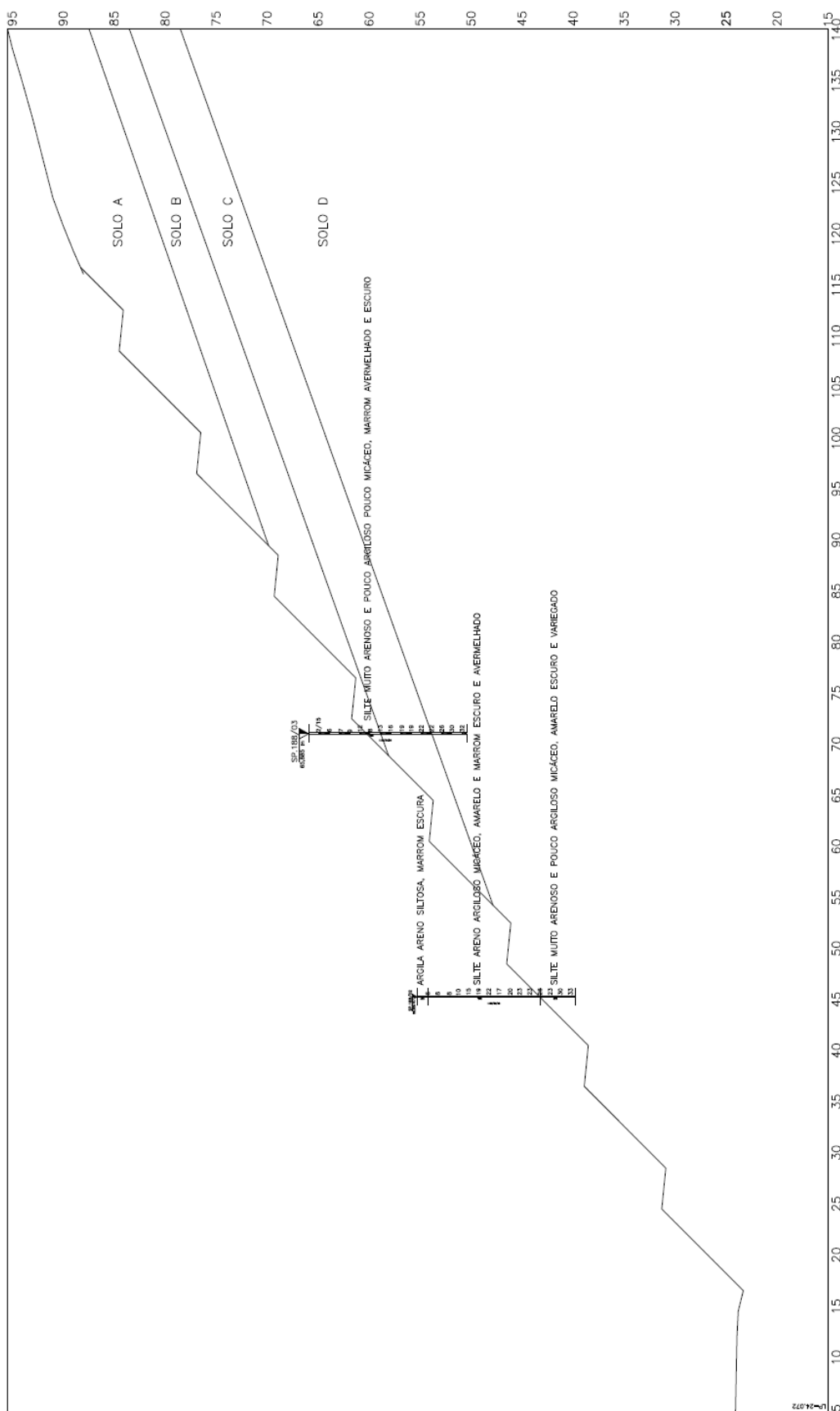


**Figura 18.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 188+180 - Corte).

## 86. ESTACA KM 188+560 (CORTE)

### 86.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 86.1.



**Figura 86.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 188+560 – Corte).



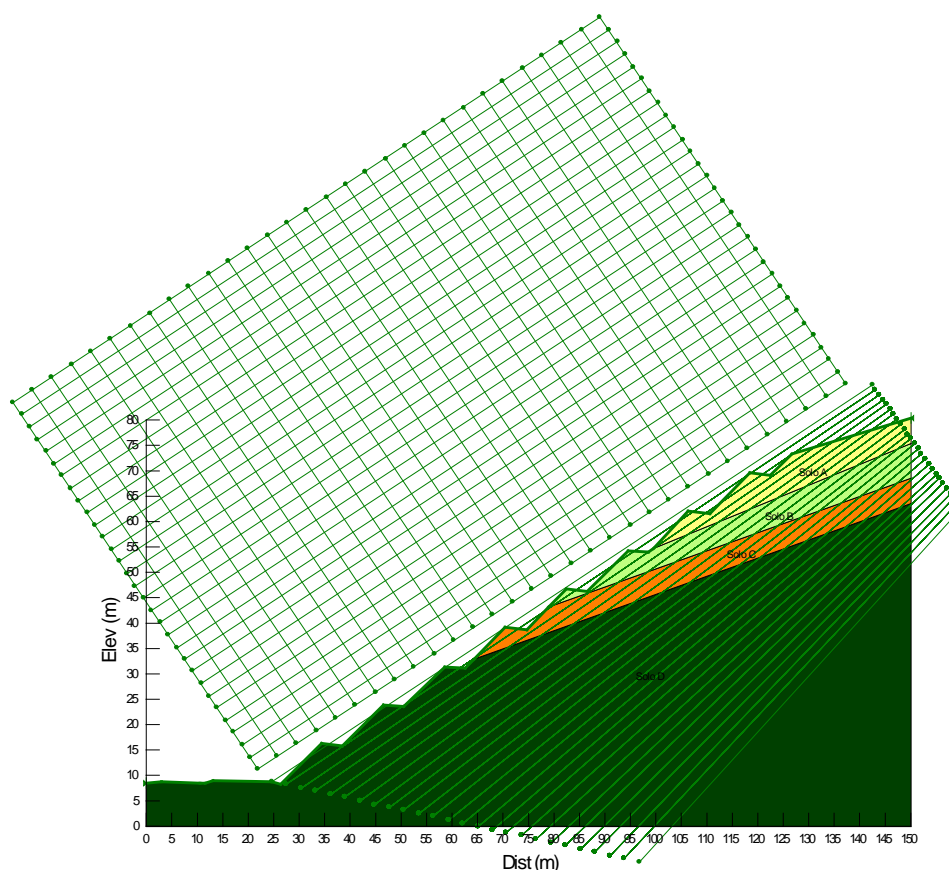
**Tabela 86.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	3-6	17	20	20
B	Silte areno-argiloso	7-15	18	18	25
C	Silte areno-argiloso	16-23	19	23	27
D	Silte areno-argiloso	23-33	20	30	31
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

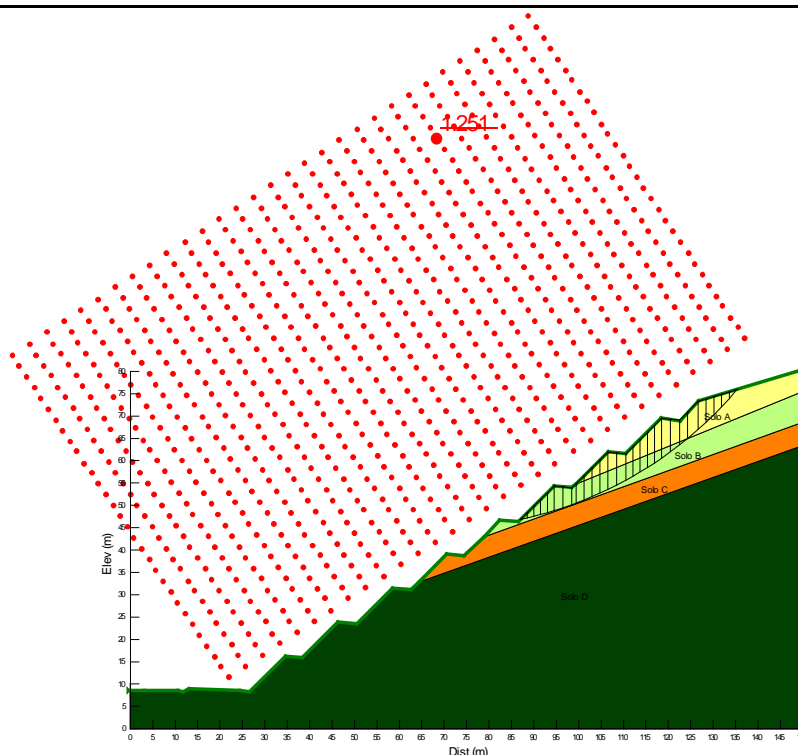
## 86.2. Análises de Estabilidade

A Figura 86.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 188+560.



**Figura 86.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 188+560 - Corte).

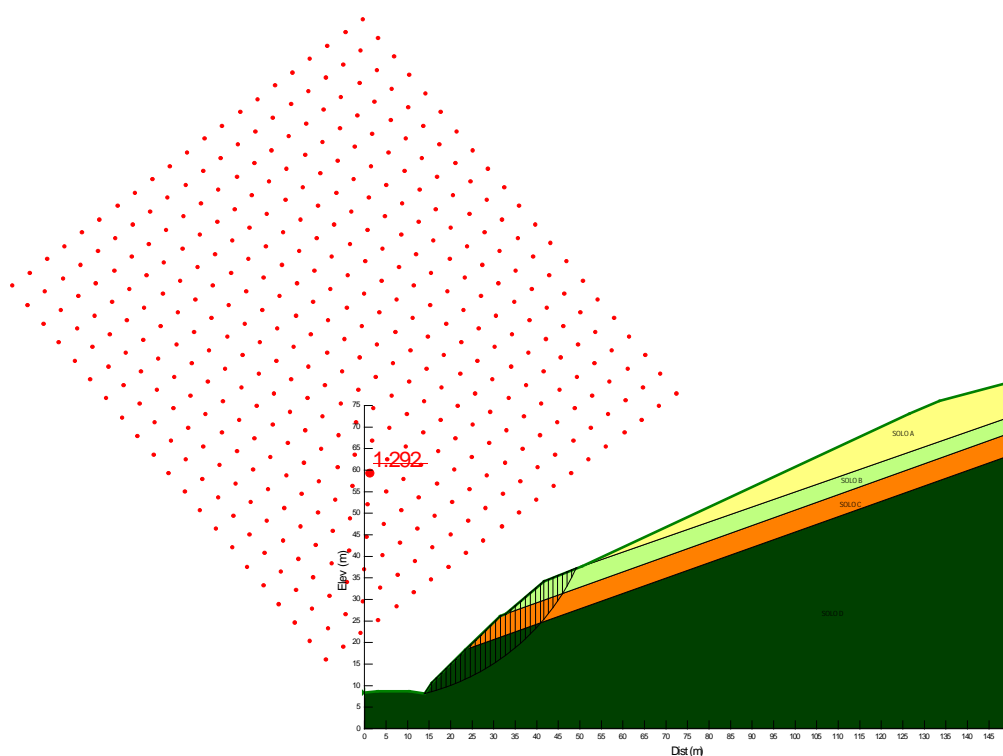
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,251 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 86.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 19.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 188+560 - Corte).

### **Avaliação do corte existente**

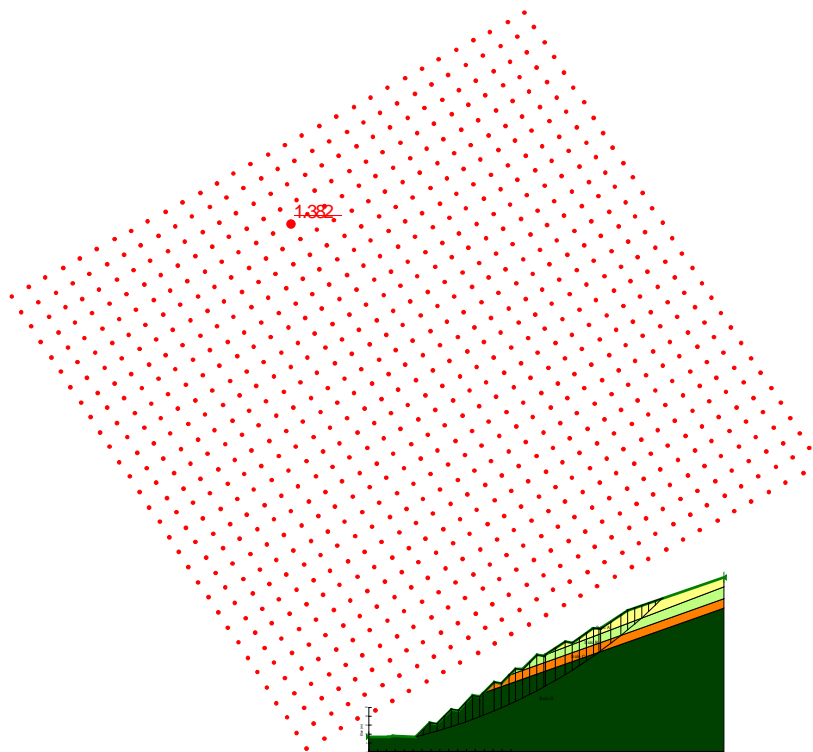
Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura do corte existente, das quais resultou a superfície crítica de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,292$ , como ilustrado na **Figura 86.4**.



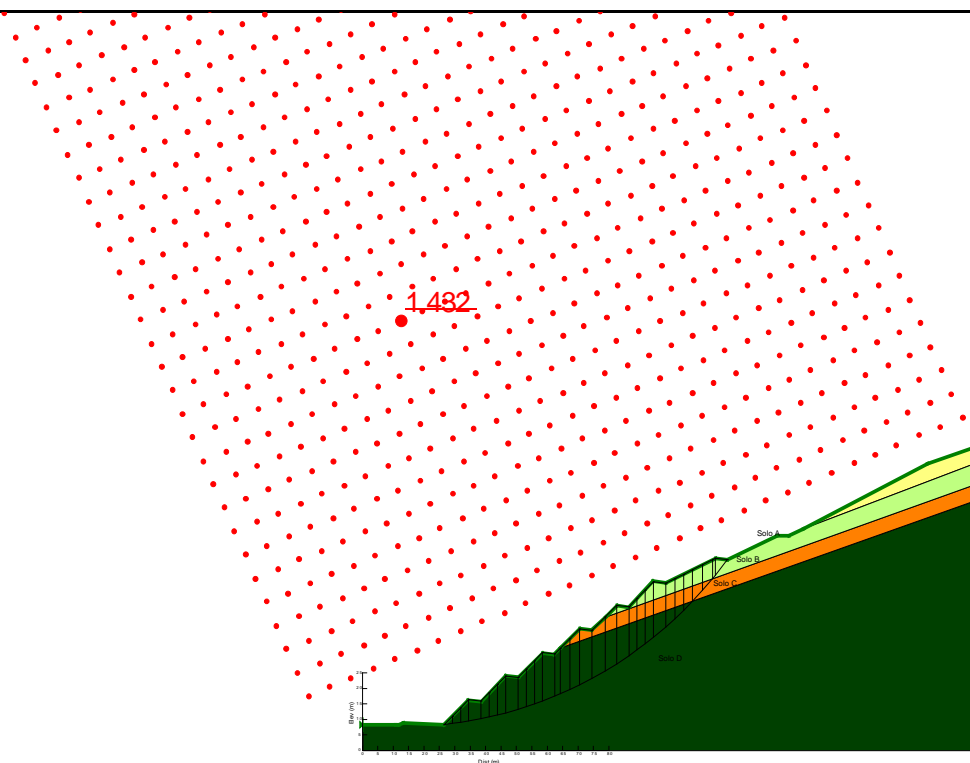
**Figura 86.4** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade do corte existente por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 188+560 - Corte).

### **Utilização de talude abatido**

Como medida de melhoria das condições de estabilidade global do talude, propõe-se o abrandamento dos 3 (três) taludes superiores para inclinações 1,5:1 (FS = 1,382) e 2,0:1 (FS = 1,197) (H:V). A **Figura 86.5** e a **Figura 86.6** apresentam a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos três lances superiores do corte.



**Figura 86.5** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 188+560 – Corte – 3 taludes superiores com 1,5:1).



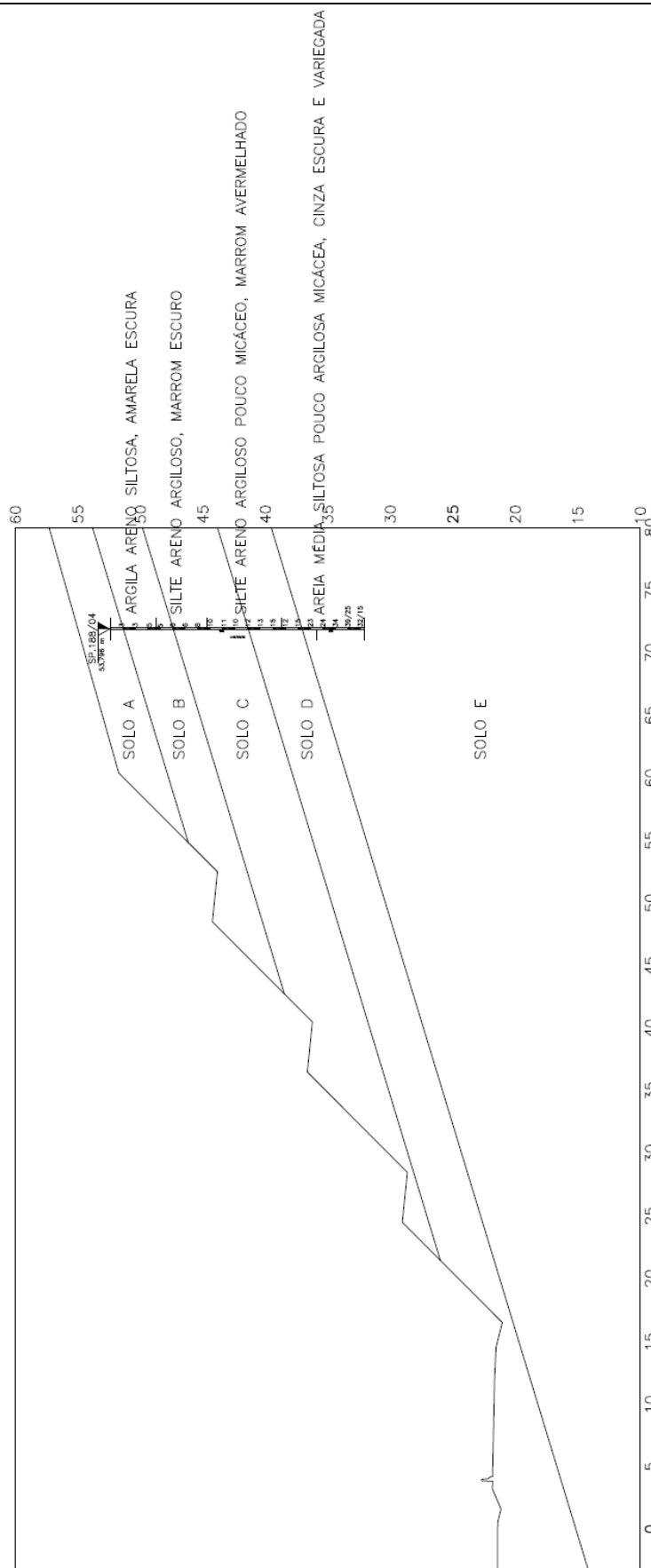
**Figura 86.6** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Corte - Estaca km 188+560 – 3 taludes superiores com 2,0:1).

Como o fator de segurança não atingiu o mínimo ( $FS \geq 1,5$ ) adotado neste trabalho, propõe-se o abrandamento dos 3 (três) taludes superiores com inclinação de 2:1 (H:V) e monitoramento do terrapleno.

## 87. ESTACA KM 188+840 (CORTE)

### 87.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 87.1.



**Figura 87.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 188+840 – Corte).

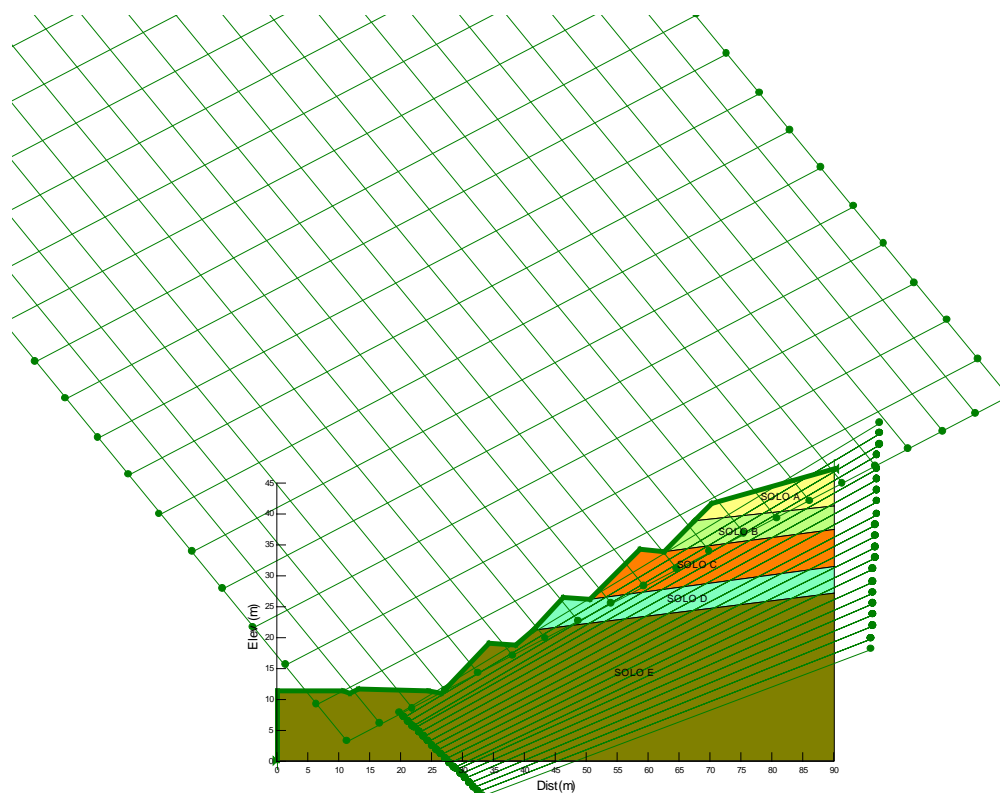
**Tabela 87.1**– Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	3-5	17	20	15
B	Silte areno-argiloso	5-8	18	18	25
C	Silte areno-argiloso	10-13	18	20	26
D	Areia média siltosa	12-15	18	5	30
E	Areia média siltosa	24-39	19	10	33
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

## 87.2. Análises de Estabilidade

A Figura 87.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 188+840.



**Figura 87.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 188+840 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,328 < 1,5$ , como ilustrado na Figura 87.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

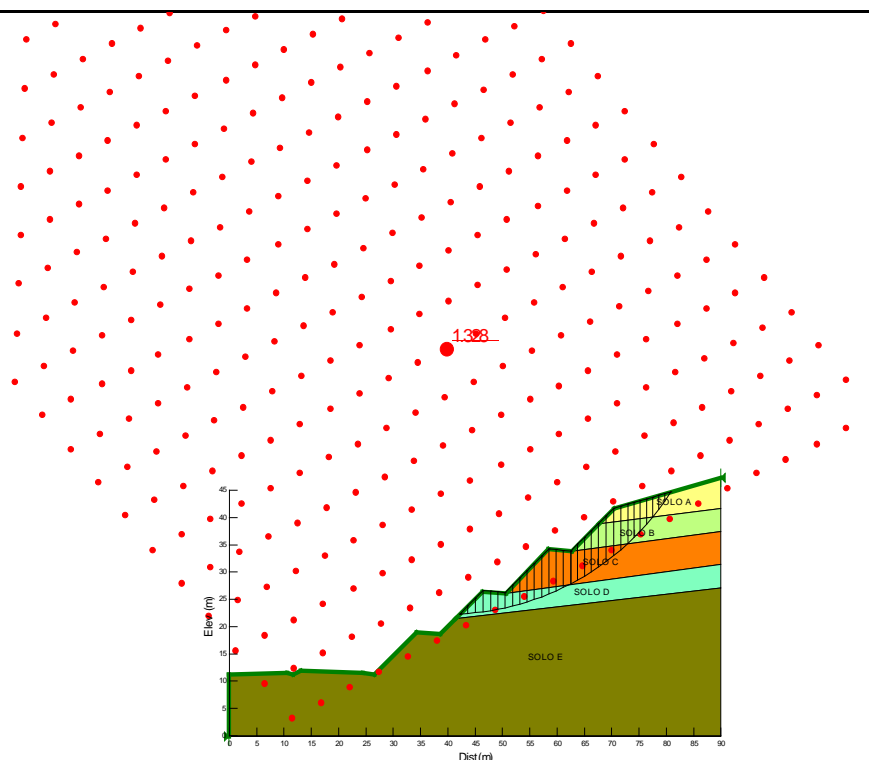


Figura 87.3– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 188+840 - Corte).

### Utilização de talude abatido

A Figura 87.4 apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a execução de talude mais abatido nos 2 (dois) lances superiores do corte (1,5:1, H:V).

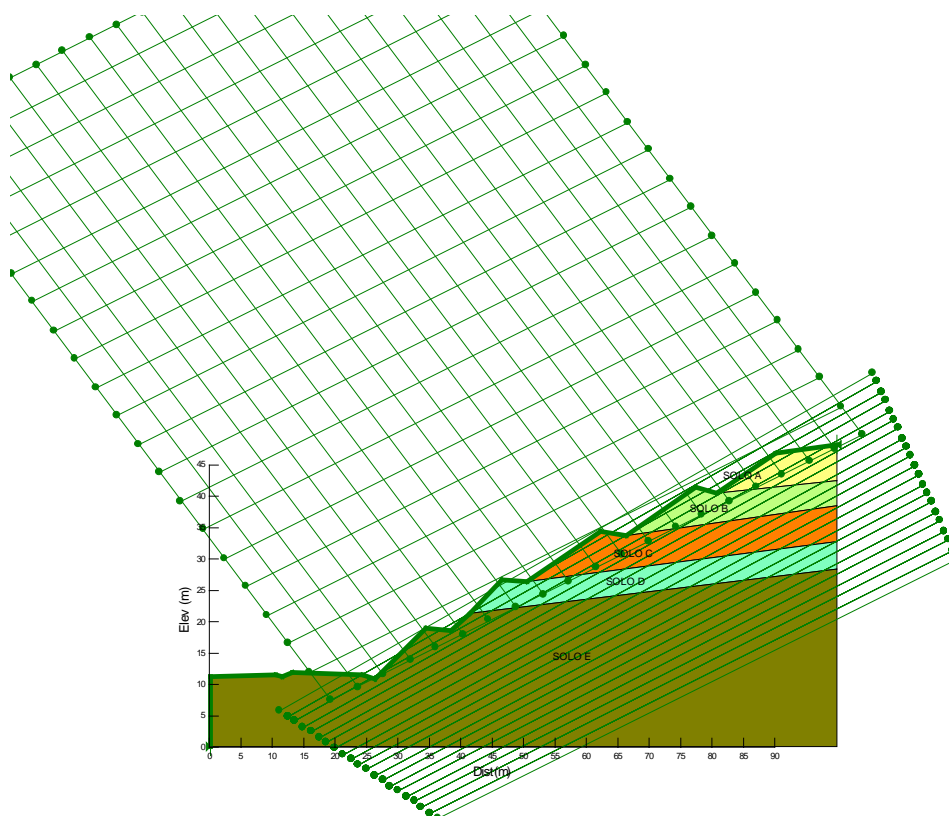
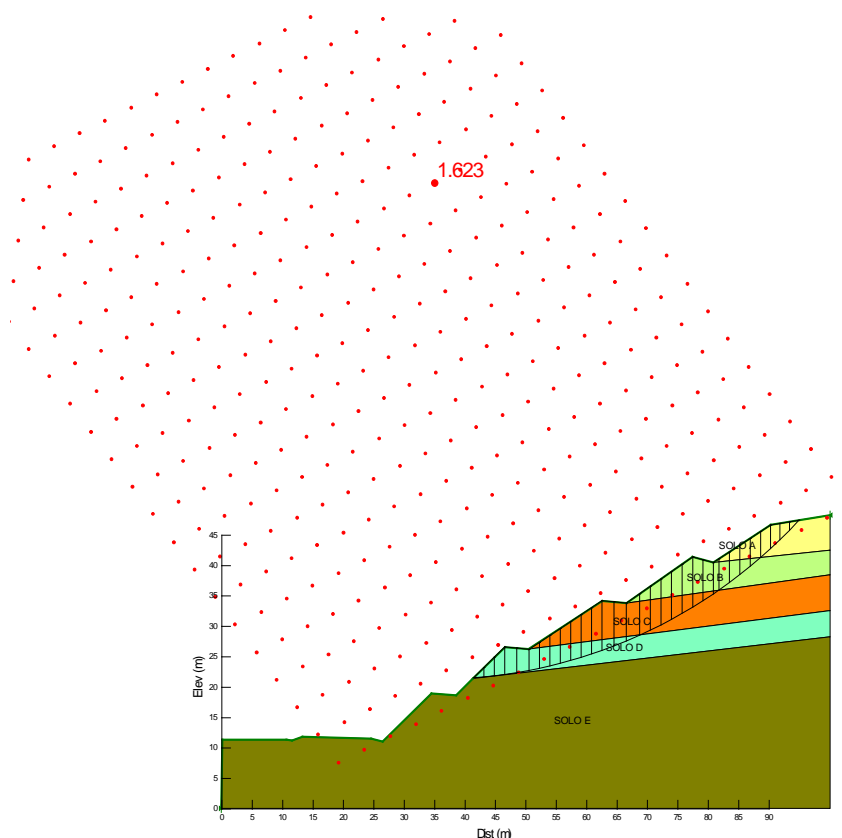


Figura 87.4 – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 188+840 - Corte).

A **Figura 87.5** apresenta a verificação de estabilidade do aterro considerando a solução de estabilização.



**Figura 20.5** – Superfície crítica de ruptura –  $FS_{\min}$  (Aterro - Estaca km 188+840 - Corte, Taludes abatidos).

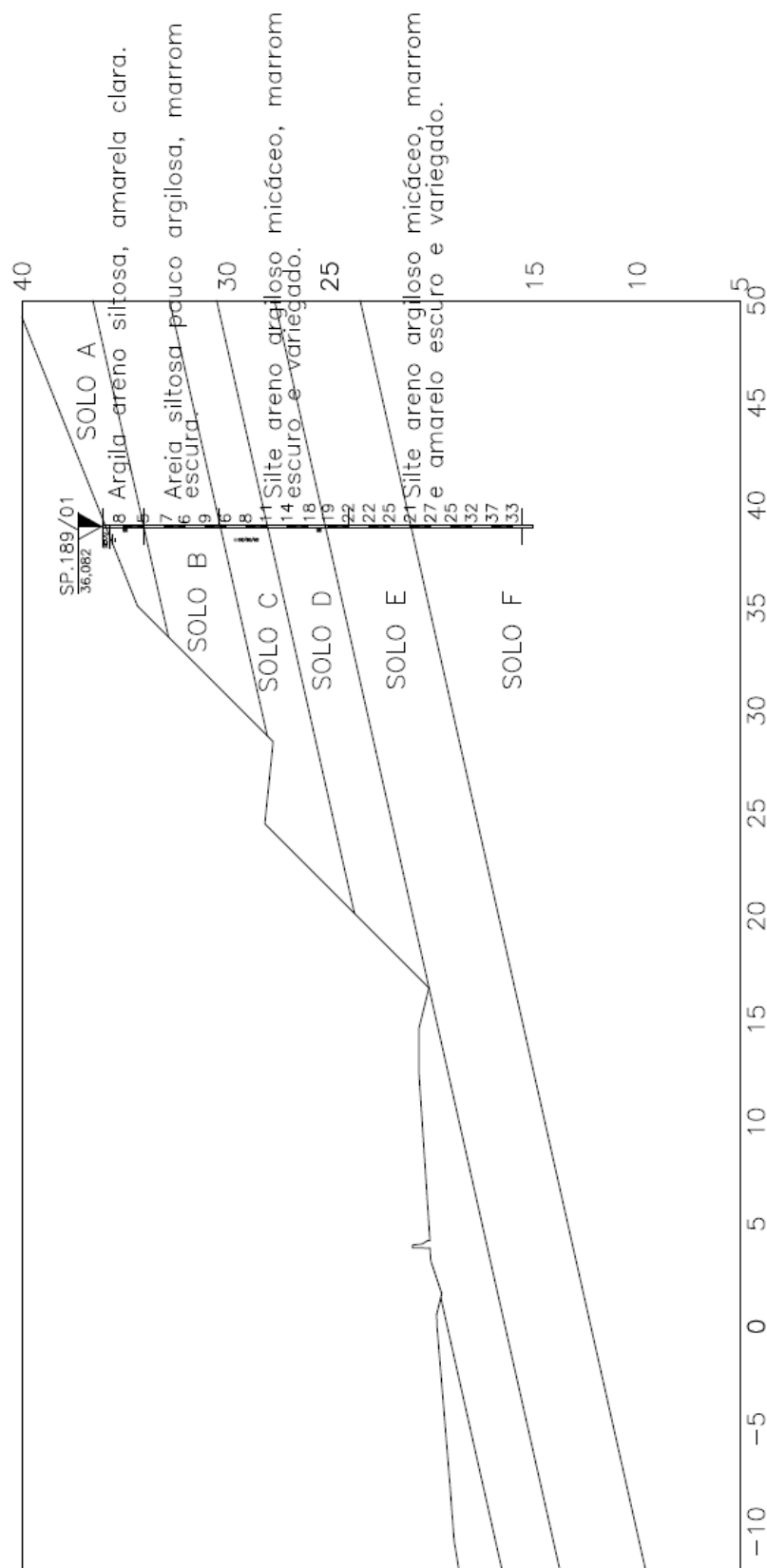
O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,623$ , como ilustrado na **Figura 87.5**. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a solução de estabilização proposta por esta consultoria.

## 88. ESTACA KM 189+180 (CORTE)

### 88.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na **Figura 88.1**.





**Figura 88.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 189+180 – Corte).

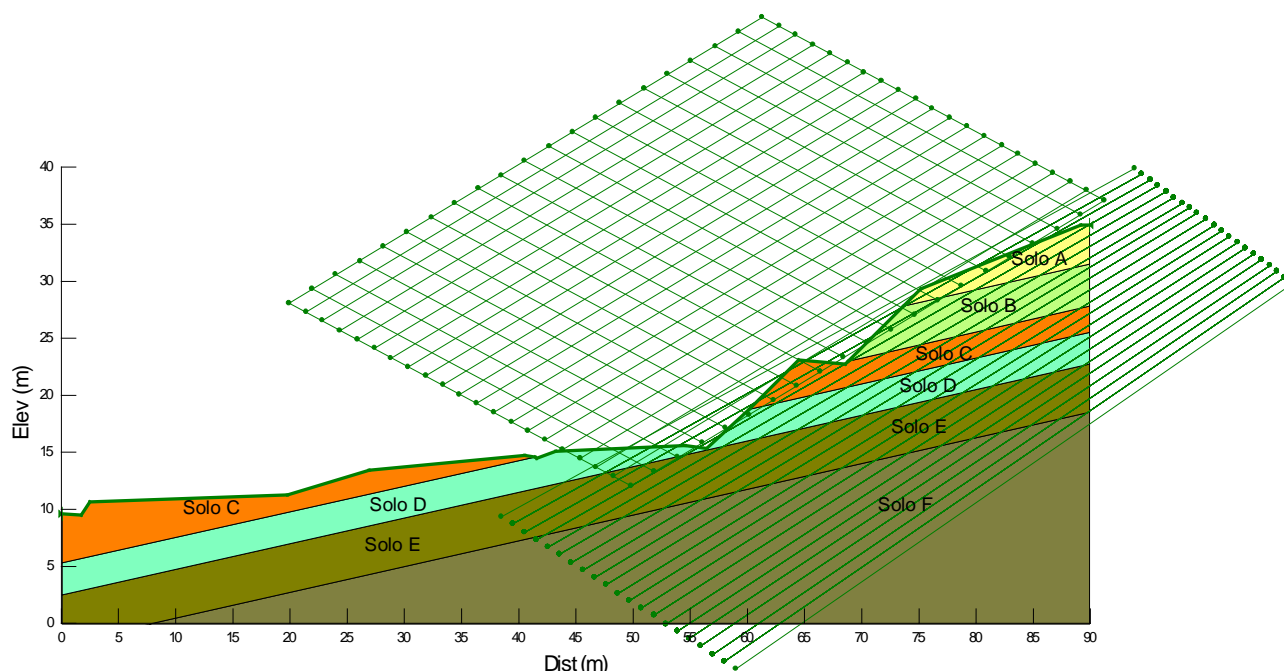
**Tabela 21.1–** Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	6-8	17	20	20
B	Areia siltosa argilosa	6-9	18	10	27
C	Silte areno-argiloso	6-9	18	18	25
D	Silte areno-argiloso	14-18	19	25	28
E	Silte areno-argiloso	19-25	20	25	30
F	Silte areno-argiloso	27-37	20	28	32
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

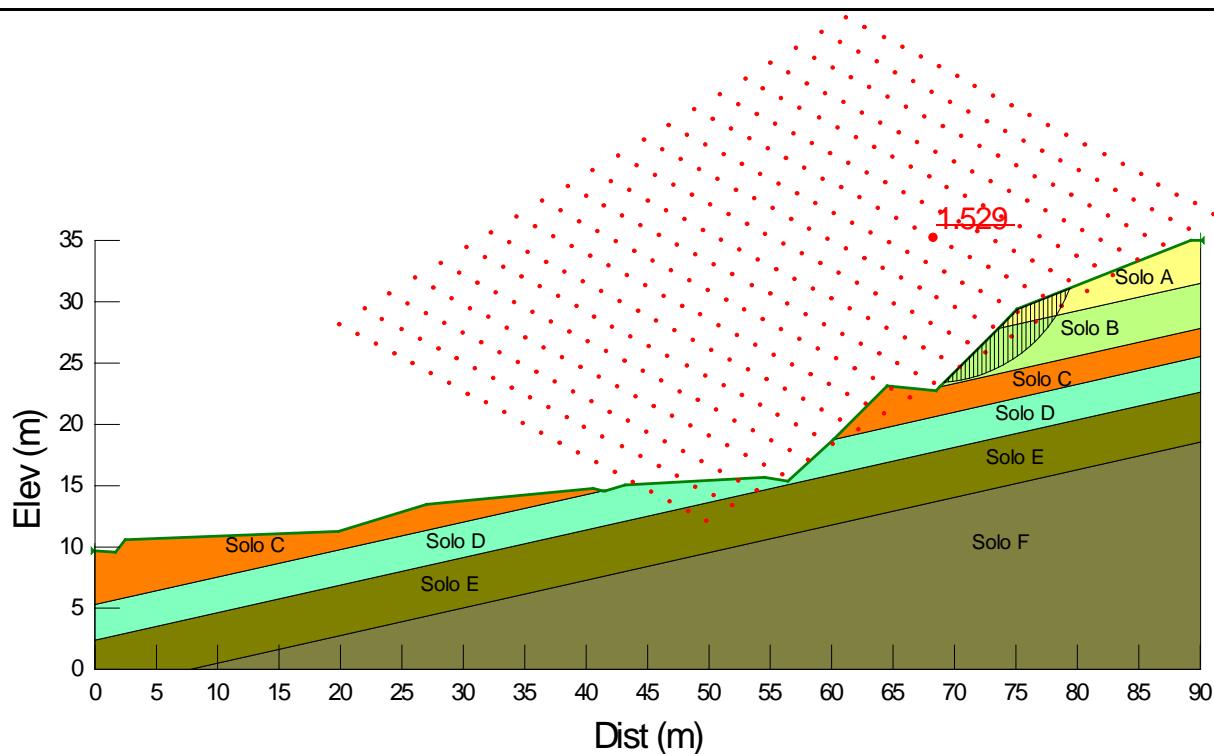
## 88.2. Análises de Estabilidade

A Figura 88.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 189+180.



**Figura 88.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 189+180 - Corte).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,529 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 88.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

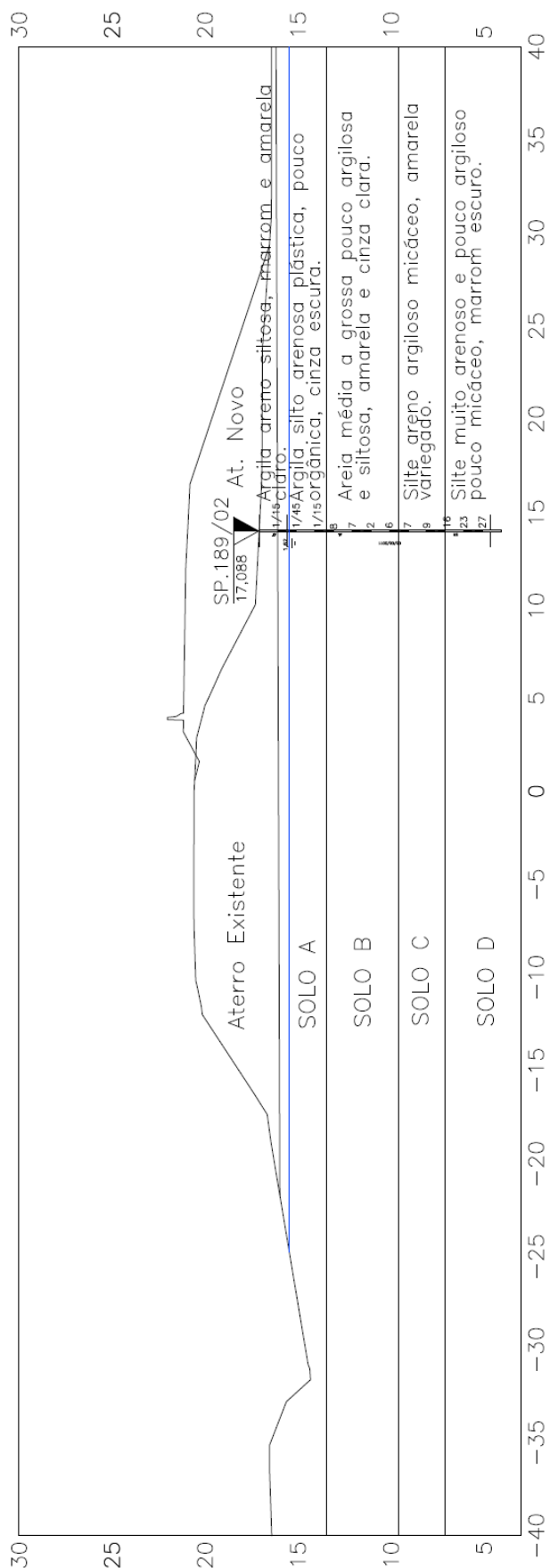


**Figura 88.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 189+180 - Corte).

## 89. ESTACA KM 189+280 (ATERRO)

### 89.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na **Figura 89.1**.



**Figura 89.1** – Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 189+280 – Aterro).

**Tabela 89.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)	E <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
A	Argila silto-arenosa plástica orgânica	1/45-2	15	15	0	2000	0,4
B	Areia média a grossa pouco argilosa	6-8	17	5	27	9000	0,3
C	Silte areno-argiloso	7-9	18	18	25	9000	0,3
D	Silte areno-argiloso	16-27	19	25	30	12000	0,3
Aterro Existente	-	-	19	18	20	8200	0,3
Aterro Novo	-	-	19	20	25	8500	0,3

Legenda:  $c'$  – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural; E<sub>s</sub> – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson.

No Solo A ocorrerão recalques por adensamento ao longo do tempo, sendo necessário definir parâmetros geotécnicos para sua estimativa. Ambos os solos foram considerados com parâmetros iguais àqueles apresentados na Tabela 89.2

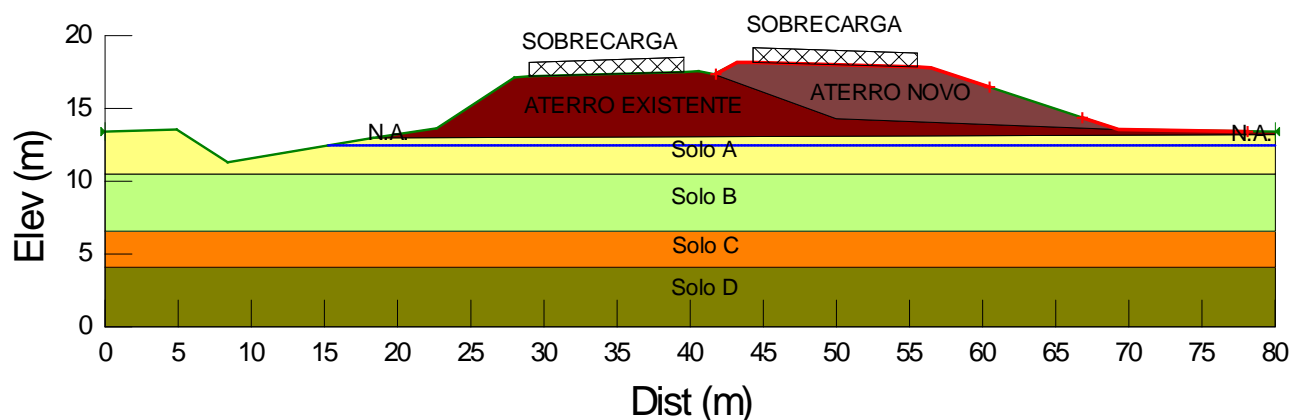
**Tabela 89.2** – Parâmetros para cálculo dos recalques por adensamento.

$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$	$C_v$ (m <sup>2</sup> /ano)
0,20	0,020	20

Legenda:  $e_0$  – índice de vazios inicial;  $C_c$  – índice de compressão do solo;  $C_r$  - índice de recompressão do solo;  $C_v$  – Coeficiente de Adensamento Vertical.

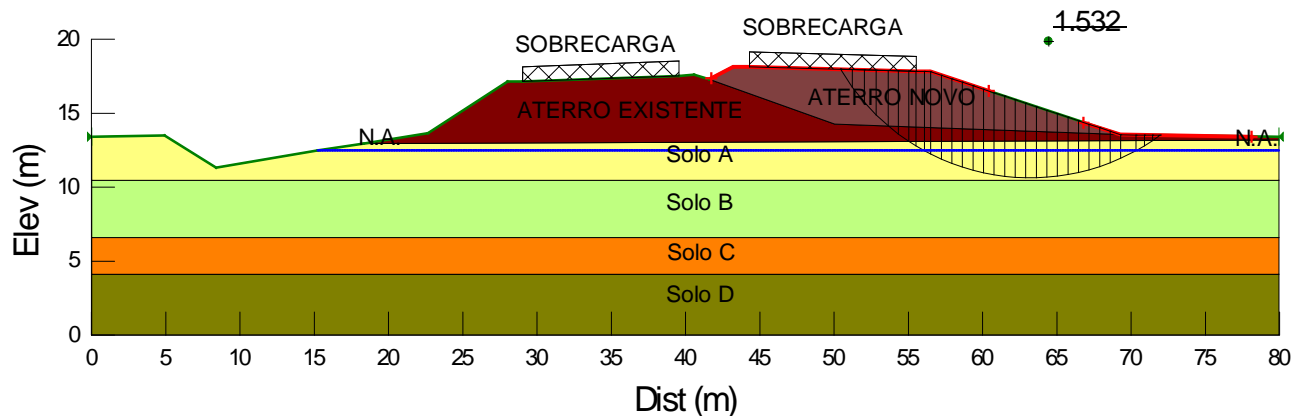
## 89.2. Análises de Estabilidade

A Figura 89.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 189+280.



**Figura 89.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W para direita e para esquerda (Estaca km 189+280– Aterro).

Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido no deslizamento foi de  $FS = 1,532 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 89.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro não apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.

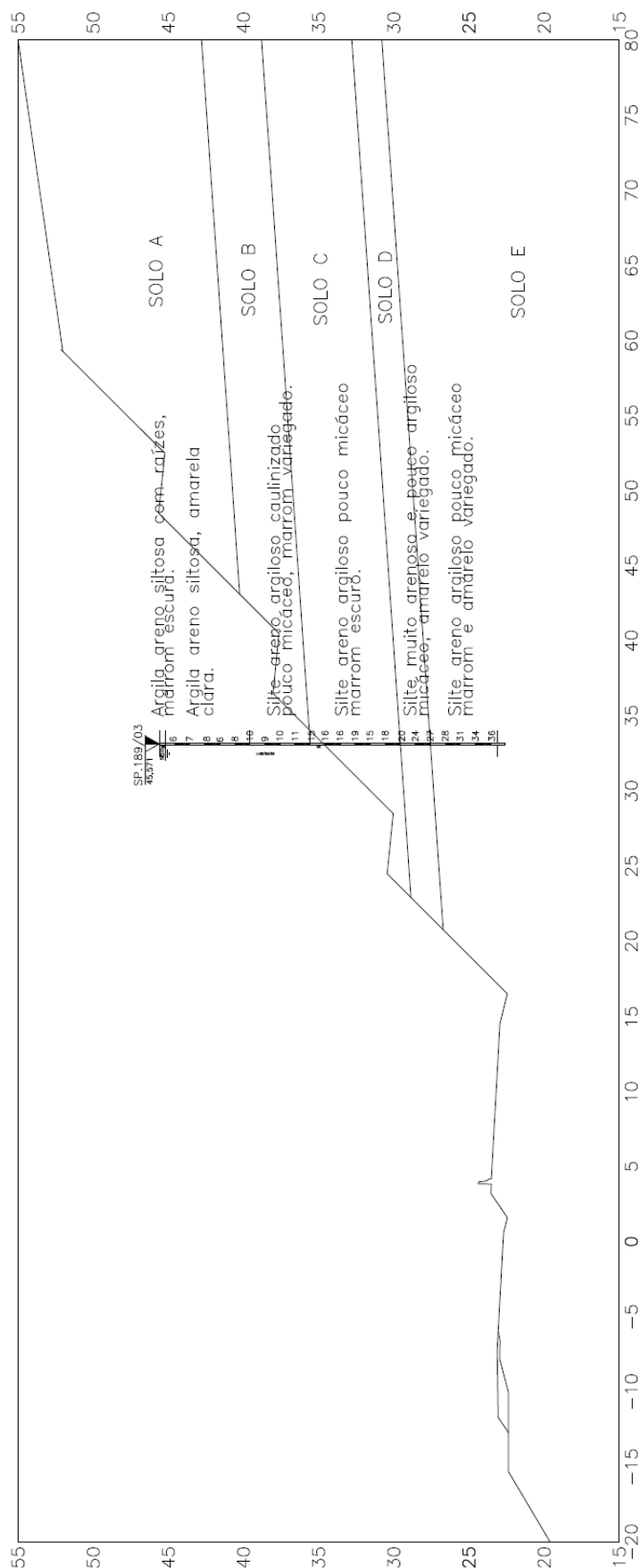


**Figura 89.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 189+280– Aterro).

## 90. ESTACA KM 189+420 (CORTE)

### 90.1. PARÂMETROS ADOTADOS

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram considerados horizontes de solo com comportamentos mecânicos distintos, conforme apresentado na Figura 90.1.



**Figura 90.1**– Perfil geotécnico considerado e sondagem de referência da seção transversal analisada (Estaca km 189+420 – Corte).

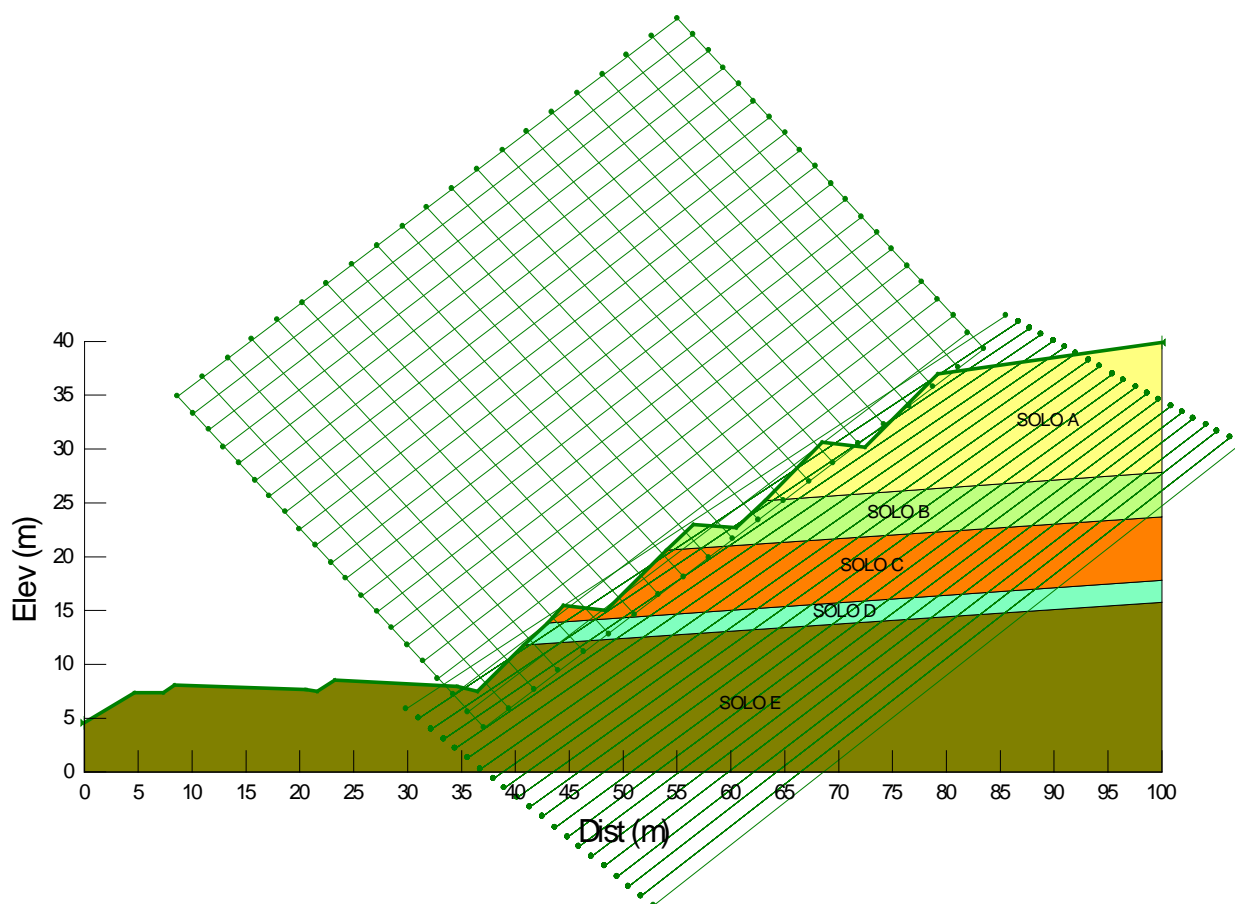
**Tabela 90.1** – Parâmetros adotados.

Solo	Tipo de material	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
A	Argila areno-siltosa	6-8	17	20	20
B	Silte areno-argiloso	9-11	18	20	27
C	Silte areno-argiloso	15-18	18	25	29
D	Silte areno-argiloso	20-27	19	25	30
E	Silte areno-argiloso	28-36	20	28	32
Aterro Existente	-	-	19	18	20
Aterro Novo	-	-	19	20	25

Legenda: c' – Coesão efetiva;  $\phi'$  - Ângulo de atrito efetivo do solo;  $\gamma$  – Peso específico natural;  $E_s$  – Módulo de elasticidade;  $\nu$  – coeficiente de Poisson

## 90.2. Análises de Estabilidade

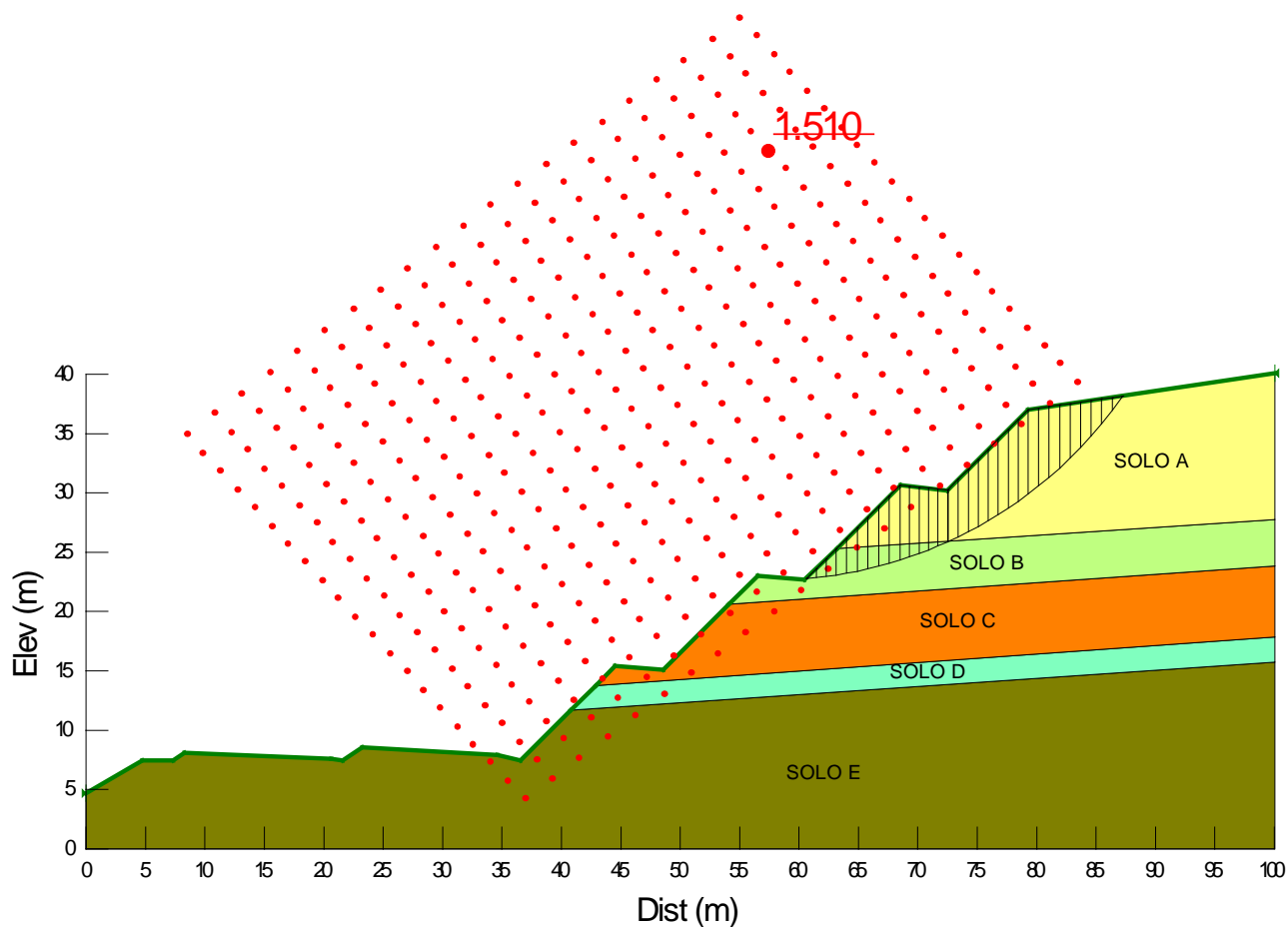
A Figura 90.2 apresenta a geometria, os horizontes de solo, a posição da sobrecarga e o nível freático utilizados como dados de entrada para o processo de cálculo computacional referente à Estaca km 189+420.



**Figura 90.2** – Dados de entrada para a verificação da estabilidade por meio da utilização do Slope/W (Estaca km 189+420 - Corte).



Foram verificadas as superfícies potenciais de ruptura das quais foram obtidas a superfícies críticas de ruptura pelo método de Bishop para a seção analisada. O fator de segurança obtido foi de  $FS = 1,510 > 1,5$ , como ilustrado na Figura 90.3. Conclui-se que o maciço de solo resultante do processo de aterro apresenta estabilidade satisfatória com a geometria sugerida no projeto geométrico.



**Figura 90.3**– Superfície crítica de ruptura –  $FS_{min}$  (Estaca km 189+420 - Corte).