

# **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO DA FUNDAÇÃO DE ESTRUTURAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA SOBRE FUNDOS MÓVEIS**

**BERNARDO CARVALHO DE FIGUEIREDO FERREIRA BRAGA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM GEOTECNIA**

---

Orientador: Professor Engenheiro Celso Manuel Relva Martins de Lima

JANEIRO DE 2016



## MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.



À minha família

*“Audentes Fortuna Juvaet” - A sorte favorece os audaciosos*

*Virgílio, Eneida, X,284*



## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer em primeiro lugar à minha família, em especial aos meus pais e irmã por todo o apoio e paciência, e principais responsáveis pela minha formação pessoal, assim como aos engenheiros da família José Nuno Figueiredo, João Vasco Figueiredo e Cristina Vilarinho pela contribuição na minha formação e visão crítica no campo da engenharia civil. Ao meu avô António José Nobre de Figueiredo pela transmissão de valores de vida, e ainda à minha namorada Diana Rompante, que tanto me ajudou na realização desta dissertação.

Quero também agradecer a todos os docentes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que contribuíram na minha formação profissional, em especial ao professor Manuel Matos Fernandes pelo interesse que me transmitiu relativamente à área de Geotecnia. Ao professor Celso Lima, orientador desta dissertação, agradeço a generosa transmissão de conhecimento, atenção disponibilizada, e rigor, que tanto melhoraram a qualidade deste trabalho.

A todos os colegas e amigos que fazem parte da minha vida, cada um à sua maneira são em parte responsáveis pela minha formação como pessoa e engenheiro, em especial à turma de Geotecnia de 2014/2015, e ao meu amigo e colega André Teixeira que tantos momentos de dificuldade e descontração viveu comigo aquando da realização desta dissertação.



## **RESUMO**

O presente trabalho tem como principal objetivo a realização de uma análise de sensibilidade geomecânica de partes estruturais da fundação de uma barragem do tipo fundo móvel, face à variação de parâmetros físicos das estruturas constituintes da fundação da barragem, perante a ocorrência de fenômenos de percolação.

Inicialmente são apresentadas as características de duas obras de referência para esta dissertação: a barragem de Crestuma-Lever e a barragem de Walter F. George. Abordam-se aspetos como o enquadramento e características gerais dos dois aproveitamentos, e situações ocorridas em ambas durante a fase de exploração. São também analisados elementos construtivos da barragem de Crestuma com destaque para as cortinas corta-águas, o tapete protetor de jusante, e soluções adotadas na barragem de Walter F. George em que foi realizada a construção de uma cortina de estacas secantes, para resolver problemas associados a fenômenos de percolação através da fundação.

Em seguida é apresentada uma revisão dos conceitos teóricos inerentes a este tipo de obras, como o estado de tensão-deformação, e a percolação nos solos. Foi estudada a importância que estes aspetos ganham no caso de estudo, dando especial atenção aos esforços causados nas estruturas de fundação estudadas (cortinas corta-águas, bacia de dissipação), e às velocidades de percolação e caudais de escoamento pelo terreno de fundação.

Nesse sentido é apresentada uma modelação do caso de estudo do vão descarregador tipo da barragem de Crestuma-Lever usando com base o software RS2 da Rocscience, com o objetivo de analisar os esforços e deslocamentos consequência das tensões e percolação no terreno de fundação. Para isso foram estimados os parâmetros utilizados através de sondagens de ensaios SPT. A partir da modelação são recolhidos os resultados referentes aos casos desenvolvidos, fazendo uma comparação entre eles e realizando uma análise crítica dos mesmos.

Por fim são apresentadas as conclusões a extrair deste trabalho considerando os resultados obtidos, o enquadramento teórico e os objetivos que foram propostos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Crestuma-Lever, percolação, tensão-deformação, cortinas corta-águas, erosão.



## **ABSTRACT**

This study aims to conduct a geomechanic sensitivity analysis of structural components in the foundation of a mobile bed dam type, according to the variation of physical parameters of the dam foundation structures.

Initially the characteristics of two reference works are presented: the Crestuma-Lever and Walter F. George dams. Here are addressed, aspects such as framework and general characteristics of the two constructions, as well as specific situations related to construction details in both cases. Regarding Crestuma dam the cut-off walls and the downstream protective blanket are reviewed, and solutions adopted in The Walter F. George Dam, such as a cut-off wall made of secants piles are explored.

It was performed a brief revision of the theoretical framework for physical and hydraulic laws governing this type of engineering work, such as state of stress-strain and seepage in the soil and studied the importance that they gain in this case, paying particular attention to those which have been responsible for the forces in the foundation and the seepage velocity and flow rate in the foundation layers.

Having this in mind, a modelling test was performed considering several case studies for the spillway of Crestuma-Lever dam using the RS2 Rocscience software, in order to analyse the forces and displacements, result of stresses and seepage in the foundation land. The parameters were estimated using SPT tests. The results obtained from the modelling tests were analysed, compared with each other and discussed taking into account the case study.

Finally, the conclusions to be drawn from this study are presented, considering the results obtained and the proposed aims.

**KEYWORDS:** Crestuma-Lever, seepage, stress-strain, cut-off walls, erosion.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL.....	1
1.2. OBJETIVOS .....	1
1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....	2
<b>2.CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>5</b>
2.1. INTRODUÇÃO.....	5
2.2. BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER .....	5
2.2.1. CARATERÍSTICAS DA BARRAGEM.....	7
2.2.1.1. Generalidades dos elementos da Barragem .....	7
2.2.1.2. Cortinas corta-água.....	9
2.2.2. FASEAMENTO CONSTRUTIVO.....	10
2.2.3. DESCARREGADORES DE CHEIA.....	12
2.2.4. PROTEÇÃO DO LEITO A JUSANTE .....	13
2.2.4.1. Medidas adotadas .....	13
2.2.4.2. Comportamento.....	14
2.2.4.3. Medidas corretivas .....	14
2.3. BARRAGEM DE WALTER F. GEORGE .....	16
2.3.1. GENERALIDADES DO APROVEITAMENTO .....	16
2.3.2. PROBLEMAS E SOLUÇÕES ADOTADAS.....	17
2.3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	18
<b>3.CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE TENSÃO E PERCOLAÇÃO NOS SOLOS .....</b>	<b>19</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	19
3.2. TENSÕES DE REPOUSO .....	19
3.3. TENSÕES INDUZIDAS POR AÇÕES EXTERIORES .....	21
3.4. A ÁGUA NOS SOLOS - PERCOLAÇÃO .....	21

3.4.1. PERMEABILIDADE .....	21
3.4.2. LEI DE DARCY.....	22
3.4.3. REDES DE ESCOAMENTO COM MALHA QUADRADA.....	24
3.4.3.1. Gradiente hidráulico .....	26
3.4.3.2. Caudal percolado.....	26
3.4.4. INSTABILIDADE HIDRÁULICA .....	26
3.4.4.1. Quick Condition .....	26
3.4.4.2. Levantamento hidráulico .....	27
3.4.5. EROÇÃO INTERNA .....	28

## **4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA COM RECURSO A ENSAIOS .....**

31

4.1. INTRODUÇÃO .....	31
4.2. PROCEDIMENTO E EQUIPAMENTO.....	31
4.3. CORREÇÕES.....	32
4.4. CORRELAÇÕES COM OUTRAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO .....	32
4.4.1. CORRELAÇÃO ENTRE NÚMERO DE PANCADAS NORMALIZADAS E ÍNDICE DE COMPACIDADE .	33
4.4.2 CORRELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE PANCADAS NORMALIZADAS E O ÂNGULO DE ATRITO.....	33
4.4.3. CORRELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO MÉDIO DAS PARTÍCULAS E A RESISTÊNCIA DO SOLO .....	34

## **5. MODELAÇÃO DO PROBLEMA.....**

35

5.1. INTRODUÇÃO .....	35
5.2. DESCRIÇÃO GERAL .....	35
5.3. CASOS DE ESTUDO .....	36
5.4. PARÂMETROS UTILIZADOS .....	38
5.4.1. PARÂMETROS DO SOLO .....	38
5.4.1.1. Peso volúmico .....	38
5.4.1.2. Ângulo de atrito.....	39
5.4.1.3. Módulo de deformabilidade .....	39
5.4.1.4. Coeficiente de permeabilidade .....	40
5.4.2. PARÂMETROS ESTRUTURAIIS.....	40
5.4.3. RESUMO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS. ....	41
5.5. RESULTADOS .....	41
5.5.1. ANÁLISE HIDRÁULICA.....	42
5.5.2. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO .....	46

5.5.2.1. Etapa 5 - Início da fase de exploração.....	47
5.5.2.2. Etapa 6 - Abertura da primeira fase de escavação a jusante .....	49
5.5.2.3. Etapa 7 - Abertura da segunda fase de escavação a jusante .....	52
5.5.2.4. Etapa 8 – Instalação da cortina de estacas secantes.....	54
5.5.3. ANÁLISES DE SENSIBILIDADE RELATIVAS À INTERVENÇÃO.....	58
5.5.3.1. Influência da variação do módulo de deformabilidade da cortina de estacas .....	58
5.5.3.2. Influência da variação da profundidade do maciço de encabeçamento .....	61
5.5.3.3. Influência da variação do afastamento da cortina de estacas em relação à cortina de montante.....	63
5.5.4. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS RESULTADOS .....	64
<b>5.6. COMPARAÇÃO E REFLEXÃO SOBRE OS RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
<b>6.CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>69</b>
<b>6.2. APLICABILIDADE DA SOLUÇÃO .....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO A1 – Sondagens dos ensaios SPT.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO A2 – Imagens da modelação e resultados das etapas 5, 6 e 7.....</b>	<b>89</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Perfil dos aproveitamentos hidráulicos do rio Douro nacional [1].....	5
Fig. 2 – Barragem de Crestuma-Lever - vista aérea.....	6
Fig. 3 – Corte longitudinal da barragem de Crestuma-Lever vista de jusante para montante [5] .....	7
Fig. 4 – Corte transversal da barragem de Crestuma-Lever [5] .....	7
Fig. 5 – Cheia de 10 de Janeiro de 2016 (fotografia do autor) .....	8
Fig. 6 – Corte de um grupo giratório da barragem de Crestuma-Lever com turbina tipo Kaplan.....	9
Fig. 7 – Pormenor das cortinas corta-água.....	10
Fig. 8 – Planta das duas fases de construção da barragem, a) primeira fase; b) segunda fase [8] .....	11
Fig. 9 – Pormenor das comportas numa situação de cheia intermédia. Cheia de 10 de Janeiro de 2016 (fotografia do autor).....	12
Fig. 10 – Esquema em planta (acima) e corte (baixo) das medidas adotadas para a proteção de jusante aquando o projeto inicial [5] .....	13
Fig. 11 – Extensão da erosão a jusante ao fim de 25 anos de exploração [5] .....	14
Fig. 12 – Redimensionamento do tapete protetor de jusante [5].....	15
Fig. 13 – Localização da barragem de Walter F. George .....	16
Fig. 14 – Barragem de Walter F. George nos Estados Unidos da América [9] .....	16
Fig. 15 – Primeira fase de execução da cortina de estacas da barragem de Walter F. George [9].....	18
Fig. 16 – Segunda fase de execução da cortina de estacas da barragem de Walter F. George [9].....	18
Fig. 17 – Tensões principais efetivas de repouso num ponto [10].....	20
Fig. 18 – Experiência de Darcy .....	23
Fig. 19 – Forças aplicadas sobre um bloco de solo submerso: a) condições hidrostáticas; b) condições hidrodinâmicas, sendo $i < i_{cr}$ ; c) condição hidrodinâmica crítica (quick condition), com $i = i_{cr}$ . [10] .....	24
Fig. 20 – Rede de escoamento bidimensional num meio isotrópico homogéneo [10] .....	25
Fig. 21 – Bloco potencialmente instável por levantamento hidráulico: a) geometria recomendada por Terzaghi para o bloco potencialmente instável (bpi); b) geometria mais provável do bpi em enseadeira ou escavação de largura reduzida [10] .....	28
Fig. 22 – Esquema explicativo do desenvolvimento da erosão interna: a) início do fenómeno; b) escoamento concentrado em galeria formada por erosão interna na interface estrutura-solo; c) desenvolvimento da galeria [10].....	29
Fig. 23 – Redes de escoamento para diversas soluções possíveis para o controlo do escoamento no solo de fundação de uma barragem com o perfil tipo da barragem de Crestuma-Lever: a) fundação simples; b) cortina corta-águas a montante; c) cortina corta-águas a jusante; d) cortina corta-águas a montante e jusante; e) fundação simples e tapete impermeável a montante [10] .....	30
Fig. 24 – Exemplo do ensaio SPT com as duas fases de penetração (15 e 15+15) [12].....	32

Fig. 25 – Relação entre $(N1)_{60}$ e o índice de compactação (Mayne et al., 2001) [11] .....	33
Fig. 26 – Correlações entre $(N1)_{60}$ e o ângulo de atrito em areias (Decourt, 1989; Hatanaka e Uchida, 1996) [11] .....	34
Fig. 27 – Correlação entre $qc$ e o diâmetro médio das partículas (Robertson et al., 1983) [11] .....	34
Fig. 28 – Vista da geometria 2D do modelo desenvolvido em RS2 (etapa 4) .....	37
Fig. 29 – Pormenor da geometria 2D com a malha de elementos finitos e níveis de água (etapa 5) ..	37
Fig. 30 – a) etapa 5 (fim do enchimento); b) etapa 6 (escavação da primeira fase; c) etapa 7 (escavação da segunda fase); d) etapa 8 (instalação da cortina de estacas e reposição do terreno a jusante).....	38
Fig. 31 – Comparação da rede de percolação com precisão de 20 quedas de potencial entre SEEP/W (a) e RS2 (b) na etapa 5 .....	43
Fig. 32 - Comparação das velocidades de escoamento entre SEEP/W (a) e RS2 (b) na etapa 5.....	43
Fig. 33 – Rede de percolação da etapa 6 .....	44
Fig. 34 – Rede de percolação da etapa 7 .....	44
Fig. 35 – Rede de percolação da etapa 8 .....	45
Fig. 36 – Gráfico dos deslocamentos verticais da bacia de dissipação .....	46
Fig. 37 – Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante na etapa 5 .....	47
Fig. 38 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de jusante na etapa 5.....	48
Fig. 39 - Deslocamentos totais etapa 5 .....	49
Fig. 40 – Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante na etapa 6 .....	50
Fig. 41 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de jusante na etapa 6.....	51
Fig. 42 - Deslocamentos totais etapa 6 .....	51
Fig. 43 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante na etapa 7 .....	52
Fig. 44 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de jusante na etapa 7.....	53
Fig. 45 - Deslocamentos etapa 7 .....	54
Fig. 46 – Modelação da etapa 8 – instalação da cortina de estacas secantes.....	54
Fig. 47 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante na etapa 8 .....	55
Fig. 48 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de jusante na etapa 8.....	56
Fig. 49 – Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de estacas na etapa 8 .....	57
Fig. 50 - Deslocamentos da etapa 8.....	58
Fig. 51 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de estacas admitindo diferentes módulos de deformabilidade .....	59
Fig. 52 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante admitindo diferentes módulos de deformabilidade na cortina de estacas .....	60
Fig. 53 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante admitindo uma variação da profundidade do maciço de encabeçamento .....	61

Fig. 54 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante admitindo uma variação da profundidade do maciço de encabeçamento .....	62
Fig. 55 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante admitindo uma variação do afastamento .....	63
Fig. 56 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de estacas admitindo uma variação do afastamento .....	64
Fig. A2. 1 – Etapas da modelação .....	91



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores tipo do coeficiente de permeabilidade em solos [10].....	22
Tabela 2 - Valores do ângulo de atrito das 3 sondagens .....	39
Tabela 3 – Valores do módulo de deformabilidade das 3 sondagens .....	40
Tabela 4 – Resumo dos parâmetros utilizados na modelação .....	41
Tabela 5 – Resumo da análise hidráulica .....	45
Tabela 6 – Resumo dos valores obtidos para a cortina de montante.....	65
Tabela 7 - Resumo dos valores obtidos na cortina de jusante .....	66
Tabela 8 – Resumo dos valores obtidos na cortina de estacas .....	66
Tab. A1. 1 – Valores da sondagem S1 .....	85
Tab. A1. 2 – Valores da sondagem S2 .....	86
Tab. A1. 3 – Valores da sondagem S3 .....	87
Tab. A2. 1 – Valores de momentos da cortina de montante.....	92
Tab. A2. 2 - Valores de momentos da cortina de jusante.....	95
Tab. A2. 3 - Valores de momentos da cortina de estacas .....	97
Tab. A2. 4 - Valores de esforços transversos da cortina de montante .....	101
Tab. A2. 5 - Valores de esforços transversos da cortina de jusante .....	103
Tab. A2. 6 - Valores de esforços transversos da cortina de estacas.....	104
Tab. A2. 7 - Valores dos deslocamentos da cortina de montante .....	106
Tab. A2. 8 - Valores dos deslocamentos da cortina de jusante.....	110
Tab. A2. 9 - Valores dos deslocamentos da cortina de estacas.....	114
Tab. A2. 10 – Valores de momentos da cortina de montante nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas .....	123
Tab. A2. 11 – Valores de esforços transversos da cortina de montante nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas .....	126
Tab. A2. 12 – Valores de deslocamentos da cortina de montante nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas .....	128
Tab. A2. 13 – Valores de momentos da cortina de estacas nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas .....	132
Tab. A2. 14 – Valores de esforços transversos da cortina de estacas nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas .....	135
Tab. A2. 15 - Valores de deslocamentos da cortina de estacas nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas .....	137



## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

2D – Duas dimensões

DEC - Departamento de Engenharia Civil

Fig. – Figura

MEF – Método de elementos finitos

NNA – Nível normal de água

NMA – Nível máximo de água

SPT – “Standard Penetration Test”

Tab. – Tabela

a – Distância entre equipotenciais

cm – Centímetro

$C_D$  – Coeficiente corretivo para o diâmetro do furo

$C_E$  – Coeficiente corretivo relacionado com a energia

$C_N$  – Coeficiente corretivo para a tensão efetiva

$C_R$  – Coeficiente corretivo para o comprimento de varas

$D_{50}$  – Diâmetro pelo qual passam cinquenta por cento das partículas (em peso)

$D_{\min}$  – Diâmetro mínimo das partículas

$D_{\max}$  – Diâmetro máximo das partículas

E - Módulo de deformabilidade [GPa]

e – Índice de vazios

F – Fator de segurança

GWh – Giga Watt hora

GPa – Giga Pascal

h – Altura

$\text{hm}^3$  – Hectómetro cubico

I – Impulsão

$I_d$  – Índice de compactidade

i – Gradiente hidráulico

$i_{cr}$  – Gradiente hidráulico crítico

$i_m$  – Gradiente médio

j – Força de percolação

J – Resultante das forças de percolação  
k - Coeficiente de permeabilidade [m/s]  
kgf – Quilograma força  
kg/m<sup>2</sup> – Quilograma por metro quadrado  
km – Quilómetro  
km<sup>2</sup> – Quilómetro quadrado  
kN - Quilo Newton  
kNm – Quilo Newton metro  
kN/m<sup>3</sup> – Quilo Newton por metro cúbico  
K<sub>0</sub> – Coeficiente de impulso em repouso  
L - Largura  
m – Metro  
m/d – Metro por dia  
m<sup>3</sup>/d – Metro cúbico por dia  
m<sup>3</sup>/s – Metro cúbico por segundo  
máx – máximo  
min - mínimo  
MPa - Mega Pascal  
N – Número de pancadas real do ensaio SPT  
N<sub>e</sub> – Número de quedas de potencial  
N<sub>r</sub> – Número de tubos de fluxo  
(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> – Número de pancadas corrigido  
P – Ponto P  
q<sub>c</sub> – Resistência de ponta do ensaio CPT  
Q – Caudal  
S – Secção ou Grau de Saturação  
u – Pressão neutra  
v – Velocidade de percolação  
V<sub>s</sub> – Volume de sólidos  
V<sub>w</sub> – Volume de água  
W' – Peso submerso do bloco potencialmente instável  
W<sub>s</sub> – Peso do sólido  
W<sub>w</sub> – Peso da água

z - Profundidade

$\alpha$  – Coeficiente de cálculo para o módulo de deformabilidade

$\Delta h$  – Perda de carga

$\phi'$  – Ângulo de atrito

$\gamma$  – Peso volúmico do solo

$\gamma_s$  – Peso volúmico das partículas sólidas

$\gamma_w$  – Peso volúmico da água

$\sigma'_v$  – Tensão efetiva vertical

$\sigma'_h$  – Tensão efetiva horizontal

$\sigma_v$  – Tensão total vertical



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O estudo do estado de tensão, tanto estático, como induzido por forças exteriores como a percolação, é essencial para o estudo de dimensionamento em engenharia civil. Este estudo apresenta particularidades específicas quando estamos perante estruturas de retenção de água sobre fundos móveis. Assim é possível fazer uma simulação das tensões instaladas no terreno e fundação de uma estrutura, tanto aquelas de origem estática como as dinâmicas, conseqüentes do movimento da água, e com os seus resultados podem ser desenvolvidas soluções e implementadas medidas de conceção ou correção de obras a realizar ou já construídas.

Este trabalho consiste numa análise de comportamento mecânico das cortinas corta-água da fundação de uma barragem do tipo fundo móvel, e cortina de estacas secantes, face a alterações do estado de tensão e dos esforços instalados nestas, e no terreno de fundação, devido à ocorrência de erosão do terreno de jusante. A finalidade deste trabalho consiste na avaliação de tais esforços e possíveis deslocamentos destes elementos de fundação de uma barragem, para verificar a segurança da mesma, e equacionar uma possível solução de mitigação. Para isso foi utilizado como caso de estudo a fundação da barragem de Crestuma-Lever, fundamentado através de outros estudos, artigos publicados e dissertações que se focam no tipo de obra, na sua execução, exploração e relatos de algumas situações verificadas.

### 1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a análise de sensibilidade do comportamento de elementos da fundação de uma barragem, essencialmente das cortinas corta-águas, em função de variações dos parâmetros físicos destes elementos de fundação de uma barragem como caso de estudo. Além disso pretende-se analisar eventuais efeitos decorrentes de comportamentos anómalos e possíveis soluções de mitigação.

Para a análise desses efeitos possíveis recorreu-se a um software comercial desenvolvido pela Rocscience, o RS2 v9.0, que se baseia no método de elementos finitos e permite a simulação de análises de tensão-deformação, presença de água (fenómenos de percolação) ou ainda uma análise conjunta de ambos, através do cálculo automático iterativo. Utilizou-se como base da simulação a secção transversal de um vão da barragem de Crestuma-Lever.

Cada simulação é focada na avaliação de algumas grandezas de maior importância para estes casos, como as tensões instaladas no terreno de fundação, os esforços transmitidos por estas à estrutura como

momentos fletores ou esforços transversos, assim como os deslocamentos. É ainda avaliado o movimento da água no mesmo terreno e a influência que este tem nas tensões, através do caudal e força de percolação. Esta avaliação é feita para locais chave de modo a estudar a estabilidade da obra e validar possíveis soluções para problemas como a erosão.

Depois de estudadas as diferentes análises pretende-se proceder a uma comparação de resultados entre simulações para poderem ser apresentadas conclusões relativas às ocorrências registadas.

### **1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO**

Esta dissertação está subdividida em 6 capítulos que se passam a descrever.

O primeiro capítulo está estruturado de modo a fundamentar a importância do trabalho realizado no âmbito da Geotecnia, assim como os objetivos de tal trabalho e sua relevância na solução de problemas deste ramo de engenharia, como a influência das tensões e água percolada em estruturas de retenção de água sobre fundos móveis. Além disso, com este capítulo pretende-se explicitar o que serviu de motivação para a realização deste estudo, e a organização do mesmo.

No capítulo 2 é efetuada uma descrição de duas obras de referência para efeitos da presente dissertação, baseada na informação pesquisada e recolhida na bibliografia. Sobre a primeira obra de referência, a barragem de Crestuma-Lever, procede-se a uma descrição deste aproveitamento hidroelétrico, sendo abordados aspetos como a sua importância, o seu enquadramento no aproveitamento do rio Douro, localização, características próprias como dimensões e energia produzida, fins a que se destina, e ainda uma descrição construtiva e tipológica com pormenores que se entenderam importantes para este trabalho, a nível da construção e período de exploração. Ainda referente a esta obra são abordados também alguns pormenores da fundação, como as paredes moldadas de betão que constituem as cortinas corta-águas e a proteção do leito do rio imediatamente a jusante da barragem, objeto de intervenções devido a erosão verificada durante a fase de exploração, aspetos estes que serão analisados posteriormente em maior detalhe. O segundo caso de estudo, a barragem de Walter F. George nos Estados Unidos da América, é considerado pela semelhança que possui em termos de ocorrências associadas a estas obras, em especial em termos de percolação na sua fundação. São ainda enunciadas algumas soluções para esses problemas que foram empregues na barragem de Walter F. George, com a finalidade de avaliar a possibilidade da sua implementação noutros casos que partilhem semelhanças com esta obra.

O capítulo 3 fornece um enquadramento teórico a nível de conceitos utilizados para a análise de sensibilidade, como o estado de tensão nos solos, tensões induzidas por ações exteriores como a força de percolação e os seus efeitos neste tipo de obra. Abordam-se conceitos como o estado de tensão em repouso de um solo, a lei que rege o escoamento de água num maciço terroso, a influência da permeabilidade, a força de percolação, as quedas de potencial ao longo de um maciço e fenómenos de instabilidade hidráulica e ainda a erosão interna consequente do movimento de água através do terreno de uma fundação.

No capítulo 4 está presente um resumo do ensaio SPT, sendo este a base para a estimação de importantes parâmetros dos solos, como o ângulo de atrito e o módulo de deformabilidade adotados nos modelos estudados na dissertação. Dá-se ênfase ao procedimento e equipamento do ensaio, correções necessárias dos seus valores e correlações existentes com outros parâmetros geotécnicos.

No capítulo 5 é analisado o comportamento dos elementos da fundação de um dos casos de estudo, baseado na barragem de Crestuma-Lever. Na primeira parte dá-se enfoque nos parâmetros utilizados na

modelação, entre eles o peso volúmico, o ângulo de atrito, o módulo de deformabilidade e o coeficiente de permeabilidade adotado tanto para o terreno como para as estruturas em análise. Na segunda parte, temos o desenvolvimento de um conjunto de modelos realizados com recurso ao programa RS2, referentes a diversas situações e variações consideradas. O modelo tem como base a geometria da secção transversal de um vão descarregador da barragem de Crestuma-Lever, de modo a estudar a influência no comportamento mecânico, através da análise global tensão-deformação das cortinas corta-água. Através deste estudo, são ainda analisadas eventuais soluções de reforço, que visam assegurar melhor as condições de segurança. Vão sendo equacionadas várias situações por forma a balizar os cenários conducentes a situações mais desfavoráveis, e são apresentados os resultados de cada simulação efetuada pelo programa. São desenvolvidos modelos com base na solução transposta da instalação de uma cortina de estacas secantes, instalada a montante. Todos os modelos possuem diversas etapas que pretendem simular o escoamento de água na situação base correspondente ao funcionamento correto da estrutura, uma situação em que houve erosão imediatamente a jusante da barragem, e imediatamente após a instalação de uma cortina de estacas secantes como possível solução relativa à percolação. Dentro da última etapa, são ainda analisadas diferentes variantes da solução base, através da alteração do módulo de deformabilidade da cortina de estacas, variação da profundidade do encabeçamento, e afastamento relativamente à bacia de dissipação.

Por fim no capítulo 6 são avaliados e discutidos os resultados obtidos e apresentadas as conclusões que se podem retirar do estudo feito, assim como as principais reflexões a ter em consideração no dimensionamento ou na correção de anomalias em obras deste tipo.



## 2

### CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS DE REFERÊNCIA

#### 2.1. INTRODUÇÃO

Este trabalho incide na análise de duas obras em exploração que se consideram importante para o estudo de situações que podem ocorrer neste tipo de estruturas. Neste capítulo incide-se sobre a barragem de Crestuma-Lever instalada no rio Douro em Portugal, e na barragem de Walter F. George construída no rio Chattahoochee nos Estados Unidos da América.

A primeira obra a caracterizar, a barragem de Crestuma que será a base da modelação, será alvo da análise do comportamento de elementos da fundação, enquanto a barragem de Walter F. George servirá como exemplo de uma solução de remediação face a um comportamento indesejável da fundação de uma obra de retenção de água.

#### 2.2. BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER

Esta obra faz parte de um sistema de oito barragens no rio Douro a nível nacional, constituído pelas barragens de Miranda, Picote, Bemposta, Pocinho, Valeira, Régua, Carrapatelo e Crestuma-Lever, que no seu conjunto tornou possível a navegação de embarcações de grande porte no Douro nacional. (Fig. 1).

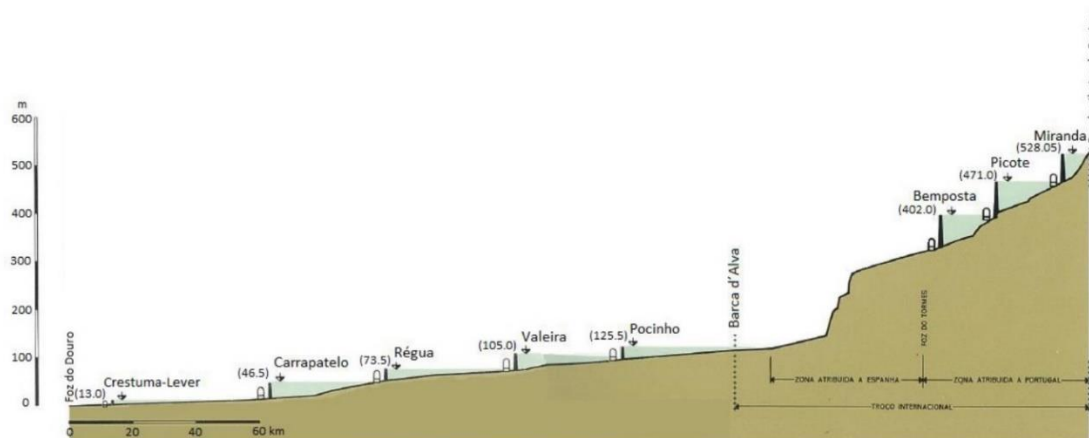


Fig. 1 – Perfil dos aproveitamentos hidráulicos do rio Douro nacional [1]

A barragem de Crestuma-Lever começou a ser estudada em finais da década de 1960 [2], foi construída entre 1977 e 1985, é a barragem mais a jusante do Rio Douro, estando localizada na fronteira das freguesias de Crestuma e Lever no concelho de Vila Nova de Gaia a cerca de 13 km da cidade do Porto [3] (Fig. 2).

Esta barragem, foi construída essencialmente como aproveitamento hidroelétrico a fio-de-água, apesar de servir para outros fins como reserva de água isenta de salinidade, regularização do caudal, fator de elevada importância que tornou possível a diminuição das cheias da zona ribeirinha da cidade do Porto. Além disso contribuiu para a melhoria da navegabilidade do rio Douro como referido e possibilitou uma ligação rodoviária entre as duas margens, com benefícios significativos para os concelhos de Vila Nova de Gaia, Feira, Arouca e Castelo de Paiva [1].

Foi ainda tida em consideração a vertente ambiental com a criação de um sistema de transposição de peixes, minimizando assim os impactos devido à construção da barragem.

A albufeira tem uma área de 96 520 (km<sup>2</sup>) que se estende por 44 (km) sensivelmente até ao aproveitamento do Carrapatelo a montante. Tem uma capacidade de encaixe de 22,5 (hm<sup>3</sup>) [1]. O facto de ser uma barragem assente em fundo móvel, fez com que à data de construção esta barragem fosse a primeira obra hidráulica de grande envergadura deste tipo construída em Portugal [1].

Os impactos consequentes da construção desta barragem foram reduzidos de modo a não serem sensíveis para a economia local, tendo sido fixada a cota de retenção da albufeira nos 13 metros o que se traduziu num reduzido desnível entre montante e jusante verificando-se uma pequena área de terrenos inundados devido à construção.



Fig. 2 – Barragem de Crestuma-Lever - vista aérea

## 2.2.1. CARATERÍSTICAS DA BARRAGEM

### 2.2.1.1. Generalidades dos elementos da Barragem

A barragem é constituída por uma central hidroelétrica na margem esquerda, eclusa de navegação, eclusa de peixes, oito vãos descarregadores (Fig. 4) acomodados por 7 pilares e pelo encontro da margem direita [1] (Fig. 3).

Este aproveitamento é do tipo fundo móvel, o que quer dizer que uma parte substancial da barragem está assente numa camada de solo aluvionar espessa, tendo como principal suporte pilares fundados a maior profundidade no maciço rochoso. Esta ligação entre barragem e pilares é feita através de juntas entre pilar-barragem que permitem acomodar alguns deslocamentos verticais que possam ocorrer [4].

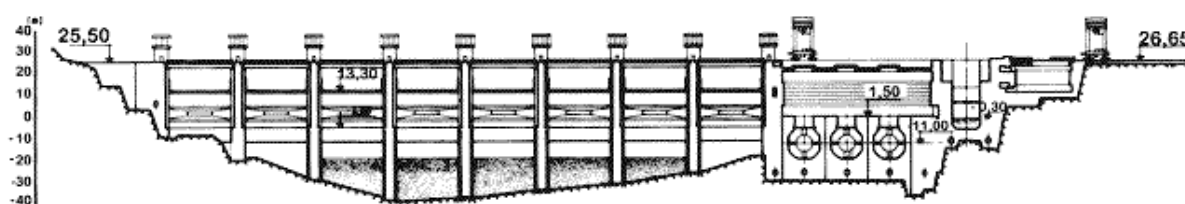


Fig. 3 – Corte longitudinal da barragem de Crestuma-Lever vista de jusante para montante [5]

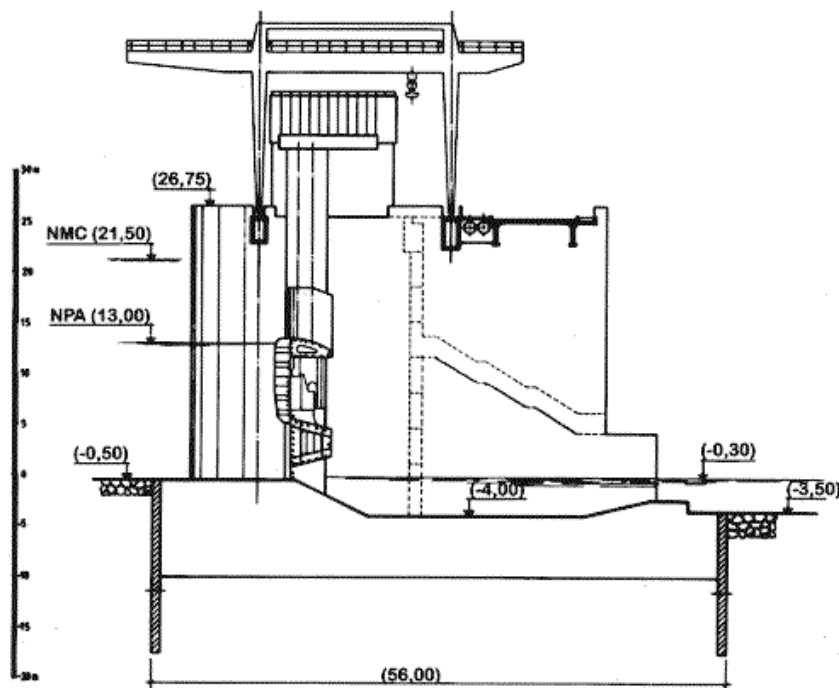


Fig. 4 – Corte transversal da barragem de Crestuma-Lever [5]

O volume de água é retido na albufeira por oito comportas móveis tipo vagão com 13,8 metros de altura e 30,2 metros de vão, que sobem em situação de descarga, permitindo que a água flua sem grande obstrução, ficando apenas à vista os pilares entre as comportas em situação de grandes caudais afluídos [1].



Fig. 5 – Cheia de 10 de Janeiro de 2016 (fotografia do autor)

Sendo estes pilares o principal suporte da barragem, tornam-se dos elementos mais importantes da obra. Têm 6m de espessura, 65,5 metros de altura desde a fundação ao topo, e 50 metros de comprimento. Estão fundados no estrato rígido de “bed-rock” xistoso através de pegões de paredes moldadas [1].

As oito bacias de dissipação situadas entre os pilares betonadas no próprio aluvião do rio definem a tipologia de fundo móvel, e são constituídas por duas cortinas corta-água, uma a montante e outra a jusante, responsáveis pela atenuação das velocidades e caudais de água que passa pelo estrato onde estão fundadas. Estas cortinas são constituídas por paredes de betão moldadas no próprio terreno e desenvolvem-se a toda a largura de cada vão descarregador da barragem [6].

Este tipo de conceção de fundo móvel apresenta uma solução delicada pois o facto de haver constantemente um volume de água a percolar pelo terreno de fundação subjacente à barragem pode dar origem à erosão do mesmo, podendo levar a situações que, em última instância, podem pôr em causa a estabilidade da barragem. É, no entanto, uma solução muito mais económica do que atravessar a camada de cerca de 30 metros de solo aluvionar para fazer a fundação no estrato rochoso, nestes casos onde o “bed-rock” se encontra a grandes profundidades.

Associado a este risco, acresce o facto de o volume de água a passar pelos vãos descarregadores numa situação de cheia, com consequentes velocidades de escoamento elevadas, poder originar erosão do terreno a jusante da barragem (Fig. 5).

Para acautelar os dois fenómenos o leito do rio imediatamente a jusante da barragem foi protegido por uma camada de enrocamento de grandes blocos assentes no leito e através do recurso a filtros invertidos, numa extensão de 80 metros.

A central de produção de energia com dimensões 50 por 16,2 por 21,6 metros, e a eclusa de navegação, contruídas na margem esquerda do rio estão ambas fundadas em rocha, sendo a central constituída por 3 blocos de tomada de água para produção de energia constituídos por 3 turbinas tipo “Kaplan” de eixo horizontal [1] (Fig. 6).

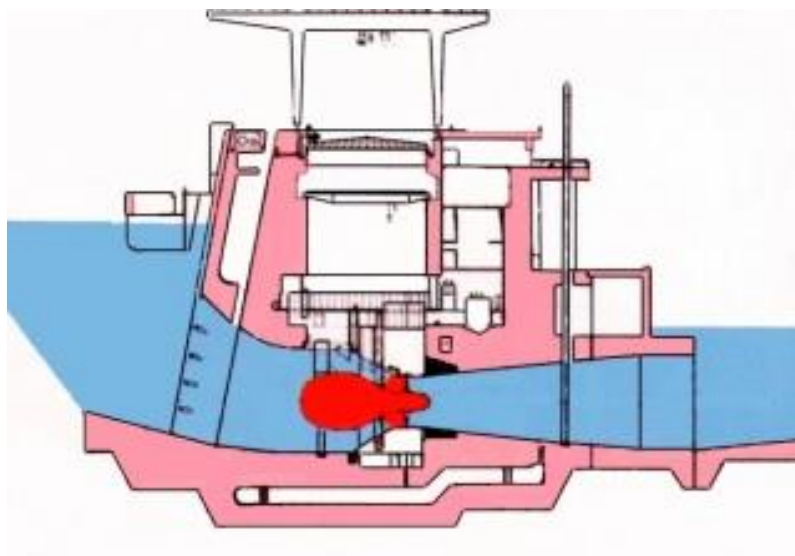


Fig. 6 – Corte de um grupo giratório da barragem de Crestuma-Lever com turbina tipo Kaplan

A eclusa de navegação é a parte da obra mais próxima da margem esquerda, com um canal de acesso do lado de jusante, com dimensões de 85 metros de comprimento e 12,1 metros de largura, e permite a navegação de embarcações com dimensões máximas de 83 metros de comprimento, 11,4 metros de largura e 3,8 metros de calado com capacidade de carga de 2500 toneladas [7].

A eclusa de peixes é do tipo Borland com 3 câmaras de pescagem, e está localizada no muro barragem-central.

A manutenção dos equipamentos de todo o aproveitamento e a entrada e saída de peças mecânicas de grande dimensão é assegurada por dois pórticos de 125 toneladas que se movimentam em todo o desenvolvimento da barragem, e por uma ponte rolante de 35 toneladas [1].

#### 2.2.1.2. Cortinas corta-água

As cortinas corta-água adjacentes às bacias de dissipação são paredes moldadas em betão armado (classe B225 com resistência característica à compressão simples de 225 Kg/cm<sup>2</sup> obtida em ensaios de cubos com idade de 28 dias), com 0,8 metros de espessura dispostas em planta com forma de arco. Estas cortinas têm como função a atenuação do caudal de água percolado e aumento do caminho de percolação que essa água tem de percorrer (Fig. 7). São uma parte estrutural da barragem de grande importância, pois têm um contributo significativo na estabilidade das bacias [2].

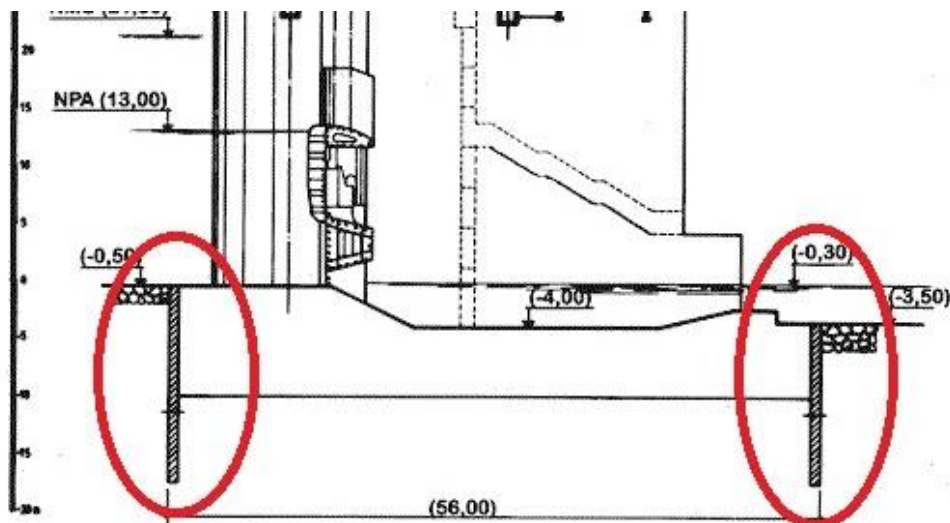


Fig. 7 – Pormenor das cortinas corta-água

### 2.2.2. FASEAMENTO CONSTRUTIVO

A construção da barragem foi feita em termos gerais em duas grandes fases (Fig. 8).

A primeira englobou, ao abrigo de uma ensecadeira empregando paredes moldadas de betão, a construção da central, eclusas, quatro bacias de dissipação, quatro pilares da parte esquerda e vãos 7E, 5E, 3E e 1E por ordem de construção. [2]

Esta primeira fase pode ainda ser dividida em duas subfases. Primeiro foram construídas as estruturas da central, eclusas e os dois pilares mais à esquerda (vãos 7E e 5E concluídos em Outubro de 1978), e posteriormente, aumentou-se a área de trabalhos para a realização dos dois pilares seguintes que correspondem aos vãos 1E e 3E (concluídos na estiagem de 1979) [2].

Para aumentar a área de trabalhos e construir estes vãos foi necessária a realização de uma zona aterrada delimitada por paredes moldadas de betão e uma cortina plástica de bentonite-cimento que não foi demolida após a construção destes vãos [2]. Esta demolição não foi levada a cabo devido a diversos fatores como a proximidade que estas tinham de elementos de obra definitivos, proximidade da foz e consequente influência de marés que levava a duas oscilações diárias dos níveis de água, ou a necessidade na rapidez do processo, a existência de uma viga de coroamento fortemente armada que dificultava os trabalhos [8].

Procedeu-se então a um desvio das águas para esta margem numa época de estiagem, passando o rio através dos vãos já terminados, para se dar início à segunda fase.

A segunda fase foi constituída pela construção das restantes quatro bacias, três pilares e encontro da margem direita também ao abrigo de ensecadeira com paredes moldadas de betão, tendo sido terminada no final de 1984 [8].

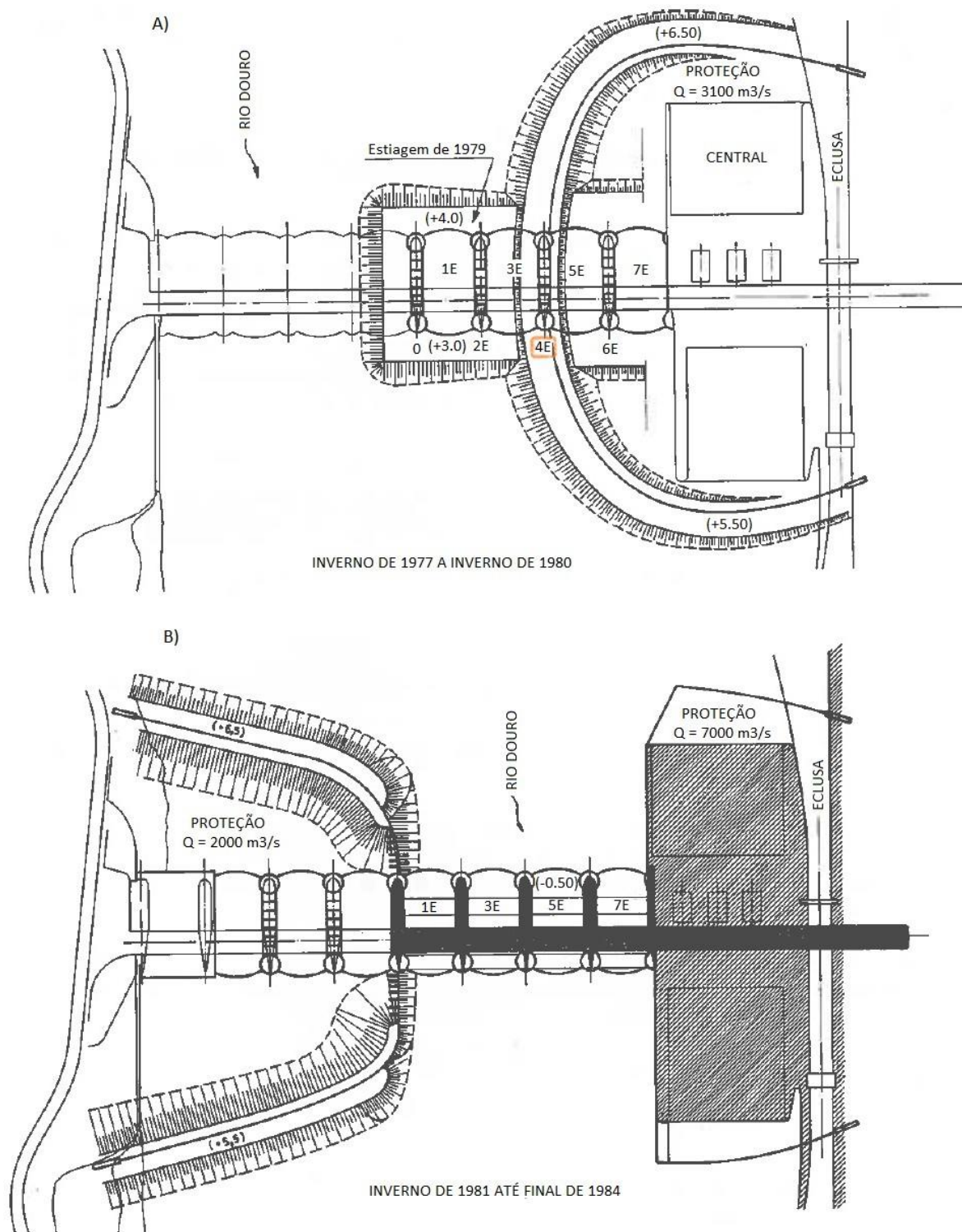


Fig. 8 – Planta das duas fases de construção da barragem, a) primeira fase; b) segunda fase [8]

### 2.2.3. DESCARREGADORES DE CHEIA

Uma das razões pela qual se optou por uma barragem do tipo fundo móvel no caso de Crestuma-Lever, para além dos já mencionados, diz respeito às características hidrológicas e fisiográficas do rio Douro responsáveis por cheias frequentes. Assim, a geometria da barragem de Crestuma-Lever e os seus descarregadores de cheia foram estudados de modo a causar o menor impacto no rio, com especial atenção à época de cheias.

Estes descarregadores, tendo em consideração estes fatores, permitem causar uma perda de carga hidráulica sem obstruir o curso de água numa situação limite de cheia. Existem dois níveis de funcionamento dos descarregadores, o nível máximo de água (NMA), que corresponde a 21 metros desde o leito do rio a montante, e para além da situação limite, o nível normal de água (NNA) que correspondente a 13 metros desde o leito [5].

Os descarregadores de cheia compostos por comportas de vagão duplo, funcionam de tal maneira que:

- Em pequenas cheias, o nível de água é mantido no NNA, para isso descendo-se a parte superior da comporta de modo a manter a cota permitindo assim a passagem de água por cima desta e sendo dissipada a energia nas bacias de dissipação;
- Em cheias de pequenas a intermédias o mesmo nível NNA é mantido, mas além do procedimento seguido nas pequenas cheias, é levantada parcialmente a parte inferior da comporta, permitindo a passagem de água tanto por cima como por baixo desta dissipando-se a energia através do cruzamento de fluxos;
- Em cheias intermédias a grandes ainda é mantido o nível normal de água (NNA) de 13 metros, mas neste caso a comporta inferior é aberta na totalidade (abertura até 7 metros de altura), sendo a energia dissipada diretamente nas bacias;
- Para cheias de ainda maior dimensão, o nível de água pode oscilar entre o NNA e o NMA (entre os 13 e 21 metros), para isso procedendo-se ao levantamento total da comporta, permitindo um fluxo de água completamente livre [5].



Fig. 9 – Pormenor das comportas numa situação de cheia intermédia. Cheia de 10 de Janeiro de 2016 (fotografia do autor)

Tendo em conta o funcionamento dos descarregadores e a Fig. 9 é possível concluir que as energias envolvidas nestas descargas podem tomar valores elevados considerando a dissipação de energia efetuada pelas bacias constituintes da barragem, e por essa razão a conservação do leito do rio a jusante não é apenas garantida pelas bacias, mas também por uma camada de proteção do leito que começa imediatamente a jusante das bacias de dissipação.

#### 2.2.4. PROTEÇÃO DO LEITO A JUSANTE

Devido a fatores relacionados com a tipologia do rio Douro, as cheias frequentes que se vão verificando, a capacidade de encaixe reduzida e a tipologia de fundo móvel da barragem de Crestuma-Lever, são relativamente comuns as descargas de cheias nesta barragem, do que advêm caudais e velocidades de escoamento que podem tomar grandes proporções. É, portanto, importante a forma como a água é restituída ao seu curso natural de forma a causar o menor impacto possível no leito do rio a jusante.

Acrescido a este facto, a existência de passagem de água por baixo da fundação (percolação) pode criar fenómenos de erosão, como já referido acima. A combinação destas duas situações será desenvolvida mais à frente.

Como tal, aquando da fase de projeto da obra, foi estabelecido que o leito do rio a jusante da barragem necessitaria de uma proteção contra a erosão do solo de modo a mitigar estas duas situações.

##### 2.2.4.1. Medidas adotadas

Quando a barragem foi construída, as medidas de proteção adotadas para prevenir a erosão a jusante provocada pela turbulência da água consistiram na construção de uma camada superficial protetora, com 60 metros constituída por enrocamento que teria início imediatamente a jusante das bacias de dissipação, mais 20 metros de duas camadas com função de filtro perfazendo um comprimento total de proteção de 80 metros a jusante da barragem (Fig. 10). Este dimensionamento foi feito com auxilio a ensaios em modelo de tamanho reduzido para reproduzir os efeitos de erosão provocada pela restituição de água a jusante. [5]

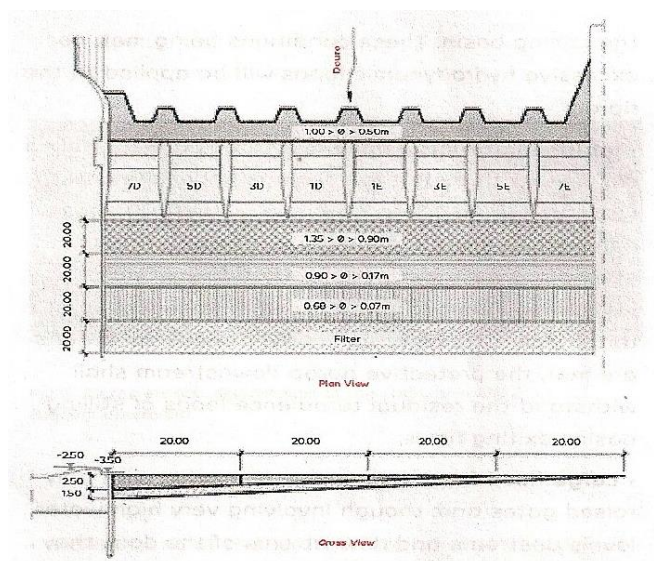


Fig. 10 – Esquema em planta (acima) e corte (baixo) das medidas adotadas para a proteção de jusante aquando o projeto inicial [5]

#### 2.2.4.2. Comportamento

Na fase de exploração do aproveitamento, procedeu-se a uma observação atenta do funcionamento desta camada protetora entre 1985 e 2010, que consistiu essencialmente em levantamentos batimétricos com especial incidência logo após alturas de cheias [5].

Nestas observações verificou-se que tinha ocorrido erosão da camada protetora de enrocamento que foi ficando danificada. Os danos deram origem a uma cavidade como consequência da erosão perto da cortina corta-águas de jusante com um desenvolvimento de aproximadamente 20 metros e uma profundidade média de 4 metros, atingindo em algumas zonas 8 metros de profundidade medido desde o topo da bacia de dissipação. Com estes resultados, a entidade a que está atribuída a exploração resolveu intensificar o diagnóstico com recurso a inspeções submersas efetuadas por mergulhadores por forma a avaliar a segurança da barragem. Esta análise permitiu concluir que a camada de enrocamento e as duas camadas com função de filtro estavam gravemente danificadas [5] (Fig. 11).

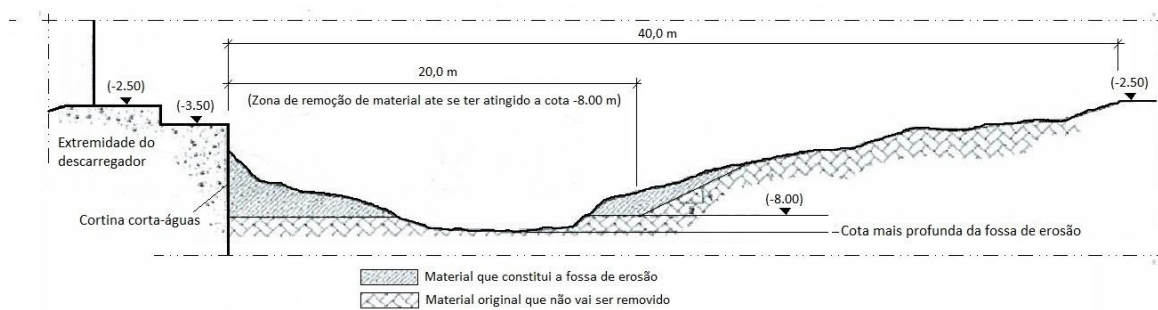


Fig. 11 – Extensão da erosão a jusante ao fim de 25 anos de exploração [5]

Foram apontadas como possíveis causas do problema um deficiente dimensionamento do tapete protetor na altura do projeto, uma incorreta dimensão dos blocos que faziam parte desse tapete, a existência de energias de dissipação diferentes das calculadas em projeto e/ou ainda a ocorrência de dragagens ocorridas no canal desde o início da exploração da barragem [5].

Tornou-se pelo exposto essencial fazer uma análise do comportamento para corrigir este problema, de modo a garantir a estabilidade da estrutura.

#### 2.2.4.3. Medidas corretivas

Feito o balanço dos danos existentes e suas causas durante os 25 anos de exploração da barragem que incluíram análises de comportamento, verificação da ocorrência da erosão a jusante e reanálise das implicações, foi decidido por parte da entidade exploradora da barragem, como parte das medidas corretivas, que seria necessário repor o tapete protetor e filtros de jusante redimensionados.

Para isso foi novamente efetuado o estudo do fluxo de percolação de água através do terreno de fundação com recurso a uma simulação numérica a duas dimensões para avaliar o risco de instabilidade hidráulica. Foram igualmente efetuados novos ensaios em modelos reduzidos contabilizando os novos dados referentes à época de exploração, e por fim foram acompanhados os trabalhos de remoção da camada protetora instalada inicialmente, para se proceder à reposição dessa camada ajustada às novas circunstâncias e estudos de dimensionamento mais recentes [5].

Esta remoção de material foi efetuada numa extensão de 40 metros imediatamente a jusante da barragem, e a uma profundidade de 8 metros medidos desde a altura da camada original (Fig. 12).

Os resultados provenientes do novo dimensionamento da camada protetora e filtros, motivaram medidas corretivas que consistiram essencialmente num aumento do tamanho dos blocos constituintes da camada protetora.

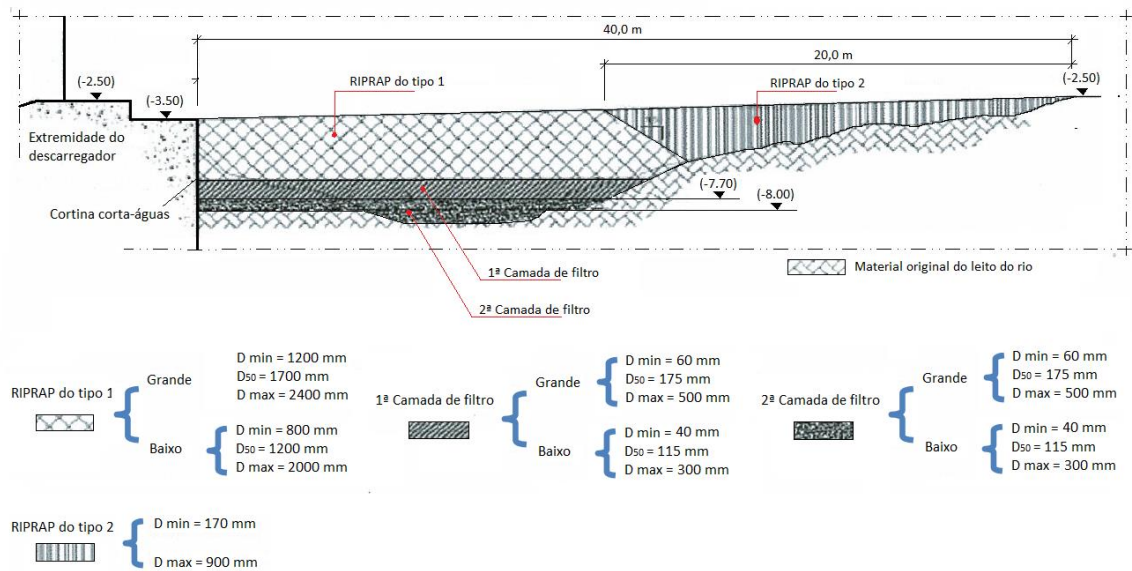


Fig. 12 – Redimensionamento do tapete protetor de jusante [5]

Antes, durante e após este trabalho de reparação da proteção de jusante foram mantidos os levantamentos de dados com vista a garantir a qualidade da intervenção com recurso a levantamentos batimétricos detalhados, a inspeções visuais usando mergulhadores e ainda a ensaios em laboratório para assegurar a utilização do material correto a empregar.

## 2.3. BARRAGEM DE WALTER F. GEORGE

### 2.3.1. GENERALIDADES DO APROVEITAMENTO

O nome desta barragem foi atribuído em homenagem a Walter Franklin George, Senador do Estado de Geórgia, e encontra-se entre este e o de Alabama no rio Chattahoochee [9] (Fig.13 e Fig. 14).

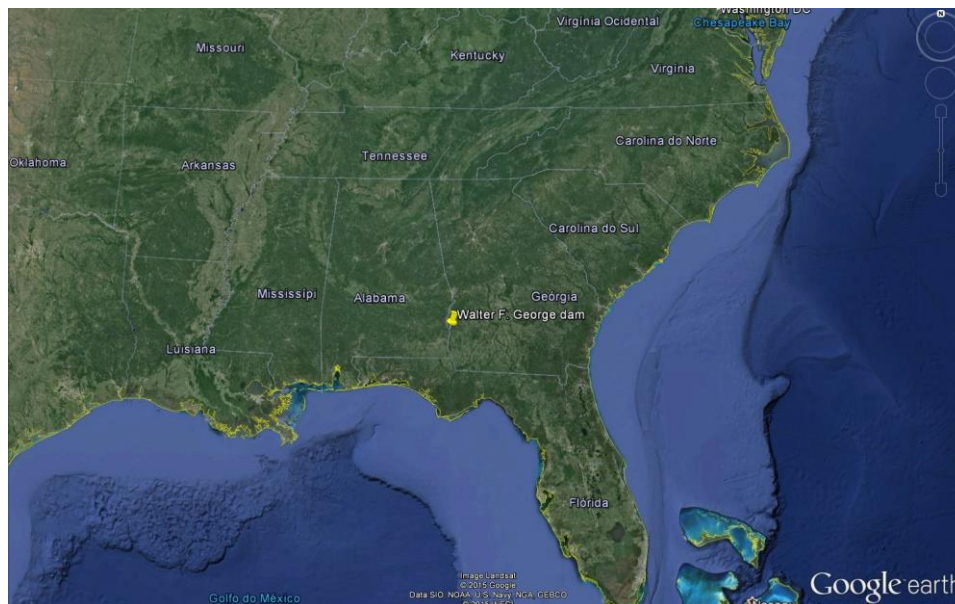


Fig. 13 – Localização da barragem de Walter F. George



Fig. 14 – Barragem de Walter F. George nos Estados Unidos da América [9]

A barragem foi construída entre 1955 e 1963 com a finalidade de melhorar a navegabilidade do rio e o aproveitamento de energia elétrica. Tem 455m de extensão, é feita de betão e foi fundada numa formação de calcário, bem diferente do terreno de fundação da barragem de Crestuma-Lever, embora tenha estado sujeita a fenómenos de erosão por percolação no terreno de fundação [9].

### 2.3.2. PROBLEMAS E SOLUÇÕES ADOTADAS

Esta barragem registou problemas de infiltração logo durante a fase de construção tendo sido registadas as primeiras ocorrências em Outubro de 1961 durante a fase final de construção da estrutura do lado do Estado de Alabama, em que surgiram dois buracos de grandes dimensões causados pela erosão interna [9].

Em 1962, ainda durante a construção, surgiu água na base da barragem do lado de jusante tanto na margem do Estado da Geórgia como de Alabama [9].

Para tentar controlar a percolação que estava a ocorrer, foram construídos poços de alívio para baixar a pressão de água na base da barragem de maneira que fosse possível efetuar um reforço da fundação através da introdução de betão por meio de injeção. Esta foi a primeira tentativa de controlo da percolação [9].

No entanto, após o término das obras, já em 1968 e 3 anos depois do início da exploração, verificou-se um aumento de intensidade na erosão interna manifestada pelo aparecimento por buracos à superfície (“sinkholes”). Para remediar a situação efetuaram-se mais injeções na fundação da barragem, enchendo os buracos existentes com areia e construindo anéis de betão em volta destes para canalizar a água percolada. Em 1969 esta medida foi novamente utilizada para corrigir mais um buraco surgido [9].

O problema ainda não podia ser considerado como resolvido, tendo sido por isso levados a cabo vários estudos com recurso à medição dos níveis piezométricos a jusante, de maneira a perceber quais os caminhos preferenciais da água percolada por baixo da barragem. Estes estudos tinham como fim, a construção de um filtro trincheira de areia a jusante da barragem de maneira a intercetar esta água percolada, e assim diminuir a sua velocidade, reduzindo deste modo o volume de solo que estava a ser arrastado. No entanto, em 1970, os buracos causados pela erosão interna continuavam a aparecer [9].

Como até à data todas as intervenções se tinham revelado insuficientes, partiu-se para uma nova estratégia, que envolveu a construção de uma parede moldada em betão com 0,6 metros de espessura que alcançava um estrato mais rígido de calcário de maneira a cortar o fluxo de água percolado. Esta solução foi implementada nas zonas mais próximas de ambas as margens, onde o problema era mais visível entre os anos de 1981 e 1985. No entanto, cortado o fluxo na zona das margens, este agravou-se na zona central da fundação da barragem, piorando a situação e pondo mesmo em causa a estabilidade geral de todo o empreendimento. Finalmente, nesta altura foi decidido construir um corta-águas por baixo da fundação de betão [9].

Só em 2001 se alcançaram melhores resultados quando se construiu uma cortina de estacas secantes materializando uma parede com 0,6 metros de espessura mínima a montante da barragem, com uma profundidade média de 60 metros, ligadas à mesma através de um maciço de encabeçamento, fundadas num estrato de calcário impermeável, por forma a controlar a percolação por baixo da barragem [9] (Fig.15 e Fig. 16).

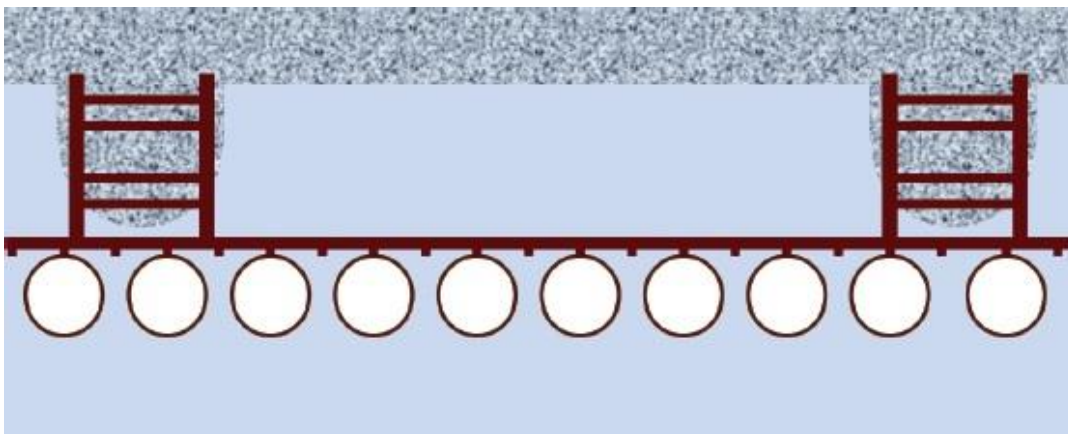


Fig. 15 – Primeira fase de execução da cortina de estacas da barragem de Walter F. George [9]

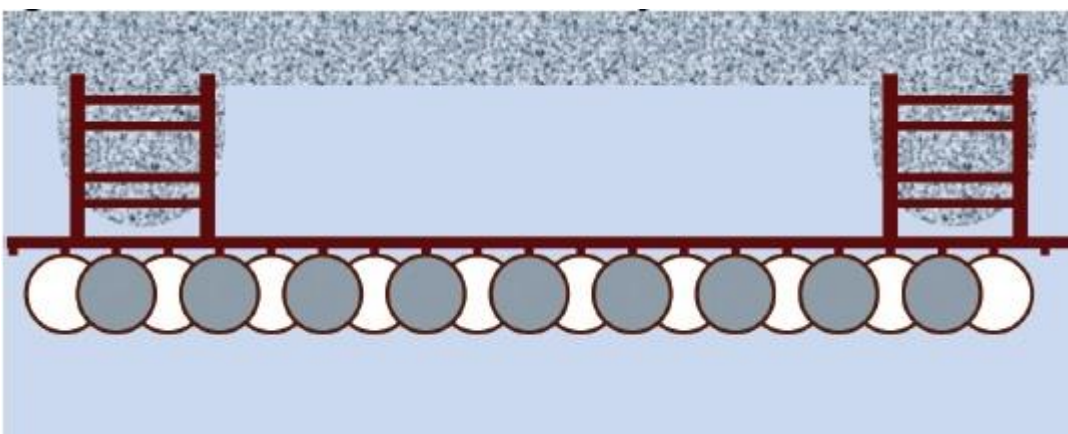


Fig. 16 – Segunda fase de execução da cortina de estacas da barragem de Walter F. George [9]

### 2.3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O caso de estudo da barragem de Walter F. George é um bom exemplo de problemas graves ocorridos devido à erosão interna do terreno de fundação de uma barragem devido à ação da percolação.

Depois das várias tentativas falhadas na resolução deste problema, podemos afirmar que apenas a solução final adotada, que consistiu na construção de uma cortina de estacas secantes, produziu os resultados esperados, pondo um ponto final na situação.

Segundo a entidade responsável por esta barragem, até essa altura não havia registos de uma solução semelhante ter sido utilizada na resolução de problemas deste tipo, e a qualidade dos resultados obtidos com esta intervenção podem ser encorajadores para aplicação noutros casos. No estudo desenvolvido na presente dissertação, foram efetuadas análises de sensibilidade relativas ao comportamento das cortinas-corta-água do vão tipo da barragem de Crestuma-Lever, no pressuposto da implementação de uma solução similar à adotada na barragem de Walter F. George, como meio de melhorar as condições de segurança da obra face à ocorrência de fenómenos erosivos indesejáveis no terreno de fundação.

# 3

## CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE TENSÃO E PERCOLAÇÃO NOS SOLOS

### 3.1. INTRODUÇÃO

O estado de tensão nos solos define os esforços que estão instalados neste, advindo do próprio peso das terras ou rochas dele constituintes, presença ou não de água no solo, ou consequência de solicitações exteriores instaladas como por exemplo uma construção.

### 3.2. TENSÕES DE REPOUSO

As tensões de repouso são as tensões originadas pelo peso próprio do solo, ou seja, as tensões naturais presentes no solo quando não há nenhuma intervenção ou solicitação exterior. Estas podem ser divididas em tensão total, tensão neutra e tensão efetiva [10].

Tendo um solo um peso volúmico associado  $\gamma$ , que regra geral não se altera muito em profundidade quando estamos perante um estrato ou solo com uma história geológica idêntica, então à medida que a profundidade aumenta o peso das terras acima acumuladas irá aumentando, aumentando também o estado de tensão. Podemos então dizer que a tensão total vertical é dada pela equação (3.1):

$$\sigma_v = \gamma \cdot z \quad (3.1)$$

sendo  $z$  a profundidade considerando uma superfície horizontal [10].

Por outro lado, se considerarmos um solo submerso, terá de ser considerada a influência da água no estado de tensão pois esta torna-se responsável pela transmissão de parte das forças instaladas no maciço até agora apenas transmitidas pelas partículas sólidas [10]. Esta pressão devido à presença de água, chama-se *pressão neutra* ou *pressão intersticial*, representada por  $u$  [10]. Da mesma forma que o peso volúmico da água ( $\gamma_w$ ) é constante valendo 9,81 (kN/m<sup>3</sup>), a pressão evolui com a profundidade, sendo a tensão neutra dada pela equação (3.2):

$$u = \gamma_w \cdot z \quad (3.2)$$

se o nível freático coincidir com a superfície do terreno.

Como a resistência do solo é característica do esqueleto sólido [10], surge então o conceito de *tensão efetiva* (equação (3.3)), que é igual à tensão total subtraída da tensão neutra:

$$\sigma_v' = \sigma_v - u \quad (3.3)$$

Note-se que estamos perante tensões verticais (normais à superfície).

Este conceito de tensão efetiva é de extrema importância na mecânica dos solos pois representa a tensão verdadeiramente instalada no solo, pois só o esqueleto sólido entra na resistência real [10].

Olhando agora para o que acontece numa direção horizontal, se pensarmos num maciço com dimensões horizontais infinitas no plano horizontal, as tensões horizontais serão obviamente iguais si [10]. A sua determinação, no entanto, não se faz da mesma forma que para as tensões verticais pois estas não resultam apenas do peso das partículas, mas sim através do *coeficiente de impulso em repouso* ( $K_0$ ) igual à razão entre a tensão efetiva horizontal e a tensão efetiva vertical, equação 3.4 (Fig. 17):

$$K_0 = \frac{\sigma_h'}{\sigma_v'} \quad (3.4)$$

$$\sigma_h' = K_0 \cdot \sigma_v' \quad (3.5)$$

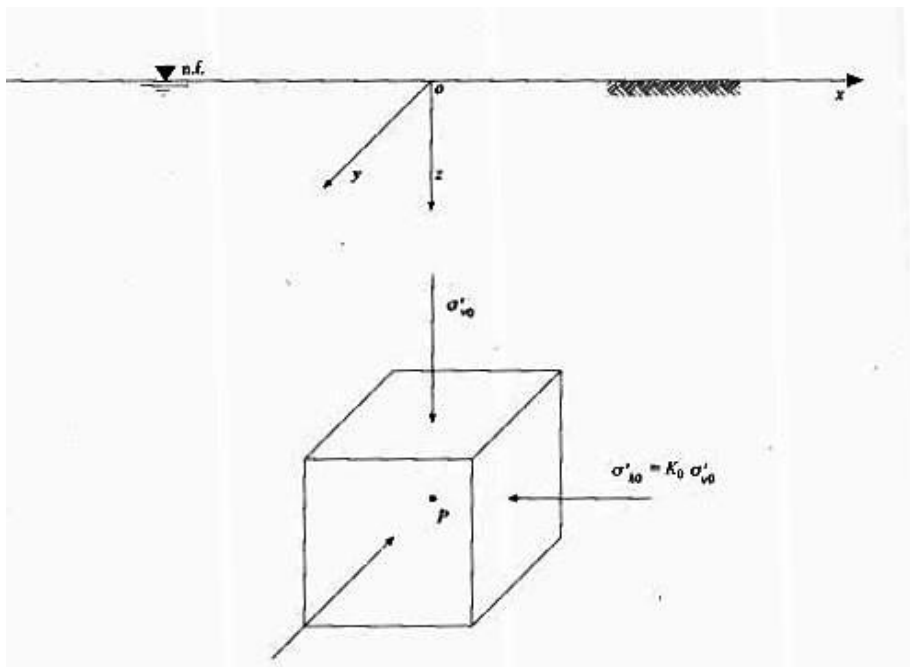


Fig. 17 – Tensões principais efetivas de repouso num ponto [10]

A grandeza do coeficiente de impulso em repouso depende essencialmente da história geológica do solo em questão, e pode ser obtida através de ensaios *in situ* e correlações empíricas com outros parâmetros. Apesar deste coeficiente poder tomar valores muito diferentes consoante o maciço em questão, habitualmente em solos sedimentares normalmente consolidados este toma valores na ordem dos 0,5 [10].

### 3.3. TENSÕES INDUZIDAS POR AÇÕES EXTERIORES

Quando num solo em repouso instalarmos uma solicitação exterior como por exemplo uma construção, o peso e forma dessa estrutura como é perceptível irá alterar o estado de tensão no solo por via de tensões incrementais [10].

O mesmo se verifica quando estamos perante uma circulação de água num solo, em que esta vai introduzir novos esforços nesse meio. Numa obra como uma barragem, por razões óbvias esta contribuição da água assume enorme importância no comportamento do terreno de fundação, podendo até pôr em causa a estrutura se não forem adotadas as medidas adequadas às circunstâncias.

Tendo esta contribuição em atenção passa-se a desenvolver no próximo ponto em que se traduz esta influência.

### 3.4. A ÁGUA NOS SOLOS - PERCOLAÇÃO

Percolação consiste no movimento de água nos maciços. Este fenómeno ocorre quando existe uma diferença de carga hidráulica entre diferentes regiões, e este movimento dá-se dos pontos de maior carga hidráulica para os pontos com menor carga hidráulica. Portanto, a percolação está intrinsecamente associada a obras de engenharia que causam estas diferenças de carga. São exemplo obras de barragens ou de ensecadeiras [10].

Enquanto esta diferença de carga se mantiver constante, *regime de escoamento permanente*, este movimento de água, ou seja, o seu caudal, manter-se-á também constante [10].

A percolação nos maciços está dependente de diversos fatores, sendo os mais importantes a magnitude da diferença de carga entre as regiões, a distância entre elas, e a permeabilidade do meio que água atravessa.

Este fenómeno é de extrema importância em obras de barragens, pois permite quantificar e controlar a água que passa de montante para jusante através do terreno de fundação, permitindo acautelar possíveis consequências.

#### 3.4.1. PERMEABILIDADE

A permeabilidade de um solo é um dos parâmetros físicos mais importantes. Esta é definida essencialmente pela granulometria do solo, mas está ainda dependente dos espaços vazios existentes no mesmo, sejam eles preenchidos por ar ou água, criando a possibilidade de se criar uma rede de escoamento entre as partículas. É ainda dependente de aspetos como estrutura e composição mineralógica e grau de saturação. Naturalmente, quanto maiores forem os espaços vazios, maior será a passagem de água por esses espaços tornando a permeabilidade de um solo diretamente proporcional aos espaços vazios desse solo, se estivermos perante solos granulares. O mesmo não acontece em solos argilosos, em que a permeabilidade assume variantes mais complexas [10].

Estes fatores em conjunto criam então uma enorme gama de valores existentes de permeabilidade com uma variação de oito a nove ordens de grandeza, entre cascalhos (mais permeáveis) e argilas (menos permeáveis, normalmente expressa como coeficiente de permeabilidade (k) de valores entre  $10^{-2}$  e  $10^{-10}$  (m/s). Na tabela 1 apresentam-se a título ilustrativo os diferentes coeficientes de permeabilidade existentes nos solos:

Tabela 1 – Valores tipo do coeficiente de permeabilidade em solos [10]

Tipo de solo	k (m/s)
Cascalhos limpos	$> 10^{-2}$
Areia grossa	$10^{-2}$ a $10^{-3}$
Areia média	$10^{-3}$ a $10^{-4}$
Areia fina	$10^{-4}$ a $10^{-5}$
Areia siltosa	$10^{-5}$ a $10^{-6}$
Siltes	$10^{-6}$ a $10^{-8}$
Argilas	$10^{-8}$ a $10^{-10}$

No entanto, estes coeficientes podem tomar grandezas diferentes em direções diferentes. A este facto dá-se o nome de *anisotropia de permeabilidade*. Esta diferença pode ser devida à orientação preferencial das partículas num determinado estrato, ou ainda, se considerarmos uma situação de vários estratos consolidados com diferentes coeficientes de permeabilidade.

Se considerarmos um maciço uniforme num plano horizontal, esta anisotropia é mais frequente em argilas sobreconsolidadas que viram as suas partículas laminares típicas destes orientadas numa direção horizontal preferencial devido às tensões impostas durante milhares ou milhões de anos. Esta orientação vai então criar direções preferenciais (horizontais) de escoamento alterando a forma como a água atravessa os maciços.

Se olharmos para maciços compostos por solos granulares é também possível existir anisotropia. Isso deve-se à diferença temporal entre deposição dos estratos, que é em parte responsável pelo coeficiente de permeabilidade, o que resulta em camadas com valores maiores ou menores deste coeficiente, fazendo com que num cenário em que consideram todos os estratos desse maciço, na vertical e na horizontal resultem valores diferentes do coeficiente de permeabilidade, e criando estratos preferenciais para a circulação de água.

A estratificação do solo é, portanto, o fator que mais contribui para a anisotropia.

### 3.4.2. LEI DE DARCY

Esta lei é a que rege este movimento de água no solo. Desenvolvida por Darcy (1856) foi deduzida experimentalmente com recurso a um mecanismo como o representado na Fig. 18. Este mecanismo impõe um regime de escoamento permanente no solo através do estabelecimento de uma diferença de carga hidráulica entre os extremos [10].

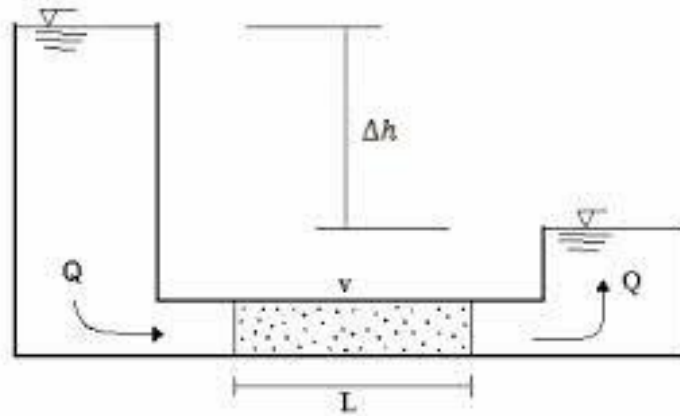


Fig. 18 – Experiência de Darcy

Através desta experiência Darcy concluiu que determinando o caudal percolado pelo solo, este é inversamente proporcional ao comprimento que a água tem de atravessar, diretamente proporcional à perda de carga e à secção que atravessa, podendo considerar-se a igualdade:

$$Q = k \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot S \quad (3.6)$$

sendo  $k$  o coeficiente de permeabilidade,  $\Delta h$  a diferença de carga hidráulica,  $L$  o comprimento e  $S$  a secção transversal.

Como ainda demonstrou Darcy, a razão da perda de carga pela distância percorrida é chamada de gradiente hidráulico, traduzido pela equação (3.7):

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (3.7)$$

Conjugando as duas fórmulas anteriores, podemos então chegar à equação já conhecida que define o caudal percolado:

$$Q = k \cdot i \cdot S \quad (3.8)$$

Sendo conhecido o gradiente hidráulico, a força de percolação é “a força que a água aplica à unidade de volume do solo em consequência exclusiva do seu movimento” [10]. É definida pela equação (3.9):

$$j = i \cdot \gamma_w \quad (3.9)$$

É, portanto, uma força que assume grande importância no comportamento de solos, ainda mais em obras onde esta esteja presente como é o caso das barragens sendo a força de percolação parcialmente responsável pela ocorrência de fenômenos de instabilidade hidráulica como o levantamento hidráulico ou a *quick condition* nestas obras [10] (Fig. 19).

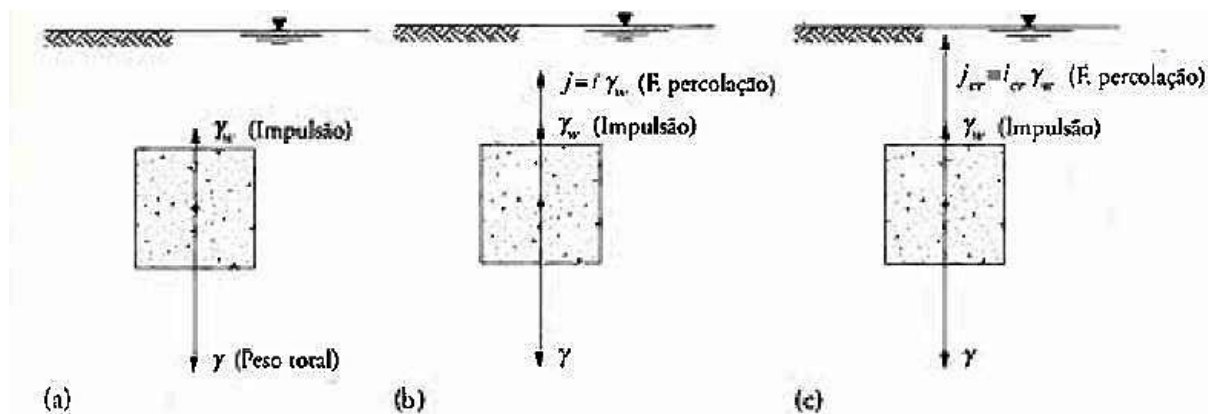


Fig. 19 – Forças aplicadas sobre um bloco de solo submerso: a) condições hidrostáticas; b) condições hidrodinâmicas, sendo  $i < i_{cr}$ ; c) condição hidrodinâmica crítica (*quick condition*), com  $i = i_{cr}$ . [10].

### 3.4.3. REDES DE ESCOAMENTO COM MALHA QUADRADA

O gradiente hidráulico e o caudal, deduzidos através da lei de Darcy podem ser transpostos para um caso com dimensão superior à experiência de Darcy, como no uso em redes de escoamento.

Assim, considerando uma massa de solo homogênea e isotrópica em termos de permeabilidade onde está instalado um regime permanente de escoamento, pode ser traçada uma rede formada por “duas famílias de linhas: as *linhas de corrente*, que representam trajetórias de partículas de água (linha descontínua e ponto P); e as *equipotenciais*, linhas de igual carga hidráulica (perpendiculares à linha descontínua), como podemos ver na figura seguinte. Se colocarmos piezômetros ao longo de uma dada linha equipotencial, estes acusam todos o mesmo nível de água” [10]. O espaço definido entre duas linhas de corrente é então designado de *tubo de fluxo* e cada tubo de fluxo possui o mesmo valor de caudal neste caso em que a malha toma uma forma quadrada [10] (Fig. 20).

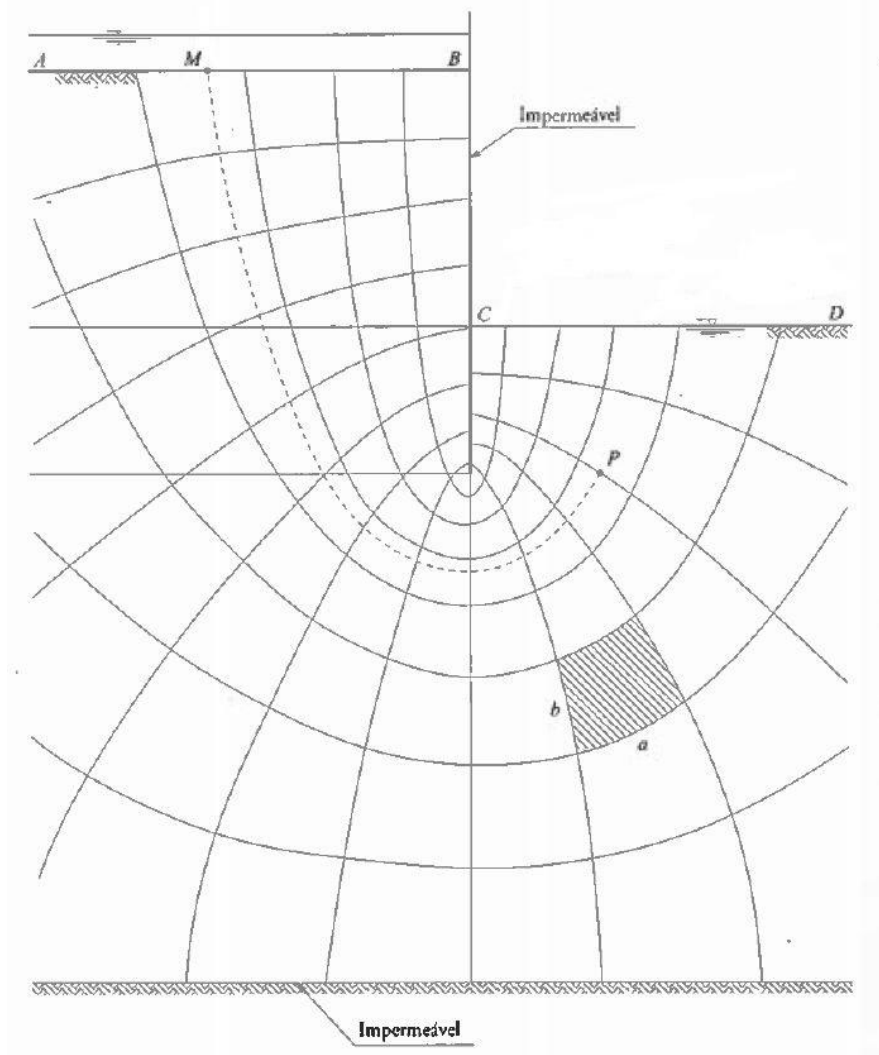


Fig. 20 – Rede de escoamento bidimensional num meio isotrópico homogêneo [10]

Resumidamente, com esta formulação, que possui uma dedução um pouco extensa que fica fora do âmbito deste trabalho, numa rede de escoamento de malha quadrada podemos dizer que:

- A perda de carga entre duas quaisquer equipotenciais vizinhas é constante;
- O caudal é igual em todos os tubos de fluxo.

Esta ferramenta, pela simplicidade e igualdades que comporta torna-se bastante valiosa na determinação dos caudais e gradientes da percolação.

A forma quadrada desta malha é consequência do meio isotrópico considerado. Se considerarmos um meio anisotrópico, a distância entre equipotenciais aumentará no sentido em que a anisotropia for maior. Por exemplo, se estivermos perante um maciço onde a permeabilidade horizontal é superior, então a malha passará a ser retangular, com o lado maior sendo a direção horizontal (distâncias entre linhas equipotenciais).

#### 3.4.3.1. Gradiente hidráulico

Como dito anteriormente, se o gradiente hidráulico é diretamente proporcional à perda de carga e inversamente proporcional à distância, utilizando este modelo, a distância pode ser admitida como sendo a distância entre equipotenciais multiplicada pelo número de equipotenciais:

$$i = \frac{\Delta h(total)}{N_e \cdot a} \quad (3.10)$$

onde  $N_e$  representa o número de quedas de potencial,  $\Delta h(total)$  a diferença de carga entre pontos de entrada e saída, e “a” a distância entre equipotenciais [10].

#### 3.4.3.2. Caudal percolado

O caudal, que está dependente da permeabilidade do meio, gradiente hidráulico, e secção, pode ser traduzido então pela equação (3.11):

$$Q = k \cdot \Delta h(total) \cdot \frac{N_f}{N_e} \quad (3.11)$$

onde  $N_f$  representa o número de tubos de fluxo [10].

#### 3.4.4. INSTABILIDADE HIDRÁULICA

Devido às condições que a água impõe no solo vistas atrás, podem surgir fenómenos de instabilidade que podem pôr em causa as construções feitas nestes meios. Como já foi referido, é então de grande importância analisar a ocorrência destes fenómenos para poderem ser acautelados, corrigidos ou mitigados.

##### 3.4.4.1. Quick Condition

Este tipo de instabilidade pode surgir em zonas onde o fluxo de água é ascendente, de direção vertical, próxima da superfície, como por exemplo imediatamente a jusante de uma barragem, ou no fundo de uma enseadeira.

Esta ocorre quando a força de percolação consequente da “ascensão” de água e a impulsão natural de uma situação hidrostática anula o peso do solo envolvido. Se este fenómeno ocorrer estamos perante uma anulação das tensões efetivas presentes no solo o que conduz a um comportamento do solo como um fluido [10].

A situação crítica para este fenómeno ocorrer, é traduzido pelo *gradiente hidráulico crítico* ( $i_{cr}$ ):

$$i_{cr} = \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad (3.12)$$

O fator de segurança para a *quick condition* é então traduzido pela equação (3.13):

$$F = \frac{i_{cr}}{i} \quad (3.13)$$

onde “*i*” representa o gradiente hidráulico existente no local de saída de água do maciço onde se pretende verificar a segurança. Fácil de perceber que se este for superior ao crítico, estamos perante uma situação de *quick condition* pois quer dizer que as forças de percolação e impulsão são superiores às gravíticas [10].

#### 3.4.4.2. Levantamento hidráulico

Outro tipo de instabilidade que pode ocorrer devido à circulação de água nos maciços é o levantamento hidráulico (*heave*). Este é igualmente consequente do mesmo fluxo de água, mas ao contrário da situação de *quick condition*, o levantamento hidráulico ocorre quando a água empurra o solo como um bloco que dificulta a sua passagem. Um exemplo muito simples de perceber será uma ensecadeira com areia no fundo e uma camada subjacente de argila de menor permeabilidade. Isto faz com que a água empurre os dois como um bloco só [10].

Para avaliarmos a ocorrência deste tipo de instabilidade, é necessário comparar o peso submerso do bloco potencialmente instável  $W'$ , e a resultante das forças de percolação que são exercidas nesse bloco  $J$  [10] (Fig. 21).

O coeficiente de segurança em relação ao levantamento hidráulico é então:

$$F = \frac{W'}{J} \quad (3.14)$$

Naturalmente, da mesma forma que na situação de *quick condition*, se o gradiente médio for superior ao crítico então estamos perante a ocorrência de levantamento hidráulico [10].

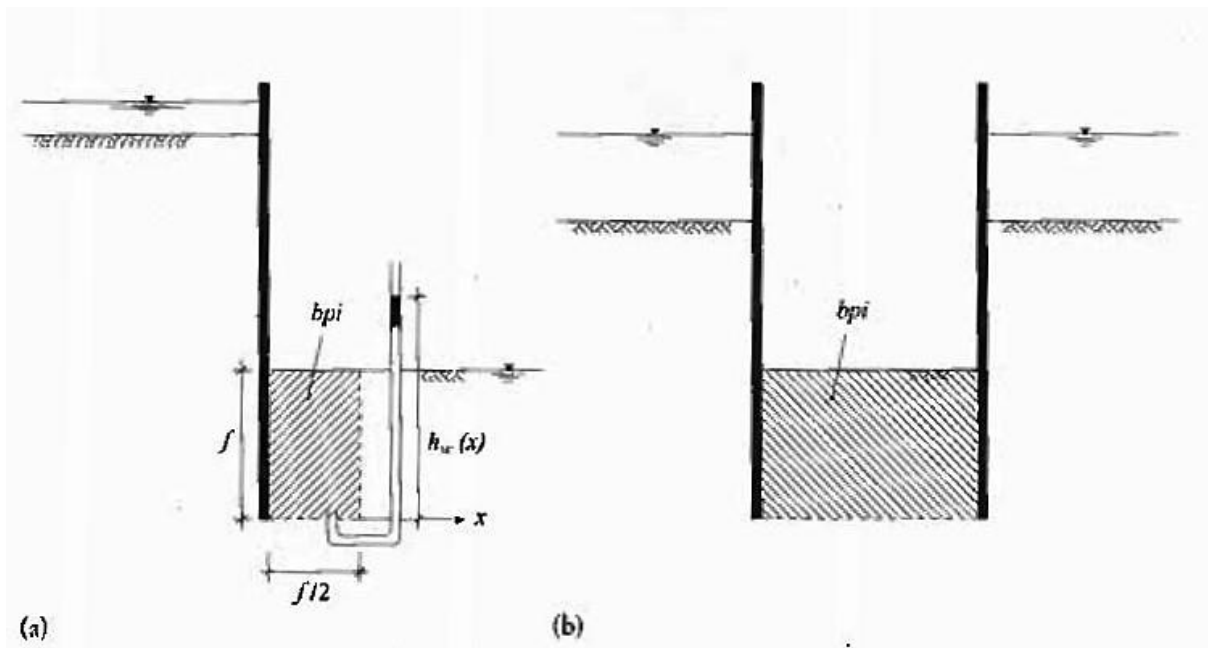


Fig. 21 – Bloco potencialmente instável por levantamento hidráulico: a) geometria recomendada por Terzaghi para o bloco potencialmente instável ( $b_{pi}$ ); b) geometria mais provável do  $b_{pi}$  em enseadeira ou escavação de largura reduzida [10]

### 3.4.5. EROSÃO INTERNA

Como foi dito antes, a força de percolação resulta da resistência que o solo oferece à passagem de água. Como esta passagem de água depende também da permeabilidade do meio, é fácil compreender que se houver uma passagem de um meio com maior para menor permeabilidade, então essa força exercida pela água será maior, o que poderá levar às instabilidades mencionadas anteriormente.

Se estivermos perante um caso, em que depois dessa camada menos permeável não houver volume de terras a estabilizar essa força, então é espectável, que a água empurre as partículas criando caminhos e vazios cada vez maiores, arrastando partículas com uma tendência crescente (Fig. 22), e criando uma situação crítica e perigosa, pois pode conduzir a uma situação incontrollável, apesar de não ser facilmente identificável, podendo pôr em causa a estabilidade global da estrutura [10].

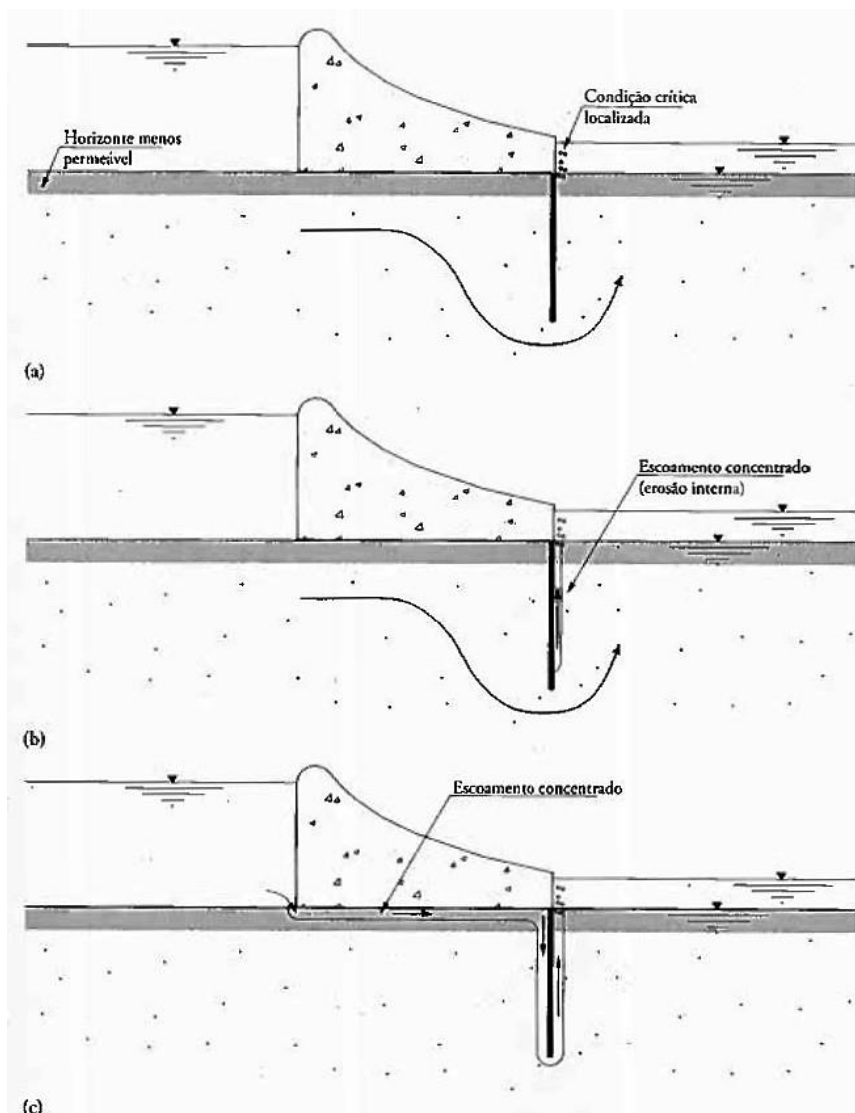


Fig. 22 – Esquema explicativo do desenvolvimento da erosão interna: a) início do fenômeno; b) escoamento concentrado em galeria formada por erosão interna na interface estrutura-solo; c) desenvolvimento da galeria [10].

Para evitar os fenômenos descritos acima, diminuir possíveis intervenções necessárias em obras, e controlar os custos de manutenção, podemos recorrer a diferentes mecanismos para acautelar ou minimizar o risco de problemas associados à percolação.

Relembrando que a percolação está dependente da permeabilidade do meio ou o caminho a percorrer pela água, então podem ser adotadas as seguintes soluções, evidenciadas na Fig. 23:

- Aumento do caminho de percolação através de:
  - Prolongamento da altura enterrada da estrutura no caso de enscadeiras,
  - Construção de cortinas corta-água,
  - Construção de tapetes impermeáveis a montante no caso de barragens.
- Instalação de filtros em conjugação ou alternativa às soluções anteriores por forma a evitar a erosão interna do solo.

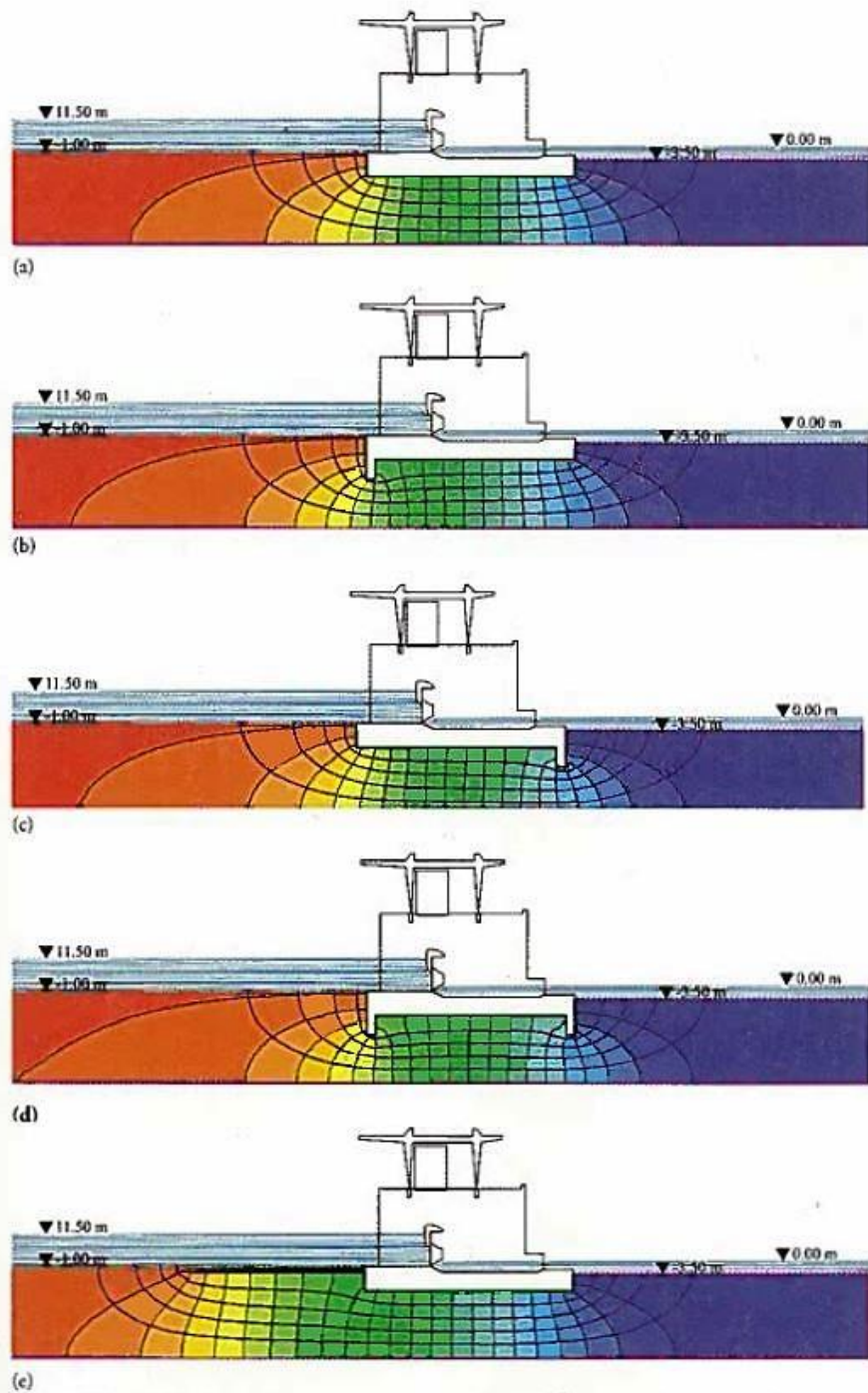


Fig. 23 – Redes de escoamento para diversas soluções possíveis para o controlo do escoamento no solo de fundação de uma barragem com o perfil tipo da barragem de Crestuma-Lever: a) fundação simples; b) cortina corta-águas a montante; c) cortina corta-águas a jusante; d) cortina corta-águas a montante e jusante; e) fundação simples e tapete impermeável a montante [10].

# 4

## CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA COM RECURSO A ENSAIOS

### 4.1. INTRODUÇÃO

O ensaio SPT (Standard Penetration Test) é o ensaio mais usado no mundo [11] para caracterização geotécnica dos solos. A razão para a popularidade deste ensaio deve-se à simplicidade tanto do equipamento a usar como do procedimento a seguir para a recolha de resultados [11].

Como para a realização deste trabalho foram disponibilizadas 3 sondagens com recurso a este ensaio, entende-se por bem fazer uma descrição do SPT, pois foi a partir destas sondagens que foram estimados alguns parâmetros.

### 4.2. PROCEDIMENTO E EQUIPAMENTO

O procedimento para este ensaio consiste na cravação no solo no fundo de um furo de sondagem de um amostrador próprio com pancadas sucessivas de um martelo com 63,5kgf de peso a cair de uma altura de 76cm. À medida que o amostrador vai percorrendo a profundidade, vai sendo anexado ao seu topo um conjunto de varas para se poder continuar a aumentar a profundidade do ensaio [11].

A cravação do amostrador é realizada em duas fases sucessivas. Numa primeira fase o amostrador penetra 15 cm, e na segunda este penetra 30 cm (15 mais 15), contabilizando-se o número de pancadas do martelo necessárias para as duas fases, sendo o número de pancadas necessárias na primeira fase apenas informativo. O número de pancadas da segunda fase (N) consiste no resultado propriamente dito do ensaio [11].

Se na primeira ou segunda fase de penetração, o número de pancadas atingir 60, sem ter sido atingida a profundidade de cada fase, o ensaio é interrompido e é registada a profundidade máxima atingida. Caso isto aconteça, este valor de N não é contabilizado [11].

Este procedimento pode ser observado na Fig. 24.

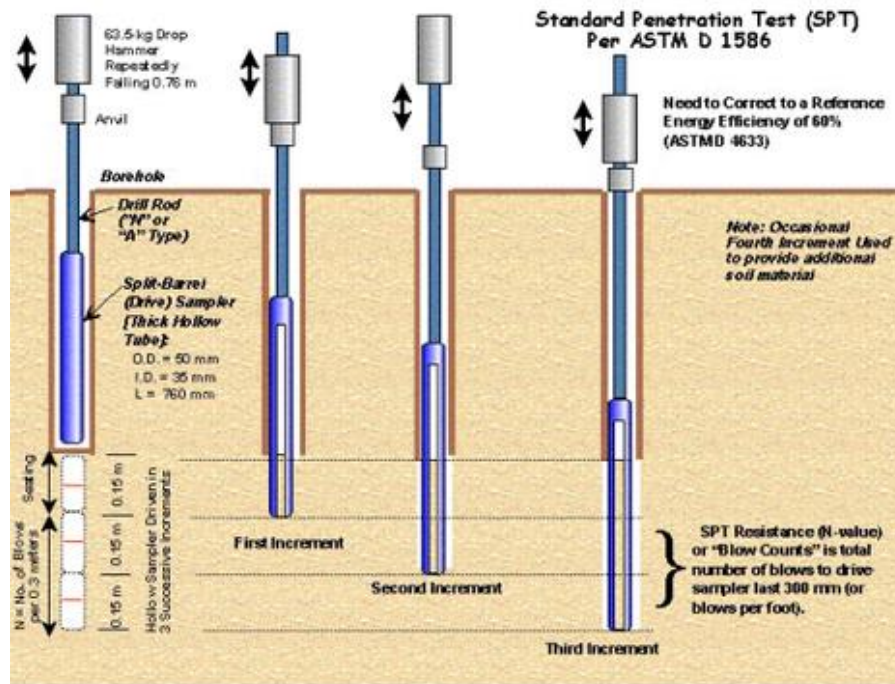


Fig. 24 – Exemplo do ensaio SPT com as duas fases de penetração (15 e 15+15) [12]

### 4.3. CORREÇÕES

Devido à não total normalização do ensaio e à existência de diferentes energias potenciais do martelo utilizado, diâmetro de varas, comprimento do conjunto de varas, ou tensões efetivas existentes no solo, são necessárias algumas correções do número de pancadas [11].

Assim, o numero de pancadas corrigido e normalizado será traduzido pela equação (4.1):

$$(N_1)_{60} = C_E \cdot C_R \cdot C_D \cdot C_N \cdot N \quad (4.1)$$

onde:

- $C_E$  – Coeficiente corretivo relacionado com a energia;
- $C_R$  – Coeficiente corretivo para o comprimento do conjunto de varas;
- $C_D$  – Coeficiente corretivo para o diâmetro do furo de sondagem;
- $C_N$  – Coeficiente corretivo para a tensão efetiva.

### 4.4. CORRELAÇÕES COM OUTRAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Ao longo do tempo foi possível estabelecer diversas correlações entre o número de pancadas normalizado do ensaio SPT com outros parâmetros do solo [11].

#### 4.4.1. CORRELAÇÃO ENTRE NÚMERO DE PANCADAS NORMALIZADAS E ÍNDICE DE COMPACIDADE

Uma correlação entre  $(N_1)_{60}$  e o índice de compactidade ( $I_D$ ), que permite assim fazer uma caracterização do solo através do SPT, foi conseguida através de um número elevado de resultados experimentais obtidas por diversos autores, e que Mayne et al. (2001) reuniram no gráfico abaixo (Fig. 25), e traduzido na equação (4.2):

$$I_D = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{60}} \quad (4.2)$$

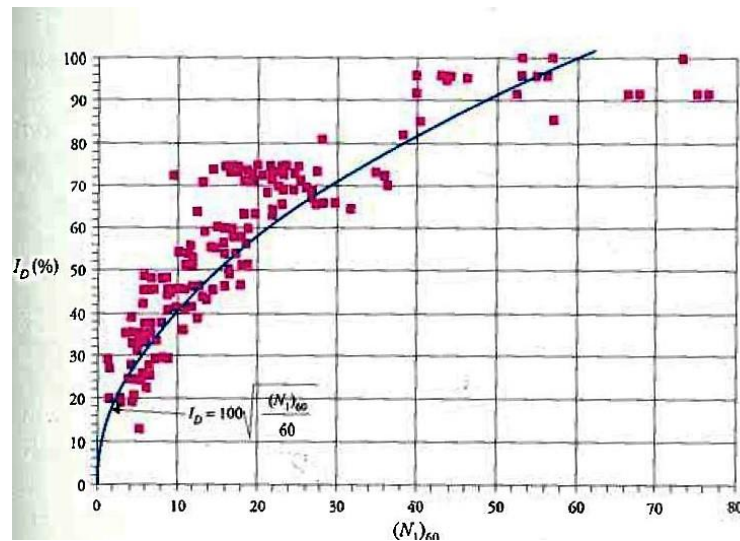


Fig. 25 – Relação entre  $(N_1)_{60}$  e o índice de compactidade (Mayne et al., 2001) [11]

#### 4.4.2 CORRELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE PANCADAS NORMALIZADAS E O ÂNGULO DE ATRITO

A correlação entre o SPT e o ângulo de atrito ( $\phi'$ ) foi proposta por Hatanaka e Uchida (1996) e Decourt (1989), sendo ambas muito próximas [11] (Fig. 26). De notar que neste trabalho foi usada a correlação mais recente de Hatanaka e Uchida (equação 4.3).

$$\phi' = \sqrt{15,4 \cdot (N_1)_{60}} + 20^\circ \quad (4.3)$$

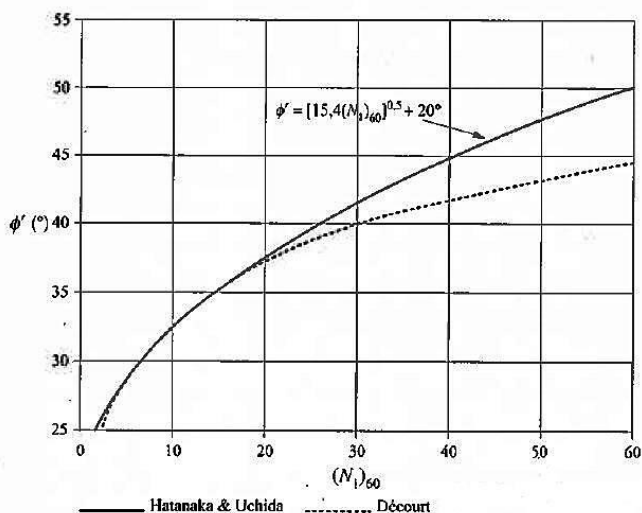


Fig. 26 – Correlações entre  $(N_1)_{60}$  e o ângulo de atrito em areias (Decourt, 1989; Hatanaka e Uchida, 1996) [11].

#### 4.4.3. CORRELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO MÉDIO DAS PARTÍCULAS E A RESISTÊNCIA DO SOLO

Em 1983, Robertson obteve a relação entre o diâmetro médio das partículas do solo com a resistência de ponta do ensaio CPT ( $q_c$ ), sendo assim possível fazer uma aproximação da resistência do solo como se pode ver na figura seguinte, e conseqüentemente do módulo de deformabilidade (E) do mesmo em ensaios SPT através da fórmula [11] (Fig. 27):

$$E = \alpha \cdot q_c \quad (4.4)$$

onde  $\alpha$  tem valores recomendados entre 3,0 e 3,5, tendo sido usado neste caso o valor de 3.

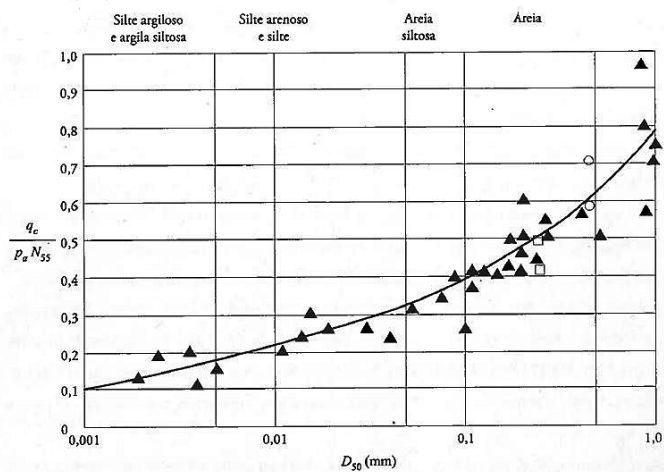


Fig. 27 – Correlação entre  $q_c$  e o diâmetro médio das partículas (Robertson et al., 1983) [11]

# 5

## MODELAÇÃO DO PROBLEMA

### 5.1. INTRODUÇÃO

O método de Elementos finitos (MEF) é uma ferramenta poderosa que permite fazer a modelação com características comportamentais mecânica e hidráulica dos terrenos muito realista. Os softwares existentes como o GeoStudio ou o RS2 da Rocscience são plataformas de relativamente fácil interação tornando problemas geotécnicos complexos em problemas com resultados de fácil interpretação.

O método propriamente dito é, em linhas gerais, um método numérico que passa por dividir um meio contínuo (neste caso formação sedimentar) numa malha constituída por um número finito de elementos singulares de menor dimensão consoante a precisão pretendida mantendo as mesmas propriedades, permitindo a análise pontual de diversos parâmetros desses vários elementos.

Para este caso de estudo foi analisado o potencial destes programas para a resolução do problema, o que exigiu um grande investimento em termos temporais na análise de cada um deles, tendo sido por fim decidida a utilização do programa RS2 v9.0 da Rocscience para o desenvolvimento do trabalho.

O RS2 é um programa que usa o método de elementos finitos para a resolução de problemas da Mecânica dos Solos. Além disso permite simular um faseamento do problema sendo assim possível analisar diversos fatores em diferentes ocorrências de uma obra, por exemplo, a escavação faseada de um túnel, a instalação de um nível freático em determinada etapa ou a construção de uma estrutura.

Este programa permite resolver problemas de escavações, estabilidade de taludes, percolação, análise probabilística, consolidação, e análise dinâmica de uma forma simples.

De notar que apenas a versão 9.0 permite fazer um modelo com uma interface estrutural impermeável, imprescindível para o caso em estudo.

A simulação do problema para a análise de sensibilidade do comportamento geomecânico das estruturas de fundação do vão tipo da barragem de Crestuma-Lever passa então pela transposição deste para o programa RS2 numa modelação em duas dimensões (2D).

### 5.2. DESCRIÇÃO GERAL

O problema desenvolvido com o programa RS2 consiste em analisar a estabilidade mecânica das cortinas corta-água de montante e jusante da barragem, assim como a cortina de estacas secantes a instalar, em diversos cenários possíveis. Além desta análise a nível estrutural da fundação, a análise de sensibilidade passa também pelo estudo da formação sedimentar em que estas se encontram inseridas.

Para isso foi feito um modelo com diversas fases, correspondente às diferentes situações que englobam:

1. O faseamento construtivo da barragem;
2. O enchimento da barragem e início do fenómeno de percolação;
3. A erosão do solo a jusante da barragem em duas fases;
4. Instalação de uma possível solução para minimizar a instabilidade.

O total das fases desenvolvidas, no entanto, totalizam 8 etapas devido à necessidade de separação das etapas a nível temporal.

### 5.3. CASOS DE ESTUDO

O modelo desenvolvido é baseado na geometria de um vão tipo da barragem de Crestuma-Lever. É constituído por um terreno sobre o qual está assente a barragem, e pela barragem em si. Foi assumido um terreno com duas camadas, uma de solo com 30 metros de espessura, e uma de rocha (bed-rock) subjacente com 5 metros de espessura perfazendo uma profundidade total de 35 metros. Em termos de desenvolvimento longitudinal foi considerada uma distância de 200 metros a montante e 230 metros a jusante da barragem. Todo o terreno constituinte dos modelos foi considerado com comportamento isotrópico em termos de permeabilidade.

Foram apenas objeto de análise no modelo as bacias de dissipação da barragem e respetivas cortinas corta-água pelo que apenas estas estão representadas.

Em termos estruturais foram consideradas as paredes moldadas das cortinas corta-água em betão com 0,8 metros de espessura e 17,5 metros de profundidade usando a função *structural interface* no RS2 definindo um *liner* com as propriedades do betão e 2 *joints* para permitir assumir a cortina como estrutura impermeável, e a bacia com dimensões de sensivelmente 54 metros de comprimento por 10 metros de profundidade definida apenas como material com as propriedades do betão.

Para a simulação da influência da água foram considerados dois níveis de água, 13 metros a montante e -0,3 metros a jusante da barragem, que correspondem à maior diferença possível no caso real entre montante e jusante. A geometria resultante está apresentada nas Fig. 28 e Fig. 29.

Como possível solução para controlar a erosão, a medida corretiva a ser analisada será a instalação de uma cortina de estacas secantes a montante da bacia, distanciada desta em 0,2 metros, com 0,8 metros de espessura média e um maciço de encabeçamento em jet-grouting com 2 metros de espessura. Os parâmetros utilizados são de igual valor ao das restantes estruturas fazendo, no entanto, variar o valor do módulo de deformabilidade entre 5, 10 e 20 GPa.

Depois da modelação desta solução é ainda considerada uma alternativa em relação à profundidade a que fica instalado o maciço de encabeçamento da cortina de estacas, e outra alternativa que consiste em aumentar o afastamento entre a cortina de montante e de estacas de 0,20 metros para 0,50 metros. Estas alterações têm como objetivo analisar a viabilidade da solução adotada.

Para a modelação foi usada uma malha de elementos triangulares de 3 nós com 1000 nós na fronteira exterior, e com um maior refinamento nas zonas de interface entre terreno e estrutura a analisar.

Fica a nota que podia ter sido usada uma malha mais densa para a análise, mas esta aumentaria muito significativamente o tempo de cálculo do programa, pelo que se optou por usar esta mais aberta.



Fig. 28 – Vista da geometria 2D do modelo desenvolvido em RS2 (etapa 4)

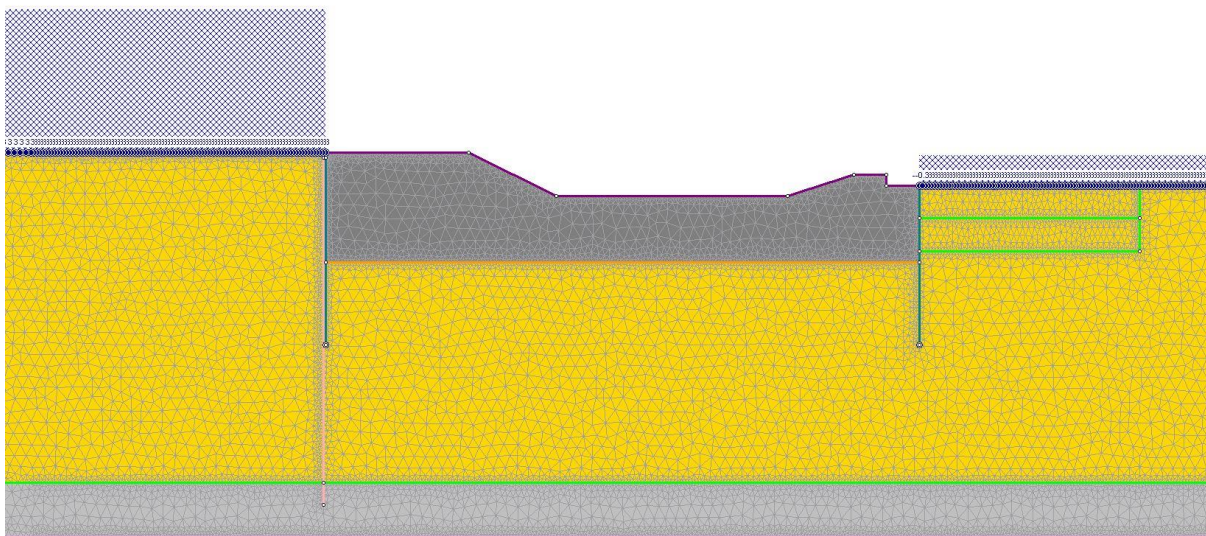


Fig. 29 – Pormenor da geometria 2D com a malha de elementos finitos e níveis de água (etapa 5)

Por forma a permitir um melhor enquadramento do problema foram desenvolvidas no programa várias etapas, desde o leito do rio em fase anterior à construção da barragem, até à implementação de uma possível solução para o problema em causa. As diversas etapas estão representadas nas seguintes figuras. Estas englobam:

1. O leito do rio antes de qualquer intervenção;
2. A instalação das paredes moldadas de betão que serão as cortinas corta-águas da barragem;
3. Escavação da zona onde serão betonadas as bacias;
4. Betonagem das bacias;
5. Etapa correspondente ao fim do enchimento com a diferença de carga hidráulica no nível crítico;
6. Escavação da primeira fase a jusante para simular o efeito da erosão ocorrida durante a exploração da barragem com 20 metros de comprimento e a uma profundidade de 3 metros contabilizados desde o topo da bacia;
7. Escavação da segunda fase até uma profundidade de 6 metros a contabilizar desde o topo da bacia;
8. Instalação da cortina de estacas secantes distanciada 0,2 metros a montante do início da barragem.

Apesar de serem admitidos cenários de estudo diferentes, as etapas serão iguais para todos, variando apenas as propriedades da cortina de estacas na última etapa. A título exemplificativo apresentam-se as imagens da etapa 5,6, 7 e 8 na Fig. 30. Para se obter uma ideia mais aprofundada de todas as etapas consideradas poderão ser consultados os anexos deste documento onde estão presentes os esquemas das etapas.

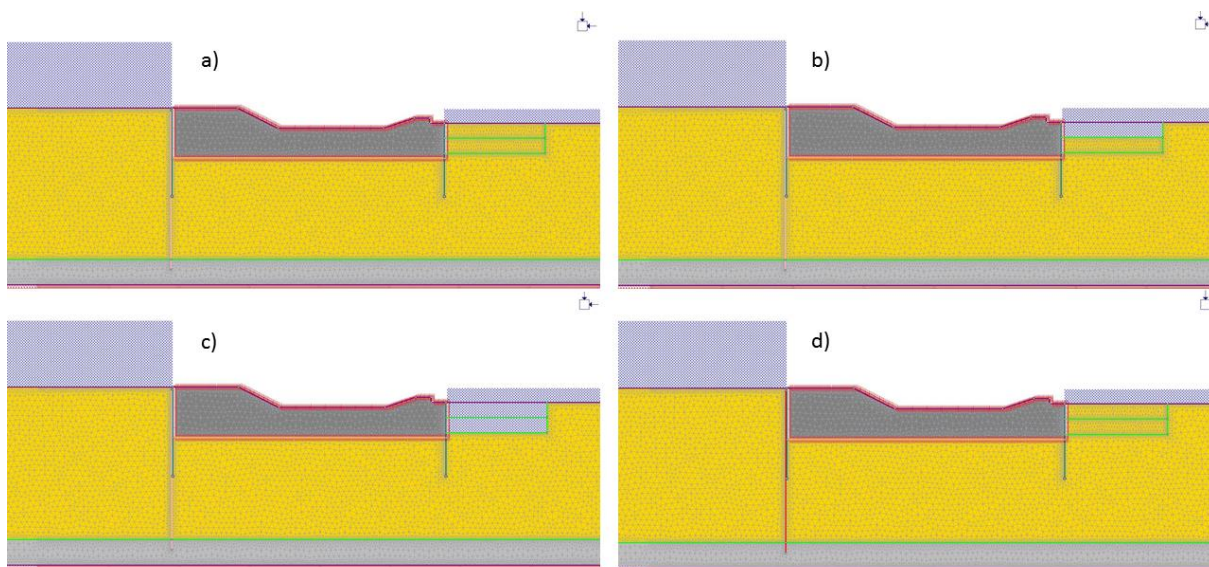


Fig. 30 – a) etapa 5(fim do enchimento); b) etapa 6 (escavação da primeira fase; c) etapa 7 (escavação da segunda fase); d) etapa 8 (instalação da cortina de estacas e reposição do terreno a jusante).

## 5.4. PARÂMETROS UTILIZADOS

### 5.4.1. PARÂMETROS DO SOLO

Para a realização da análise no programa foi necessária a estimativa de diversos parâmetros geotécnicos, sendo de realçar o valor do peso volúmico do solo ( $\gamma$ ), o ângulo de atrito ( $\phi'$ ) e o módulo de deformabilidade (E).

Estes parâmetros foram obtidos através dos resultados de 3 ensaios SPT, com a exceção da determinação do peso volúmico do solo que será apresentada de seguida. Para uma consulta da determinação dos restantes parâmetros, as tabelas correspondentes aos dados extraídos dos ensaios estão contidas nos anexos deste documento.

#### 5.4.1.1. Peso volúmico

O valor do peso volúmico ( $\gamma$ ) utilizado na modelação do problema foi obtido através do relacionamento entre grandezas básicas da Mecânica dos Solos (equação 5.1), nomeadamente entre o peso volúmico das partículas sólidas, o peso volúmico da água, o grau de saturação e índice de vazios:

$$\gamma = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{\gamma_s V_s + \gamma_w V_w}{1 + e} = \frac{\gamma_s + \gamma_w S e}{1 + e} \quad (5.1)$$

Tomando como valores:

$$\gamma_s = 26,5 \text{ KN/m}^3$$

$$e=0,6$$

$$S=100\%$$

$$\gamma_s = 9,81 \text{ KN/m}^3$$

obteve-se então o peso volúmico:  $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$ .

#### 5.4.1.2. Ângulo de atrito

O ângulo de atrito ( $\phi'$ ) foi estimado a partir das sondagens SPT disponibilizadas, através da correlação mencionada anteriormente de Hatanaka e Uchida:

$$\phi' = \sqrt{15,4 \cdot (N_1)_{60}} + 20^\circ \quad (5.2)$$

Das 3 sondagens realizadas entre os 35 e os 40 metros de profundidade, obtiveram-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 - Valores do ângulo de atrito das 3 sondagens

Sondagem	$\phi'$ (°)
S1	42,78
S2	40,60
S3	38,86
<b>Média</b>	40,75

#### 5.4.1.3. Módulo de deformabilidade

Em Maio de 1971 foram efetuados estudos relativos ao terreno onde seria instalada a fundação da Barragem de Crestuma [13]. Estes estudos consistiram em construir um aterro perpendicular à margem direita no local onde seria construída a obra, para realizar ensaios, de caracterização geológica e geomecânica.

Estes ensaios, realizados entre os -12,5 metros e os -22,5 metros, tinham como finalidade obter uma estimativa do módulo de deformabilidade do solo, tendo sido determinado um valor mínimo de 38,25 MPa. No entanto o estudo conclui que podem ser considerados valores entre os 44 MPa e os 127 MPa [13].

Além destes ensaios, estes aterros foram posteriormente aproveitados para fazer ensaios de refração sísmica. A partir destes ensaios, foram estimados os módulos de deformabilidade em função de diversas velocidades e coeficientes de Poisson tendo sido obtidos valores entre os 1618 MPa e os 5430 MPa [13].

No entanto, a consideração destes valores merece algum cuidado pois podem não corresponder à realidade.

No caso da rocha da camada subjacente, uma vez que passado um metro, ou dois de profundidade em algumas partes, esta tem um grau de alteração e fracturação baixo é seguro dizer que constitui um maciço rochoso de boa qualidade [13].

Através das sondagens disponibilizadas do ensaio SPT e das correlações com o diâmetro médio das partículas, resistência de ponta, e módulo de deformabilidade já mencionadas, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Valores do módulo de deformabilidade das 3 sondagens

Sondagem	E (Mpa)
S1	75,84
S2	38,00
S3	40,90
<b>Média</b>	51,58

Devido à grande disparidade de valores do módulo de deformabilidade obtidos em Maio de 1971, optou-se pelo valor médio obtido nas sondagens SPT.

#### 5.4.1.4. Coeficiente de permeabilidade

Como o solo de fundação da barragem é constituído essencialmente por areia grosseira a média compacta e xisto cinzento pouco alterado foi decidido utilizar os coeficientes de permeabilidade correspondentes a  $10^{-5}$  m/s para a areia e  $10^{-7}$  m/s para o xisto respetivamente.

#### 5.4.2. PARÂMETROS ESTRUTURAIS

Para a realização da análise de sensibilidade, tiveram também de ser definidos no programa os parâmetros referentes às estruturas sujeitas a análise.

Assim foram atribuídos valores referentes ao peso volúmico e ao módulo de elasticidade do betão das cortinas corta-águas, da bacia de dissipação e da cortina de estacas secantes a instalar na última etapa.

Em relação às cortinas corta-águas e à bacia, os valores utilizados foram um peso volúmico “ $\gamma$ ” de 25 kN/m<sup>3</sup>, e um módulo de elasticidade “E” de 20 GPa.

Para a cortina de estacas secantes, foram considerados diferentes valores do módulo de elasticidade para se fazer um melhor balanço da possibilidade de implementação da solução, e analisar a influência que essa variação teria nas outras estruturas já instaladas. Assim foram adotados 3 valores possíveis, de 5, 10 e 20 GPa. Relativamente ao peso volúmico, este foi considerado sendo igual aos restantes constituintes da fundação analisados, admitindo-se um valor de 25 kN/m<sup>3</sup>.

Em termos de permeabilidade, todas as estruturas consideradas à exceção da bacia foram consideradas impermeáveis. Para a bacia, dada a impossibilidade do programa de atribuir um material 100% impermeável, foi admitido um coeficiente de  $10^{-50}$  m/s.

#### 5.4.3. RESUMO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS.

De maneira a ficarem mais perceptíveis os valores considerados na modelação, apresenta-se na Tabela 4 um resumo dos diferentes parâmetros introduzidos no programa.

Para os restantes parâmetros que o programa usa no cálculo, foram assumidos os que o RS2 atribui por defeito.

Tabela 4 – Resumo dos parâmetros utilizados na modelação

Parâmetros	Solo	Cortinas corta- águas	Bacia de dissipação	Cortina de estacas secantes
Peso volúmico ( $\gamma$ ) (kN/m <sup>3</sup> )	20	25	25	25
Ângulo de atrito ( $\phi'$ ) (°)	40	-	-	-
Módulo de elasticidade (E) (MPa)	50	20000	20000	5000, 10000 e 20000
Coefficiente de permeabilidade (k) (m/s)	$10^{-5}$	impermeável	$10^{-50}$	impermeável

## 5.5. RESULTADOS

Neste ponto será então descrita em pormenor a análise realizada: os resultados serão apresentados por etapas para cada caso independente, fazendo-se uma comparação dos resultados obtidos.

Como a análise do problema apenas é relevante após o enchimento da barragem, altura em que se estabelece o regime de escoamento permanente no terreno de fundação, apenas serão apresentados os resultados a partir da etapa 5 onde é instalada a diferença de carga hidráulica máxima, ficando as etapas anteriores apenas como enquadramento dos casos de estudo.

Dado que o problema consiste na análise de sensibilidade do comportamento geomecânico da fundação da barragem, e como vimos anteriormente que a presença de água assume um papel de grande importância nestes casos, serão estudados:

- Velocidade de escoamento e caudal percolado (componente hidráulica);
- Esforços de flexão e deslocamentos horizontais nas partes estruturais (componente mecânica);

Relativamente aos resultados da componente hidráulica, estes são apresentados de forma a contextualizar os resultados da componente mecânica pois essa análise foi já realizada na dissertação de Gabriel Silva [4], sendo este presente trabalho uma continuação da análise total de sensibilidade.

Visto que este trabalho anterior foi realizado com recurso a um programa diferente (SEEP/W da GeoStudio), acha-se por bem fazer uma comparação de valores de velocidades e caudais obtidos em ambos os programas na etapa 5, por forma a verificar a legitimidade do que foi obtido no RS2.

No seguinte subcapítulo e posteriores procede-se então à análise hidráulica, de esforços de flexão e deslocamentos das etapas consideradas.

Fica a nota que, para uma descrição mais sucinta dos resultados, apenas serão apresentados os valores mais relevantes dos parâmetros analisados. Para uma melhor compreensão desses valores as tabelas completas retiradas do programa encontram-se em anexo.

#### 5.5.1. ANÁLISE HIDRÁULICA

Contextualizando o problema, foi feita uma análise hidráulica de percolação através do cálculo de velocidades e caudais máximos percolados pelo terreno de fundação para as etapas estudadas.

Devido a limitações na modelação do RS2, que como já foi referido não permite definir um material como impermeável, a zona correspondente à bacia de dissipação foi definida como tendo um coeficiente de permeabilidade de  $10^{-50}$  m/s de maneira a simular a impermeabilidade do betão. Devido a esta limitação, nas imagens referentes às redes de percolação será possível ver que o programa assume que existe um escoamento de água através da bacia. No entanto, analisando o caudal escoado nessa secção, é possível verificar que a grandeza deste é residual, o que continua a tornar legítimos os resultados obtidos a nível hidráulico.

De forma a verificar a veracidade dos valores obtidos no software RS2, foi feita uma comparação com outro programa, o SEEP/W da GeoStudio, através de um modelo idêntico para a etapa 5, do qual foram também extraídos os valores máximos correspondentes ao caudal e velocidade percolada.

Assim, olhando para a etapa 5, no RS2, obteve-se uma velocidade máxima de  $7,48 \times 10^{-6}$  m/s e um caudal máximo percolado de  $2,61 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. No SEEP/W os valores não foram muito dispares, tendo-se verificado uma velocidade máxima de  $6,73 \times 10^{-6}$  m/s e um caudal de  $2,50 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s.

Em termos de rede de percolação, quedas de potencial e linhas de fluxo, os resultados de ambos os programas são idênticos, o que dispensa uma análise com ambos os programas, limitando-se o estudo ao software inicial adotado, o RS2. As semelhanças entre os valores obtidos em ambos os programas podem ser vistas nas figuras 31 e 32.

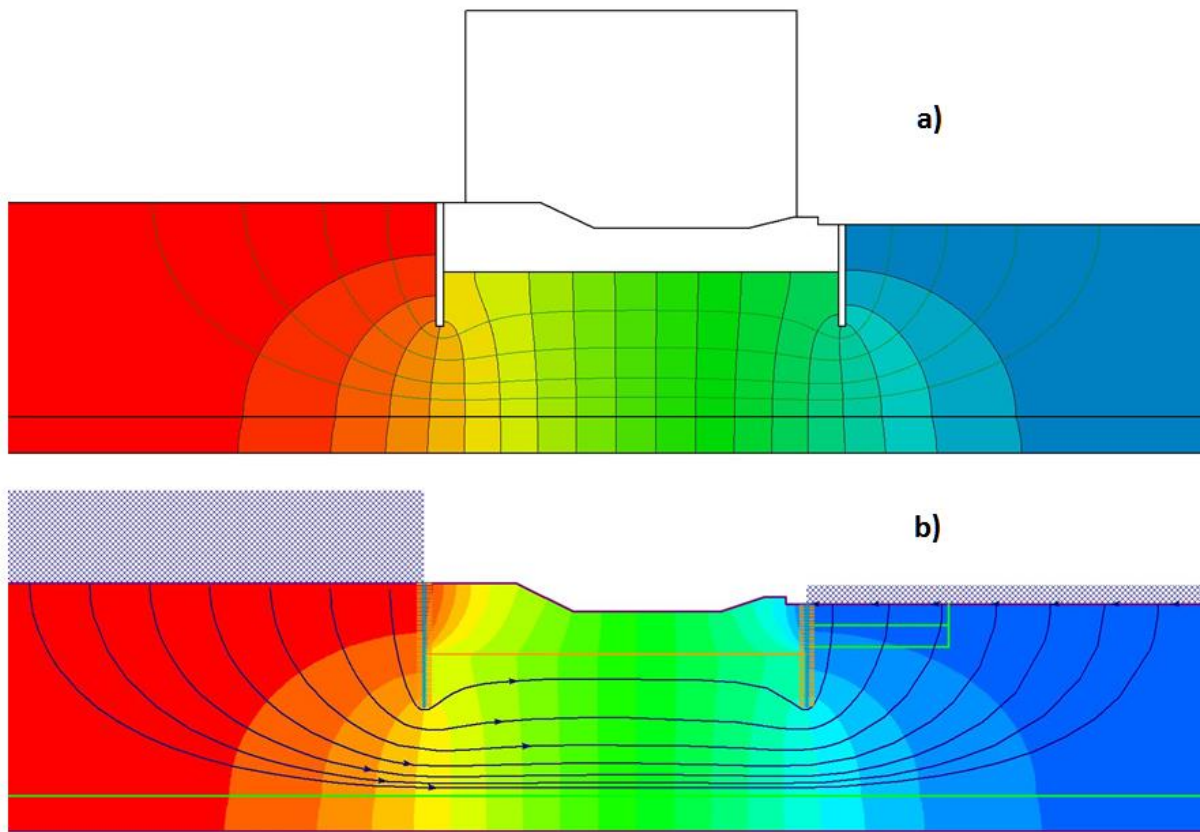


Fig. 31 – Comparação da rede de percolação com precisão de 20 quedas de potencial entre SEEP/W (a) e RS2 (b) na etapa 5

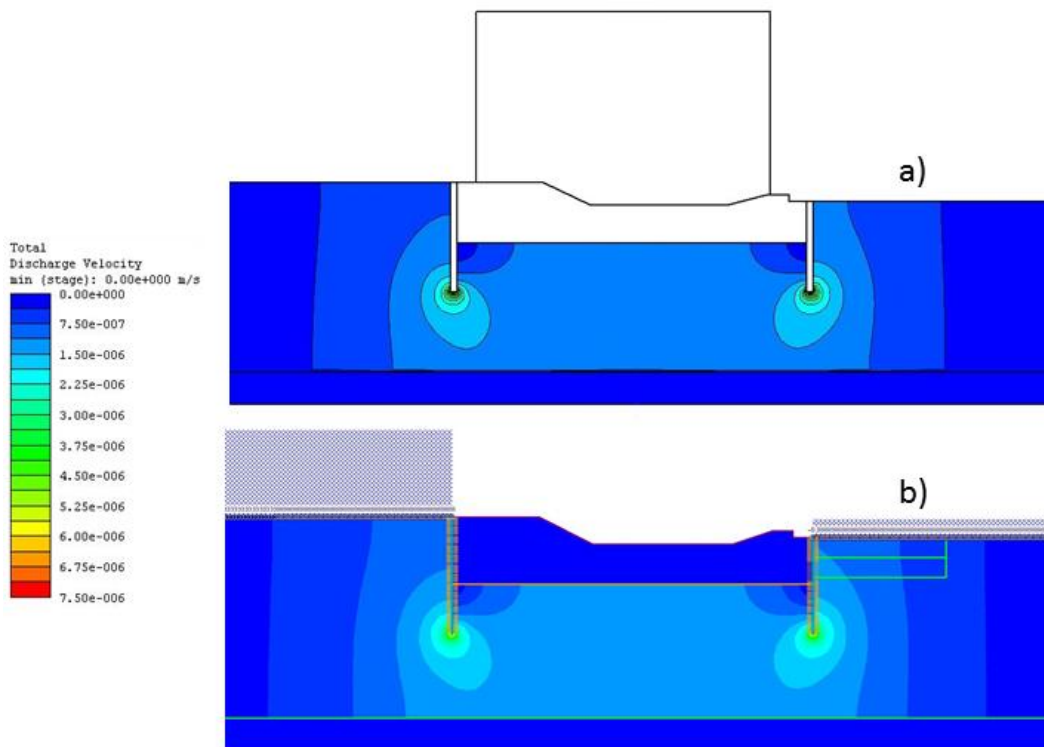


Fig. 32 - Comparação das velocidades de escoamento entre SEEP/W (a) e RS2 (b) na etapa 5

Quando de prossegue para a etapa 6 em que se simula a primeira fase de erosão, já utilizando apenas o RS2, verifica-se que em termos hidráulicos, os valores de velocidade e caudais percolados máximos sofrem um aumento nas suas grandezas, com a velocidade máxima a ter um valor de  $7,60 \times 10^{-6}$  (m/s), e o caudal  $2,65 \times 10^{-5}$  (m<sup>3</sup>/s). A razão para este aumento deve-se à diminuição da distância que a água percorre pelo terreno de fundação causada pela erosão, havendo assim menor queda de potencial entre os pontos de montante e jusante.

Comparando a Fig. 33 com a Fig. 31, além de ser possível identificar o encurtamento da distância, está também evidenciado o caminho preferencial de percolação através da zona onde é simulada a erosão.

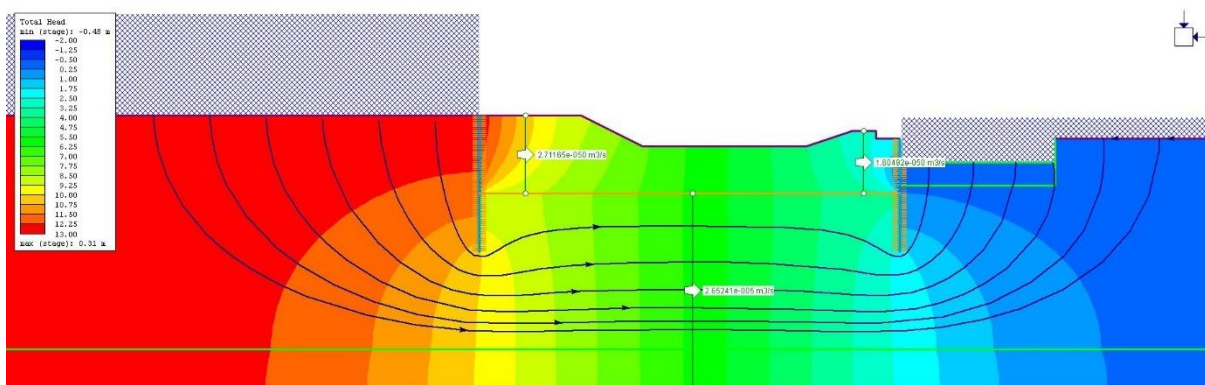


Fig. 33 – Rede de percolação da etapa 6

Passando para a etapa 7, onde a simulação da erosão atinge uma profundidade superior, e o comprimento do caminho de percolação é novamente encurtado, os valores da velocidade e caudal máximo voltam a aumentar, tendo sido obtido os valores de  $7,75 \times 10^{-6}$  m/s para a velocidade e  $2,71 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s para o caudal. Na Fig. 34 é possível observar esta evolução tanto em termos de distância do caminho de percolação, como da continuação de uma preferência de escoamento através da zona onde se simula a erosão.

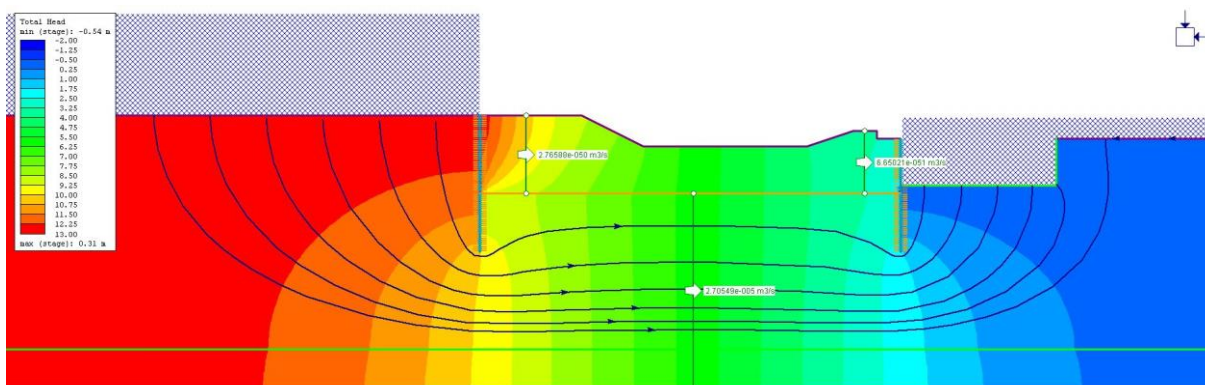


Fig. 34 – Rede de percolação da etapa 7

Por fim, na etapa 8, onde se instala a cortina de estacas e é simulada a reposição do terreno que sofreu erosão, e se interrompe o escoamento através da camada de areia, os valores da velocidade e caudal máximos sofrem uma acentuada diminuição, passando para valores da velocidade de  $5,23 \times 10^{-7}$  m/s e

$7,73 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  de caudal. Com a instalação da cortina de estacas, a rede de percolação sofre também uma grande alteração, passando o escoamento a ocorrer apenas pelo extrato de xisto na base do modelo como se pode ver na Fig. 35. O aumento do caminho de percolação é prolongado, e como foi reposto o solo a jusante já não se verifica uma preferência de escoamento nessa zona.

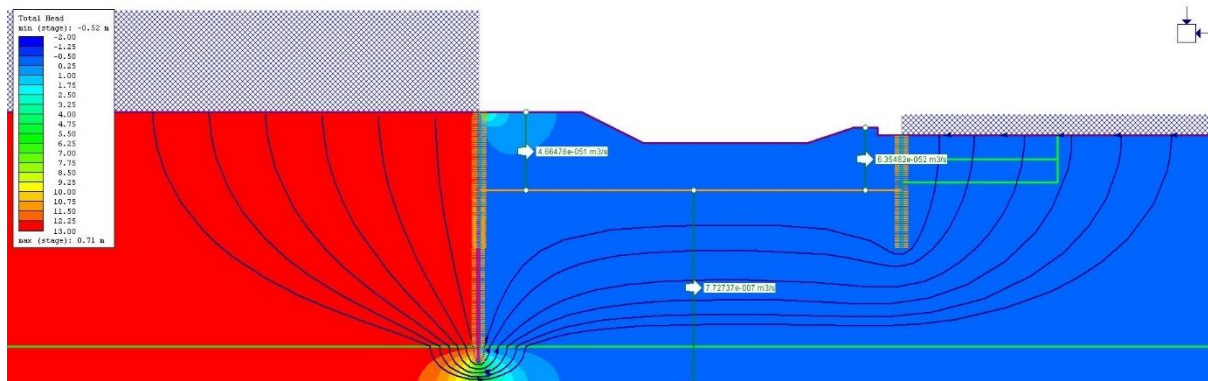


Fig. 35 – Rede de percolação da etapa 8

De maneira a ser mais perceptível a evolução das velocidades e caudais ao longo das etapas consideradas, apresenta-se na tabela 5 os resultados máximos obtidos.

Tabela 5 – Resumo da análise hidráulica

Etapa	Velocidade (m/s)	Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$\Delta Q$ (%)
5 SEEP/W	$6,73 \text{ e}^{-6}$	$2,50 \text{ e}^{-5}$	-
5 RS2	$7,48 \text{ e}^{-6}$	$2,61 \text{ e}^{-5}$	0
6 RS2	$7,60 \text{ e}^{-6}$	$2,65 \text{ e}^{-5}$	+1,5
7 RS2	$7,75 \text{ e}^{-6}$	$2,71 \text{ e}^{-5}$	+3,83
8 RS2	$5,23 \text{ e}^{-7}$	$7,73 \text{ e}^{-7}$	-

Como consequência da instalação dos níveis de água correspondentes ao fim do enchimento e início da fase de exploração, e da velocidade e caudal percolado, são criadas subpressões devido à carga hidráulica. Estas subpressões na bacia de dissipação fazem com que existam deslocamentos verticais ascendentes desta.

Face aos valores de velocidades e caudais já apresentados, será expectável que os valores destes deslocamentos sejam crescentes no sentido ascendente na etapa 5, com uma intensificação devido ao aumento da grandeza da velocidade e caudal nas etapas 6 e 7. Na etapa 8, como se verifica um corte acentuado da percolação, e dos respetivos valores de velocidade e caudal, é esperado que ocorra o inverso, e que em vez de um empolamento se verifique um assentamento da bacia.

Assim dados os resultados anteriores, apresenta-se um gráfico correspondente a estes deslocamentos na Fig. 36.

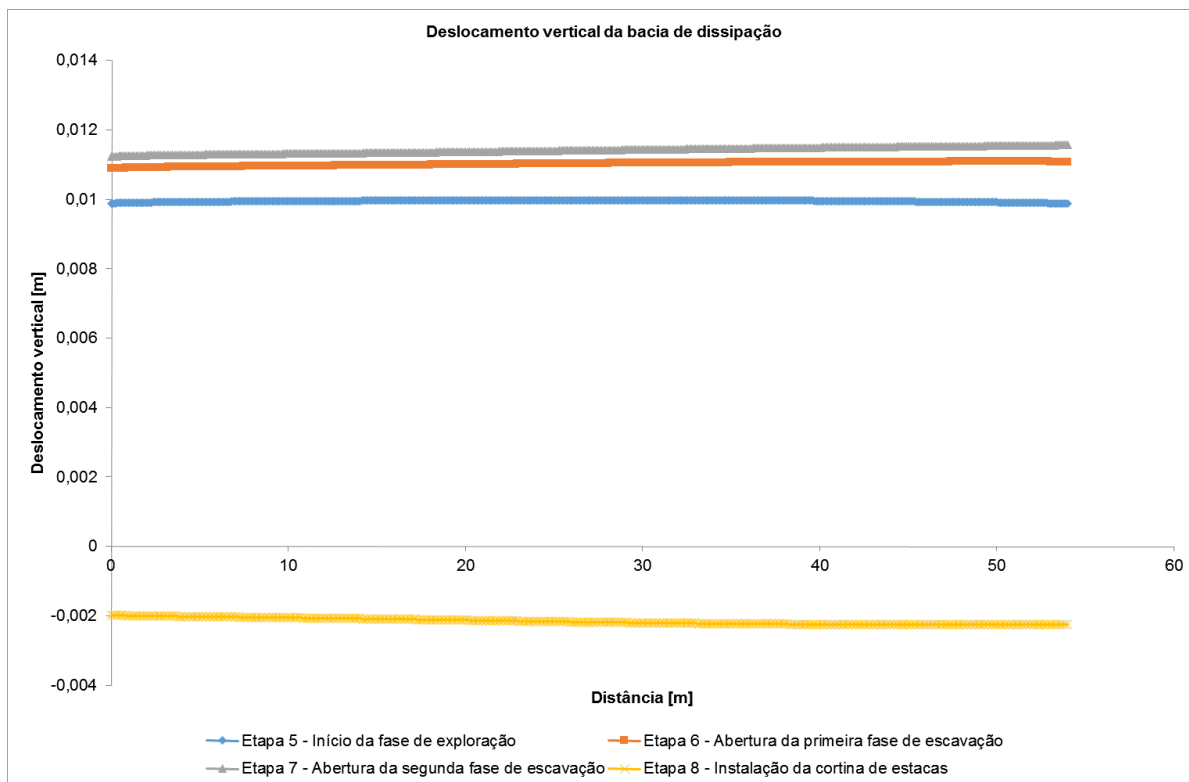


Fig. 36 – Gráfico dos deslocamentos verticais da bacia de dissipação

### 5.5.2. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO

Como consequência do escoamento que ocorre pelo terreno de fundação, altera-se o estado de tensão do terreno e geram-se forças de percolação que provocam uma variação nos esforços instalados nas cortinas e na bacia de dissipação ao longo das etapas consideradas. Como consequência desses esforços surgem deslocamentos que correspondem à deformação destas estruturas.

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados obtidos referentes aos esforços de flexão e deslocamentos das cortinas corta-água.

Como até aos 10 metros de profundidade as cortinas corta-águas estão solidárias com a bacia, esta é responsável pela absorção dos esforços e deslocamentos verificados até essa profundidade. Por isso, os valores determinantes nesta análise serão os instalados nessa cota, em que a cortina começa a funcionar sem o auxílio da bacia de dissipação. Como simplificação, a partir desta profundidade pode-se considerar que a cortina funciona como uma consola, sujeita a forças perpendiculares e encastrada na junção com a bacia.

Mais uma vez devido a limitações do programa de modelação que não considera esta solidarização entre as estruturas como perfeita, em algumas situações, são representados esforços acima desta profundidade que poderão ser ignorados, por falta de relação com a realidade.

Deve ser mencionado que nas etapas 5, 6 e 7 os deslocamentos verificados são acumulados à medida que se vai avançando na modelação, traduzindo-se os valores do mesmo como um resultado cumulativo. Apenas a etapa 8 é analisada como um caso separado, com uma eliminação dos deslocamentos anteriores para se proceder a uma análise isolada dessa etapa mais detalhada.

### 5.5.2.1. Etapa 5 - Início da fase de exploração

Esta etapa corresponde ao início da exploração da barragem, ou seja, no fim do enchimento, que corresponde à maior diferença de carga hidráulica.

Assim nesta etapa em que a estrutura começa a sofrer ação da água, será expectável que apareçam esforços e deslocamentos na estrutura.

Devido aos níveis de água instalados nesta etapa, são aplicadas na base da bacia subpressões que a elevam, como já foi mostrado, e puxam atrás de si o terreno, como um êmbolo.

Associado à mesma carga hidráulica, e ocorrendo o escoamento de montante para jusante, as forças de percolação e tensão correspondentes, terão o mesmo sentido que este. Assim, os esforços nas cortinas, serão uma reação a estas forças, mais visível na cortina de montante.

A modelação permitiu obter resultados para ambas as cortinas corta-água referentes aos valores de momentos flectores, esforços transversos e deslocamentos, que se passa a mostrar, começando pela cortina de montante (Fig. 37).

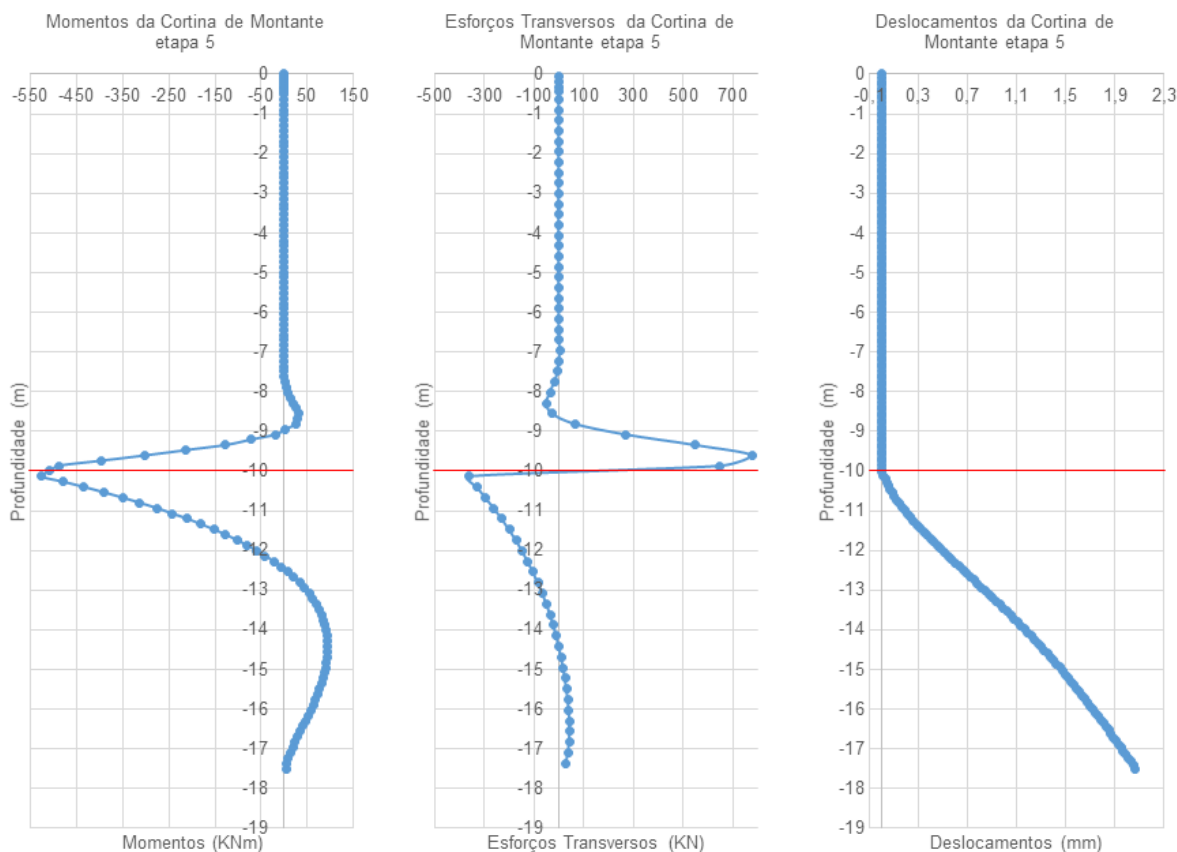


Fig. 37 – Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante na etapa 5

A linha vermelha representada nos diagramas está inserida como referência da base da bacia nos 10 metros de profundidade.

Como se pode ver nos diagramas de esforços e deslocamentos, desde o topo da bacia até à profundidade de 10 metros, os esforços e consequentemente os deslocamentos, são praticamente nulos. Nessa

profundidade, porém, as cortinas estão sujeitas aos esforços máximos que são consequência da inexistência de apoios até à sua profundidade máxima nos 17,5 metros, e da ação das tensões e força de percolação.

Os valores a retirar dos diagramas correspondentes são então um momento fletor máximo negativo de -527 kNm, um esforço transversal correspondente de -363 kN, ambos a 10 metros de profundidade, e um deslocamento máximo da cortina de montante de 2,06 mm no pé da cortina dirigido para jusante.

Esta primeira análise por si só, já justifica a necessidade de um estudo de comportamento em estruturas de retenção de água sobre fundos móveis.

Na cortina corta-água de jusante chegou-se aos seguintes diagramas da Fig. 38.

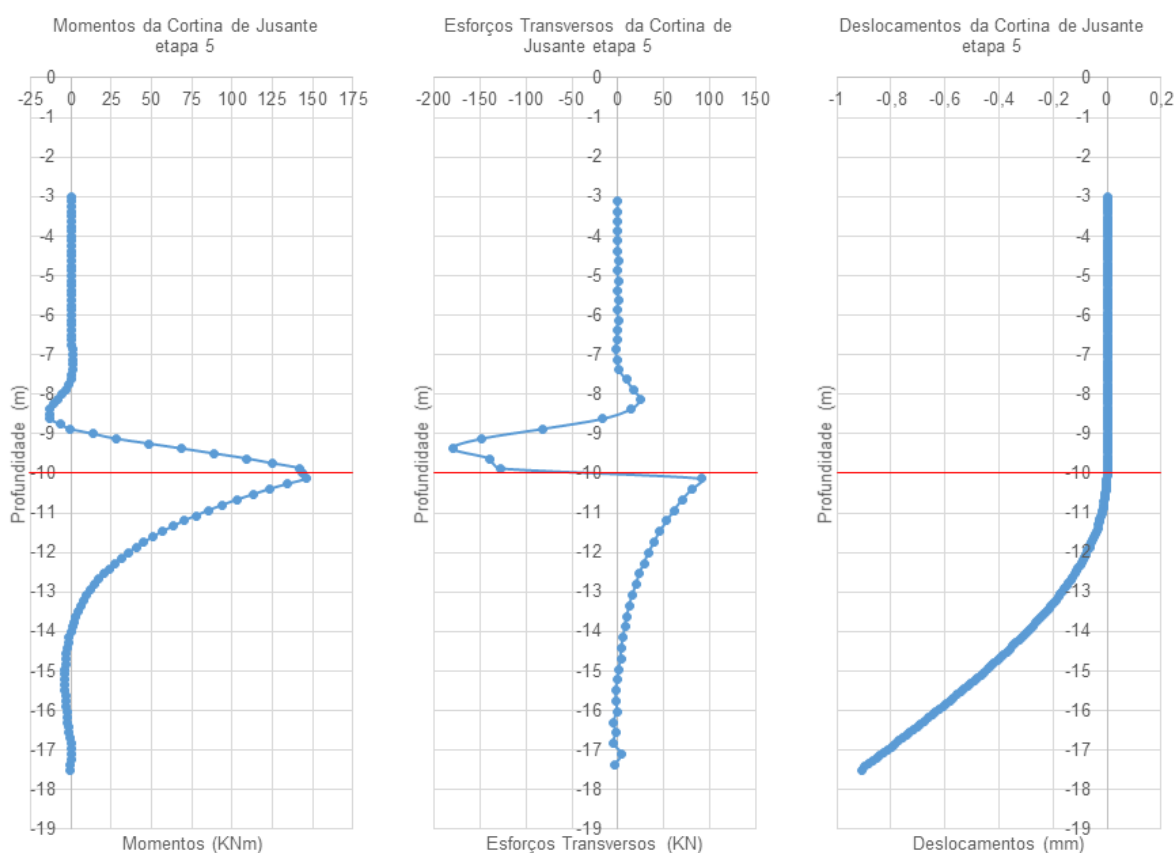


Fig. 38 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de jusante na etapa 5

Através destes diagramas é possível ver que relativamente à cortina de montante, a cortina corta-água de jusante apresenta uma solitação praticamente simétrica, no entanto, em menor grandeza, com um valor de momento máximo positivo de 146 kNm, 91 kN de esforço transversal, e um deslocamento máximo horizontal no pé da cortina de -0,9 mm com sentido de jusante para montante.

A razão para estes valores e da sua simetria em relação à cortina de montante advém da elevação da bacia devido à subpressão. No entanto, devido ao sentido de escoamento e forças de percolação, que contrariam a elevação, a grandeza destes valores (em absoluto) relativamente à cortina de montante é menor.

Em termos de deslocamentos podemos ainda ficar com uma ideia mais abrangente se olharmos para a imagem fornecida pelo programa RS2 (Fig. 39) que contém para esta etapa os deslocamentos totais do terreno da fundação e suas estruturas, e que evidencia muito bem a elevação que a bacia sofre.

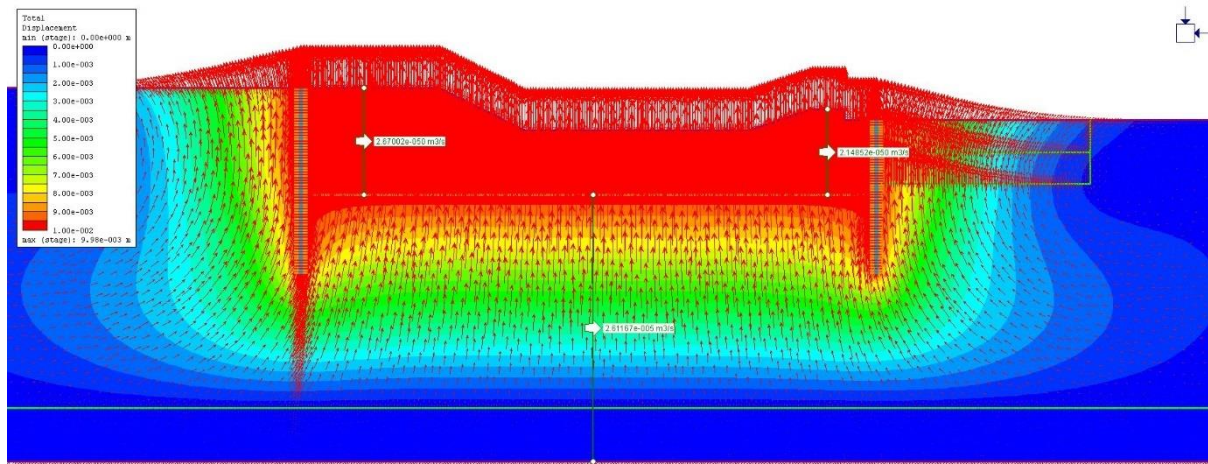


Fig. 39 - Deslocamentos totais etapa 5

#### 5.5.2.2. Etapa 6 - Abertura da primeira fase de escavação a jusante

Quando a erosão do terreno a jusante começa a ocorrer o caminho que a água tem de percorrer no solo de fundação é encurtado, e por isso existe uma menor perda de carga hidráulica que se traduz numa maior velocidade de escoamento, num maior caudal percolado e conseqüentemente em maiores forças de percolação.

Esta alteração das condições instaladas no terreno de fundação, traduz-se numa alteração dos esforços e deslocamentos nas estruturas analisadas.

Analisando a cortina corta-água de montante, em termos de esforços estes sofrem um pequeno acréscimo, assim como o deslocamento consequência do descrito acima. Nos diagramas correspondentes a esta fase e a esta cortina é evidente a semelhança entre eles, tanto em forma como em grandeza de valores (Fig. 40).

Obteve-se então um momento máximo negativo de -541 kNm, com um esforço transversal associado de -370 kN, e um deslocamento máximo no pé da cortina de 2,25 mm evidenciando o pequeno acréscimo descrito.

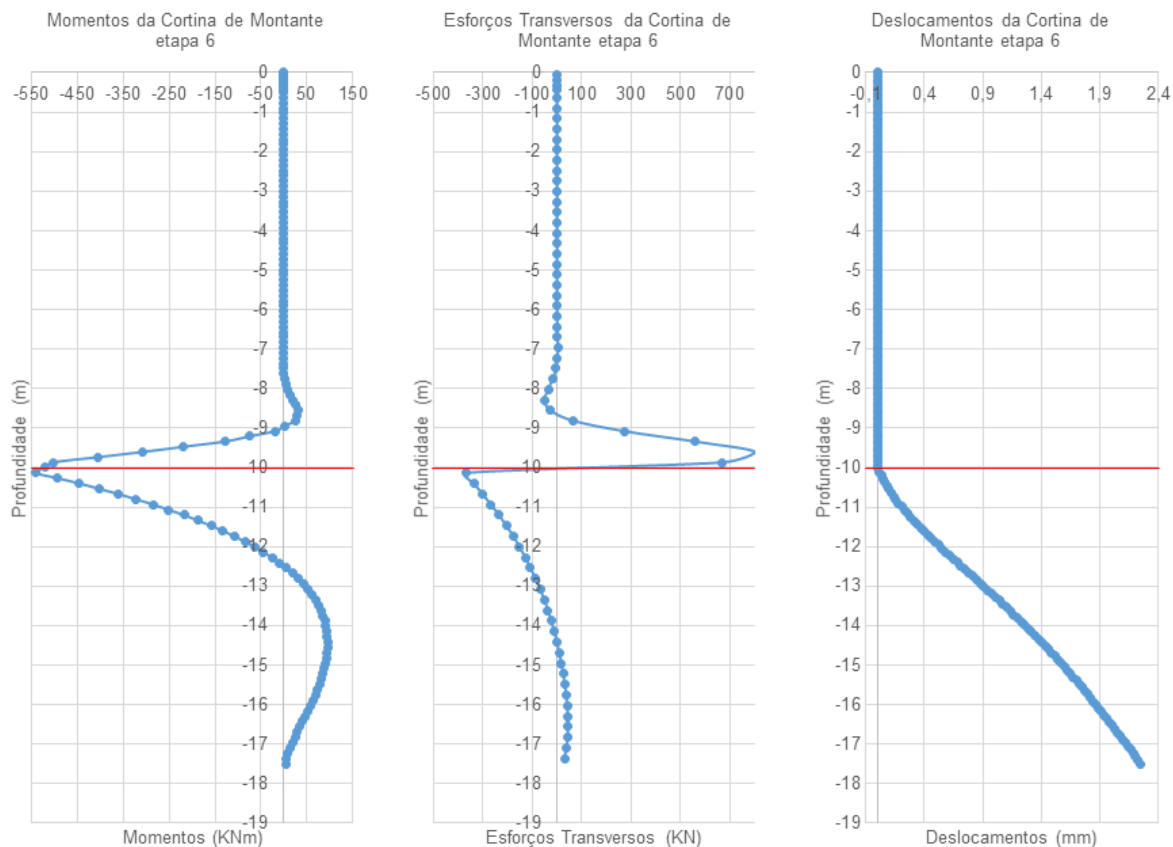


Fig. 40 – Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante na etapa 6

Observando agora a cortina corta-água de jusante, e comparando com o ocorrido na etapa 5, os esforços e deslocamento sofrem uma grande alteração devido à consideração da erosão.

Quando se dá início a esta simulação, ocorre um alívio de tensões a jusante da barragem decorrido da ausência de solo, que desencadeia um desequilíbrio na cortina, e começa uma inversão dos esforços face à etapa anterior. Assim os momentos apesar de manterem a forma no diagrama, descem de grandeza para um momento máximo positivo de 51 kNm, e os esforços transversos atingem os 78 kN (Fig. 41).

O reflexo destes efeitos ao nível dos deslocamentos, no entanto assume uma maior importância, pois inverte o seu sentido e atinge um valor máximo no pé da cortina de 0,6mm. Além desta inversão no sentido, é possível verificar através dos diagramas que este deslocamento tem um crescimento mais acentuado na proximidade da base da bacia, onde o desequilíbrio de tensões é maior entre o lado de montante e jusante da cortina, e tende a estabilizar à medida que a profundidade aumenta, e onde este desequilíbrio não é tão acentuado, assumindo um perfil praticamente vertical no pé da cortina.

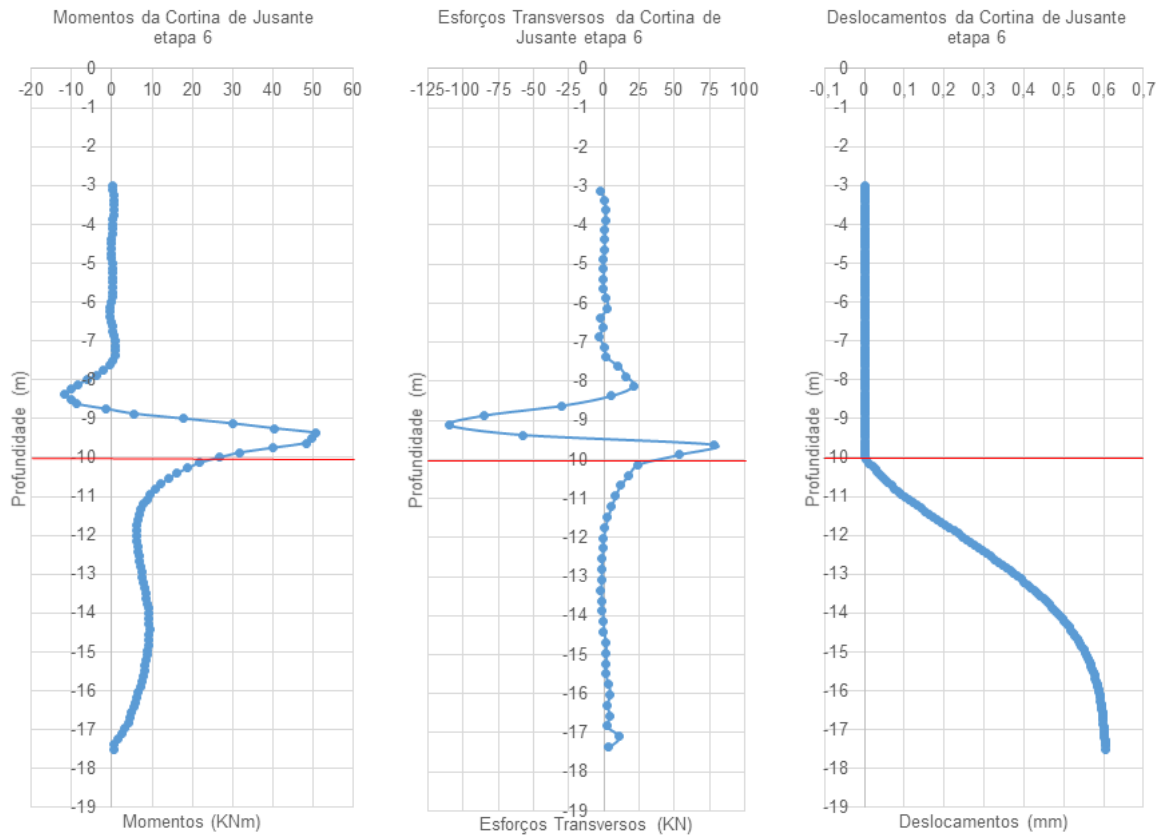


Fig. 41 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de jusante na etapa 6

Observando a Fig. 42 extraída do RS2 referente aos deslocamentos ocorridos nesta etapa, podemos ver, além do já mencionado, que devido ao alívio de tensões associado ao início da escavação mencionado, dá-se um empolamento na zona onde ocorre a erosão.

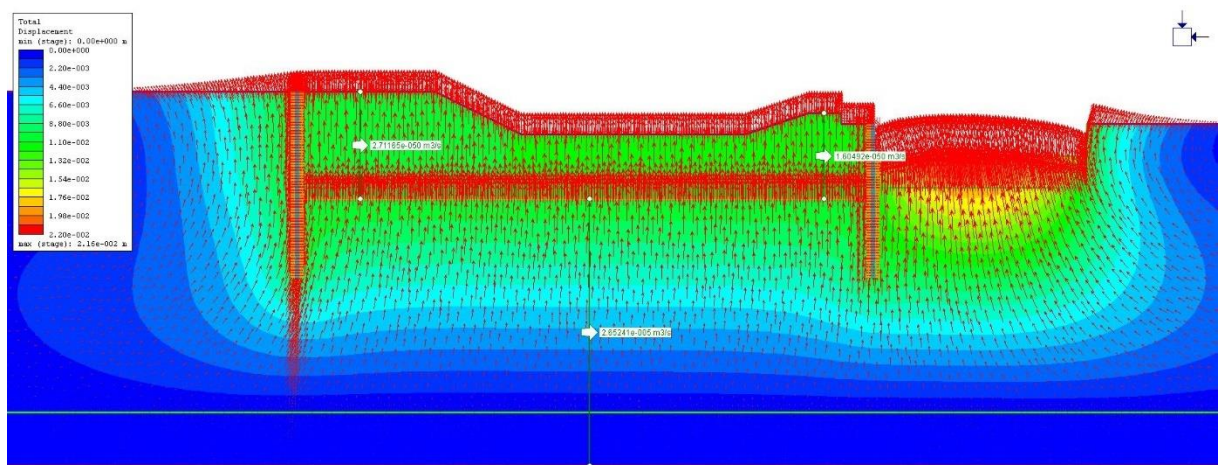


Fig. 42 - Deslocamentos totais etapa 6

### 5.5.2.3. Etapa 7 - Abertura da segunda fase de escavação a jusante

Nesta fase continua-se a simulação da erosão a jusante. Com este aumento e associada diminuição do volume de terras a jusante da bacia, o fenómeno ocorrido na etapa 6 sofre uma continuação da evolução dos efeitos devido às mesmas razões. A distância que a água percolada tem de percorrer é novamente encurtada, traduzindo-se num novo aumento das velocidades e caudais máximos, e consequentemente numa superior força de percolação.

Na cortina corta-água de montante este efeito traduz-se num novo pequeno acréscimo em termos de esforços e deslocamentos, continuando a haver grande semelhança com as etapas 5 e 6. Os diagramas correspondentes são evidência disso (Fig. 43).

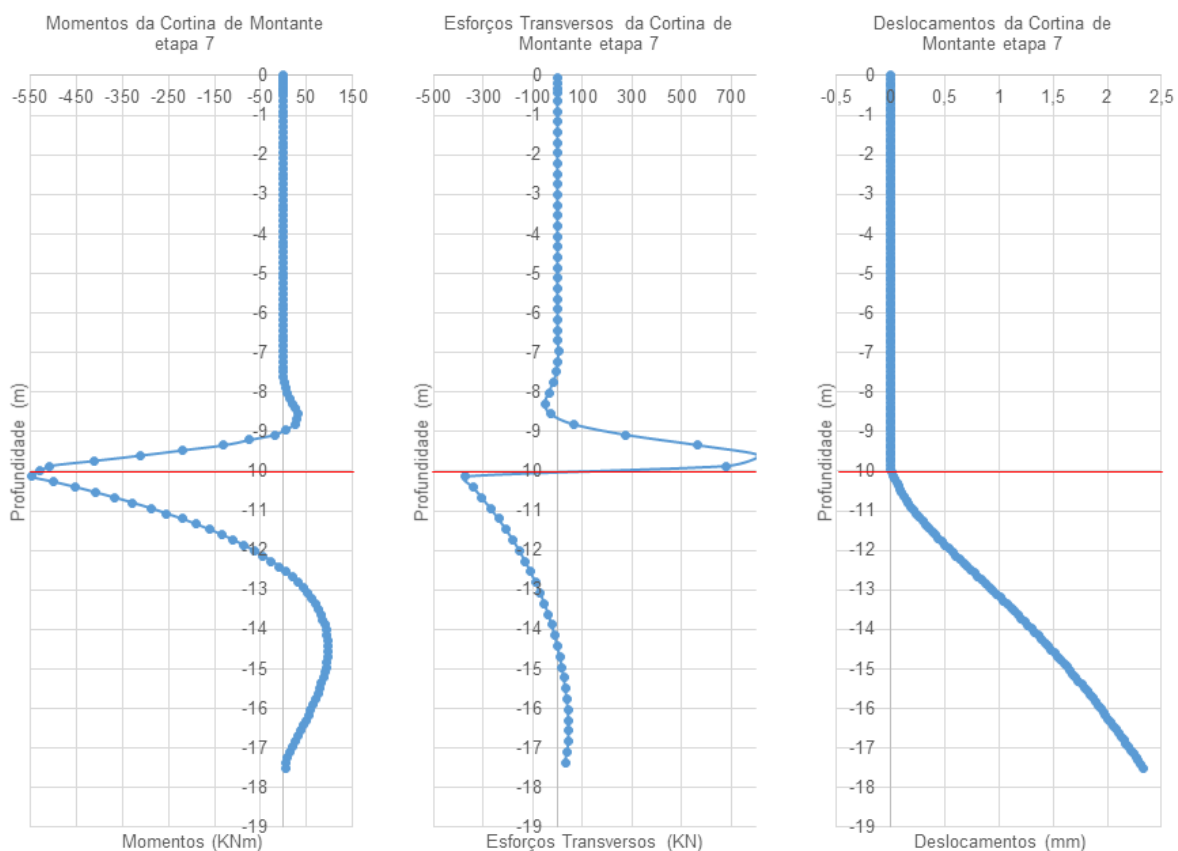


Fig. 43 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante na etapa 7

Em termos de valores, os momentos passam a atingir um valor de -548 kNm de máximo negativo, e os esforços transversos, seguindo a mesma tendência atingem -374 kN. O deslocamento máximo verificado no pé da cortina sofre um novo pequeno acréscimo também à semelhança da etapa 6 para um valor de 2,33 mm.

Analisando agora a cortina corta-água de jusante, com o acréscimo da simulação da erosão, o alívio de tensões do lado de jusante e o desequilíbrio entre o lado de montante e jusante são aumentados, verificando-se uma inversão em termos de esforços que se vem a verificar desde a etapa 5, passando agora a verificar-se um momento máximo de sentido negativo e grandeza -81 kNm e um esforço transverso associado de 220 kN (Fig. 44).

Relativamente ao deslocamento, como o desequilíbrio de forças se verifica até uma profundidade maior, a evolução destes ao longo da cortina já segue uma forma aproximadamente linear até ao seu pé, atingindo um máximo de 2,38 mm, que comparando com as etapas anteriores se traduz numa grande diferença em termos de valores, e num deslocamento total em relação à primeira etapa considerada de 3,29 mm na direção de montante para jusante.

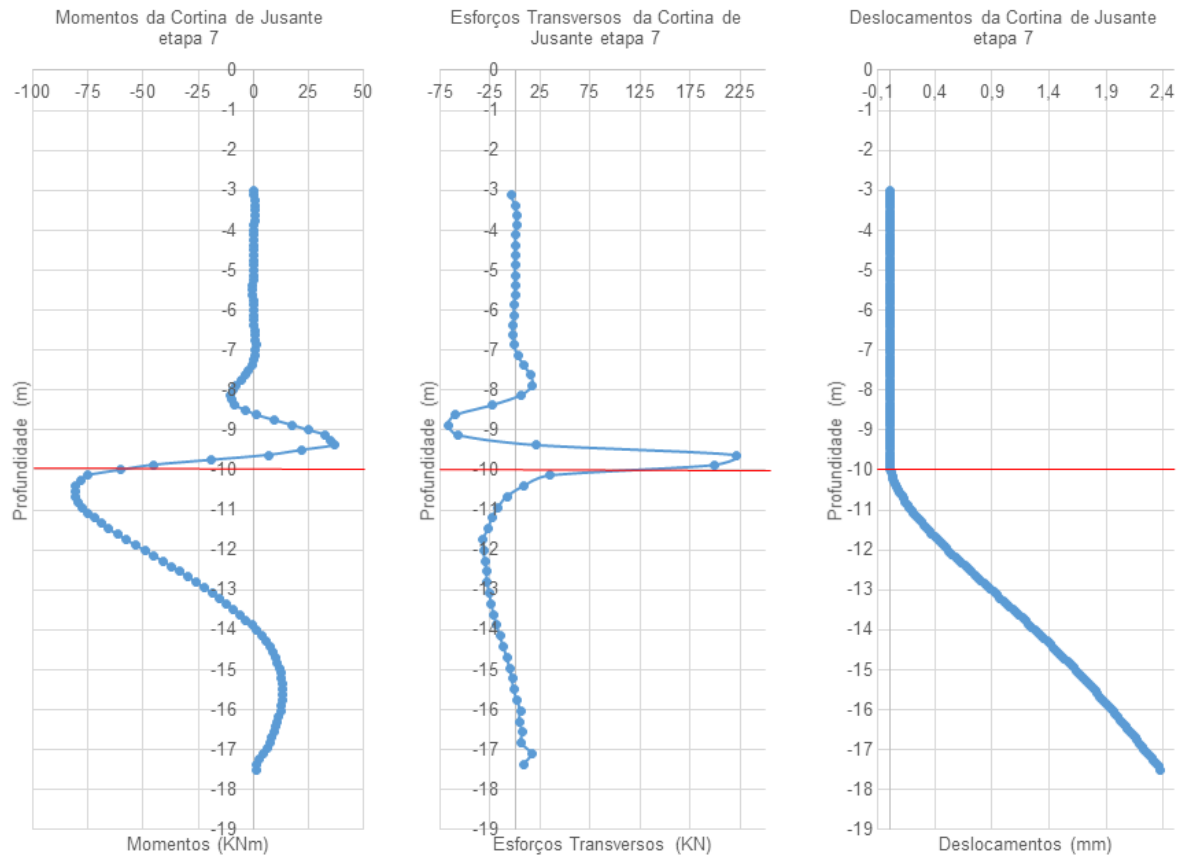


Fig. 44 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de jusante na etapa 7

Ainda à semelhança da etapa 6, os deslocamentos totais continuam a seguir a mesma evolução em relação ao empolamento devido ao alívio de tensões. Nesta etapa, o deslocamento total verificado na zona onde é simulada a erosão é de 37,5 mm de ascensão em relação à cota considerada. Esta evolução pode ser vista na Fig. 45, retirada dos resultados da modelação.

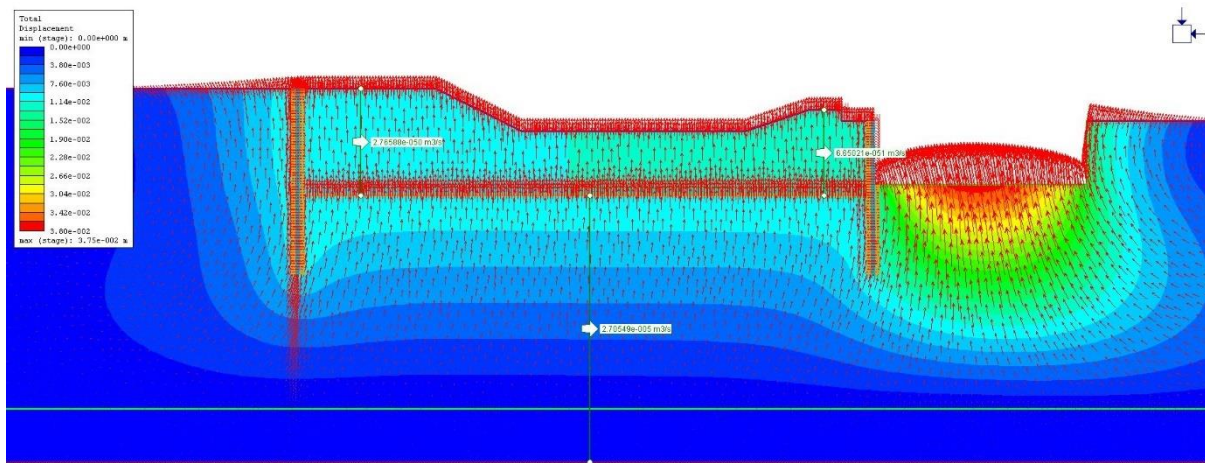


Fig. 45 - Deslocamentos etapa 7

#### 5.5.2.4. Etapa 8 – Instalação da cortina de estacas secantes

Nesta etapa é então instalada uma cortina de estacas secantes a montante da barragem, distanciada 0,20 metros da cortina corta-água de montante. Esta cortina é fixa à cortina de montante através de um maciço de encabeçamento em jet-grout a 0,5 metros de profundidade, e é encastrada no maciço rochoso até uma profundidade de 32 metros. Para uma primeira análise foi admitido um módulo de deformabilidade de 10 GPa.

Um dado importante acerca desta etapa que deve ser mencionado é a eliminação no modelo de todos os deslocamentos verificados até imediatamente antes da instalação da cortina de estacas secantes, para poder ser analisada apenas a influência da instalação desta estrutura.

O modelo utilizado para a análise assume a forma apresentada na Fig. 46 onde podemos ver que se repõe o solo que anteriormente foi erodido, e se instala a cortina de estacas vertical imediatamente a montante da bacia, a vermelho, atingindo a formação de xisto, a cinzento.

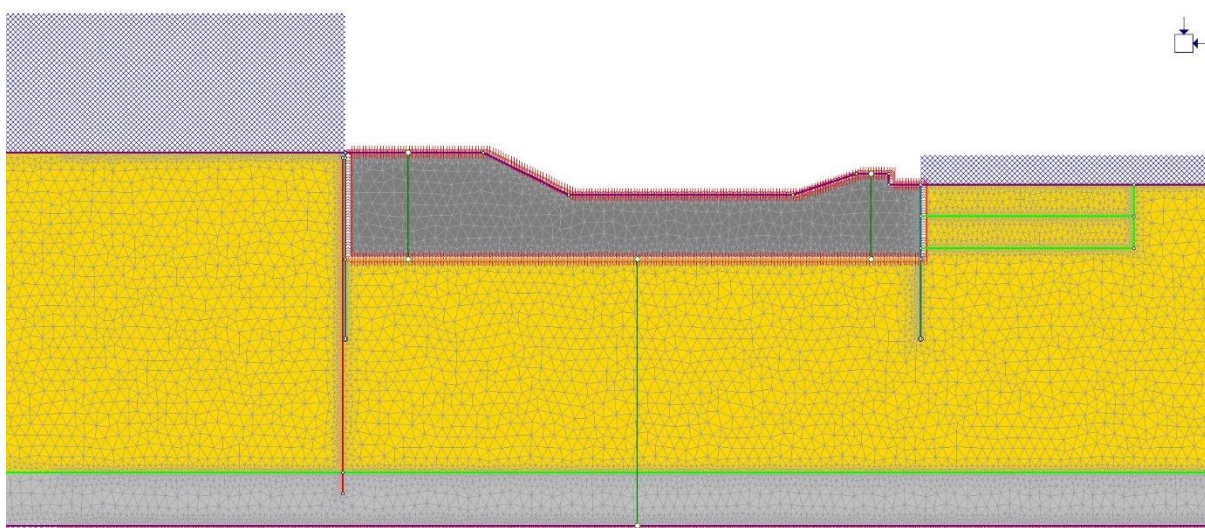


Fig. 46 – Modelação da etapa 8 – instalação da cortina de estacas secantes

Como com a instalação desta cortina, o fluxo de água percolado pelo solo de fundação é praticamente interrompido, os esforços ficam concentrados nesta zona da intervenção. Devido à proximidade entre as cortinas de estacas e de montante, estes esforços são absorvidos por ambas as estruturas.

Analisando os diagramas correspondentes à cortina de montante nesta etapa (Fig. 47), é bem visível o crescimento de esforços devido à implementação da cortina de estacas secantes, tanto ao nível dos momentos como de esforços transversos, assim como um elevado crescimento do deslocamento horizontal.

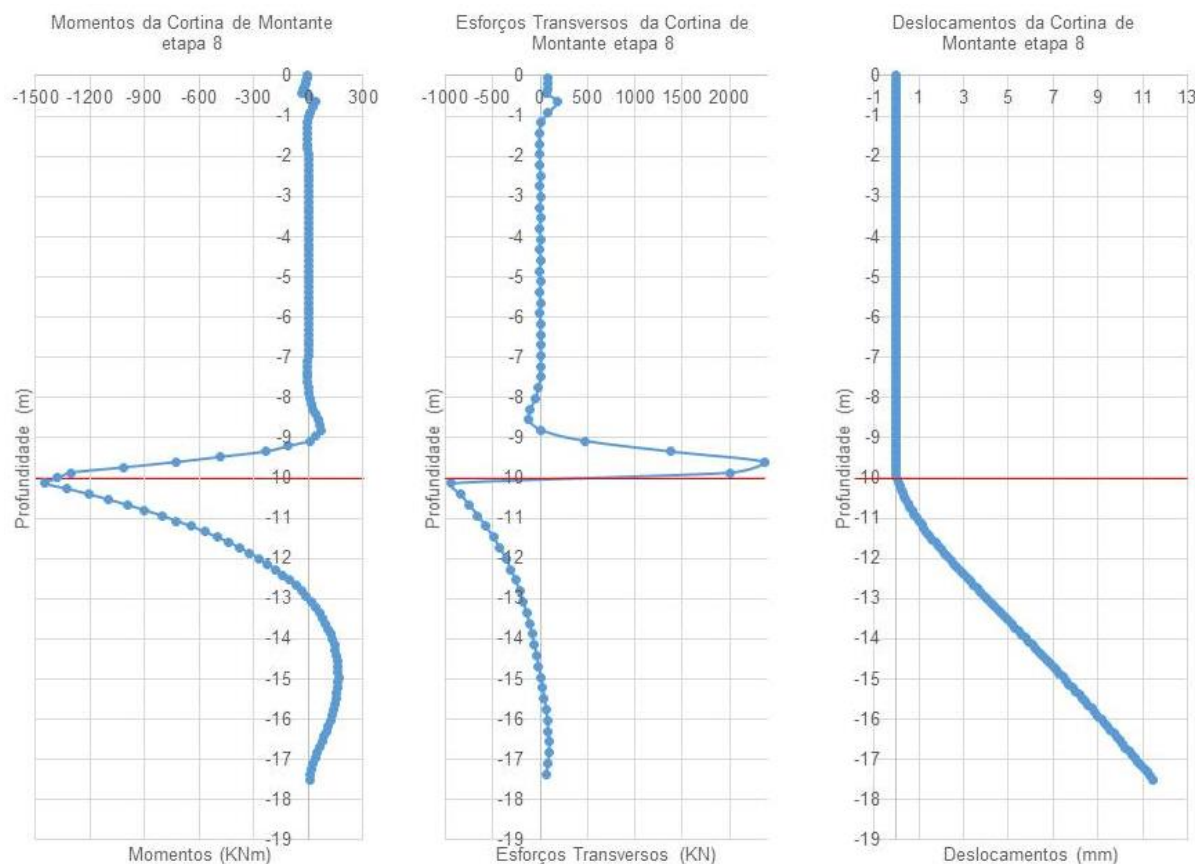


Fig. 47 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante na etapa 8

Analisando então os diagramas extraídos, e fazendo uma comparação com as etapas anteriores, é óbvio o acréscimo dos valores máximos em todos os diagramas. Nesta etapa o momento fletor máximo negativo assume uma grandeza de -1446 kNm que, contrastando com a etapa 7, representa um acréscimo de 900 kNm em valor absoluto. Em relação aos esforços transversos, e fazendo novamente uma comparação com a etapa anterior, neste caso, obteve-se um valor de -936 kN, em contraste com os -374 kN, que representa um crescimento devido à instalação da cortina de estacas de aproximadamente 562 kN. Olhando para os deslocamentos, é talvez aqui que este aumento na solicitação da cortina de montante fica melhor representado, pois nesta etapa a cortina regista um deslocamento máximo no seu pé de 11,5 mm, mais 9,2 mm que na etapa 7 onde o deslocamento máximo foi apenas de 2,3 mm.

Passando para a cortina de jusante, devido a este corte quase total do escoamento, e à reposição do solo erodido, verifica-se um reequilíbrio a nível de tensões e pressões hidráulicas já que existe uma redução das subpressões na base da bacia. Estes efeitos provocam uma alteração nos esforços e deslocamentos.

Os diagramas correspondentes evidenciam essa alteração na Fig. 48.

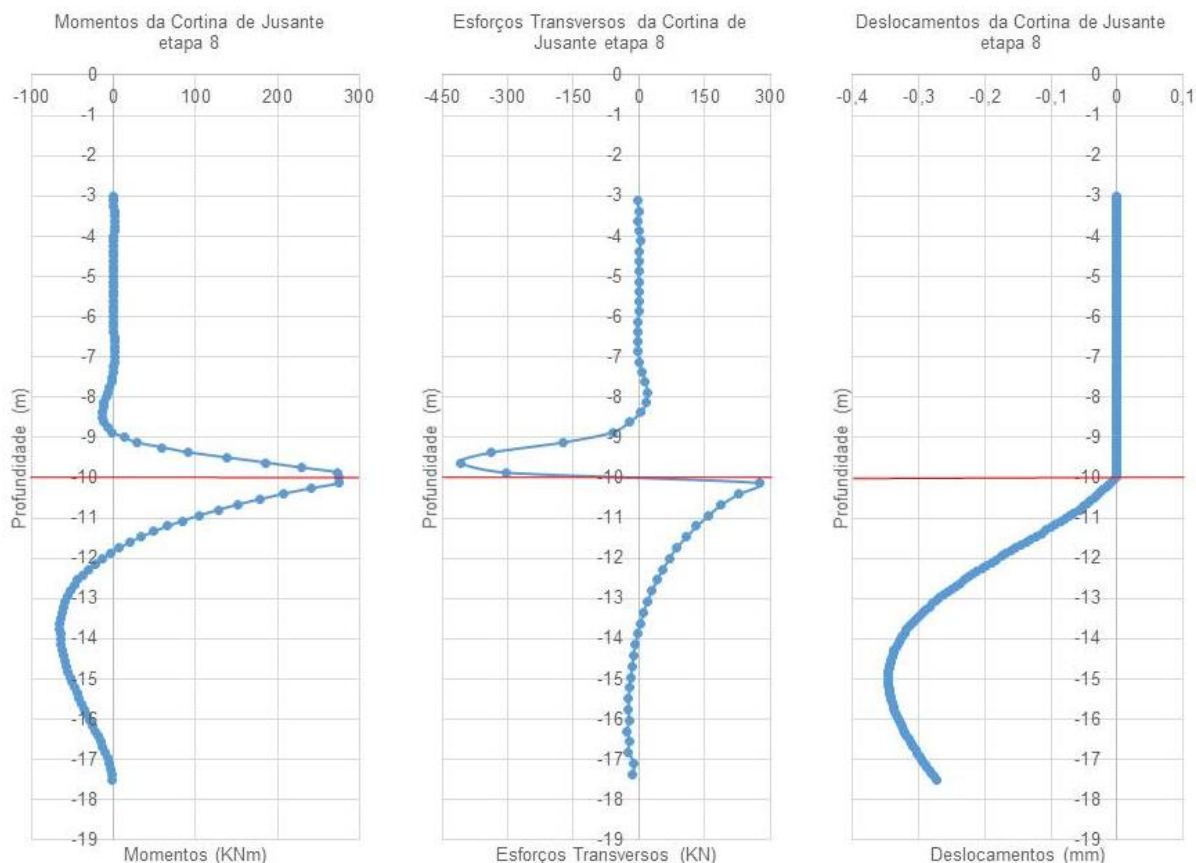


Fig. 48 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de jusante na etapa 8

A nível de momentos flectores verifica-se uma inversão dos esforços em relação à etapa 7, registando-se um momento máximo positivo de 269 kNm, e que se deve essencialmente à reposição de solo que se dá nesta etapa. Em termos de esforços transversos aliados a este momento, o valor obtido foi de 273 kN.

Relativamente aos deslocamentos, mais uma vez é talvez na sua análise que se consegue ter uma melhor percepção do que acontece nesta etapa. O deslocamento máximo é cerca de 0,3 mm, mas contrariamente à etapa 7, este dá-se no sentido de jusante para montante, e o seu máximo não ocorre no pé da cortina, mas por volta dos 15 metros de profundidade. A forma que este deslocamento toma, à semelhança do que se viu na etapa 6, é consequente do reequilíbrio de tensões, que volta a levar a cortina para montante devido ao acréscimo de peso a jusante.

Nesta etapa além das cortinas corta-água de montante e jusante é importante fazer uma análise da cortina de estacas instalada. Esta estrutura passa a ser a principal responsável pela resistência à passagem de água, mas os esforços são repartidos entre esta e a cortina de montante até aos -17,5 metros, sendo estes suportados na íntegra pela cortina de estacas para maiores profundidades.

Seguindo a mesma forma de análise estrutural seguida até aqui, são extraídos os valores e diagramas de esforços fletores e deslocamentos ao longo da cortina, desde o seu topo a -0,5 metros até ao seu encastramento entre os -30 e -32 metros.

Desta maneira, os esforços e deslocamentos assumem a forma apresentada na Fig. 49.

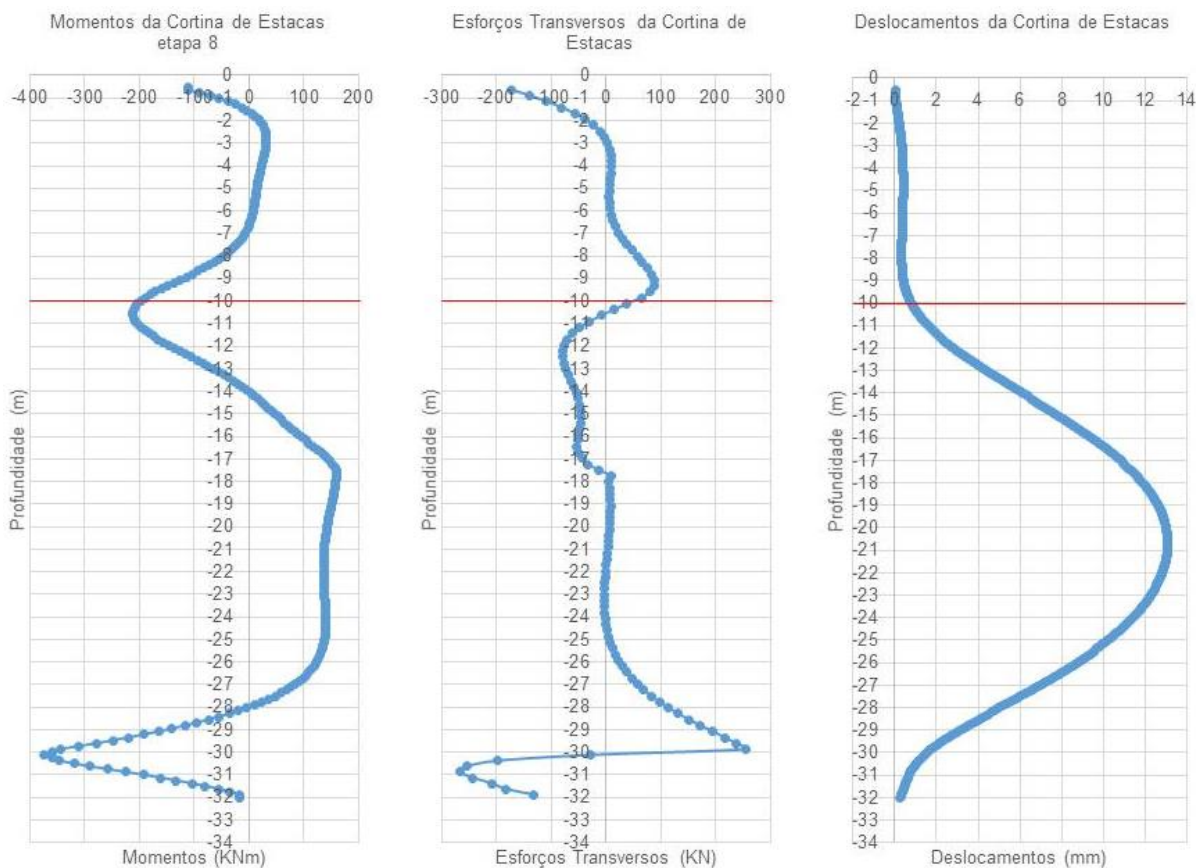


Fig. 49 – Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de estacas na etapa 8

Através destes diagramas é possível observar perfeitamente a repartição de esforços entre esta cortina e a corta-água de montante, que ocorre desde o topo até aos 17,5 metros de profundidade onde termina a cortina de montante. Esta partilha, é evidenciada pelo momento fletor máximo positivo registado a esta profundidade, com um valor de 160 kNm, e pela transição dos esforços transversos para um valor próximo de zero. Outra evidência relativa ao funcionamento conjunto entre cortinas pode ser observado no deslocamento da cortina de estacas na profundidade -17,5, que toma um valor coincidente com deslocamento verificado no pé da cortina de montante de 11,5 mm já descrito anteriormente. O deslocamento máximo da cortina de estacas ocorre, no entanto a uma profundidade onde esta estrutura já não tem o apoio da vizinha, a cerca de 20,6 metros da superfície, com uma grandeza de 13 mm. À medida que se continua a aumentar a profundidade, o deslocamento tende para zero, devido ao encastramento no estrato rochoso que o impede.

Os deslocamentos ocorridos da implementação desta solução apresentam-se na Fig. 50, onde está representado claramente o movimento da nova cortina de estacas, e a estabilização a jusante.

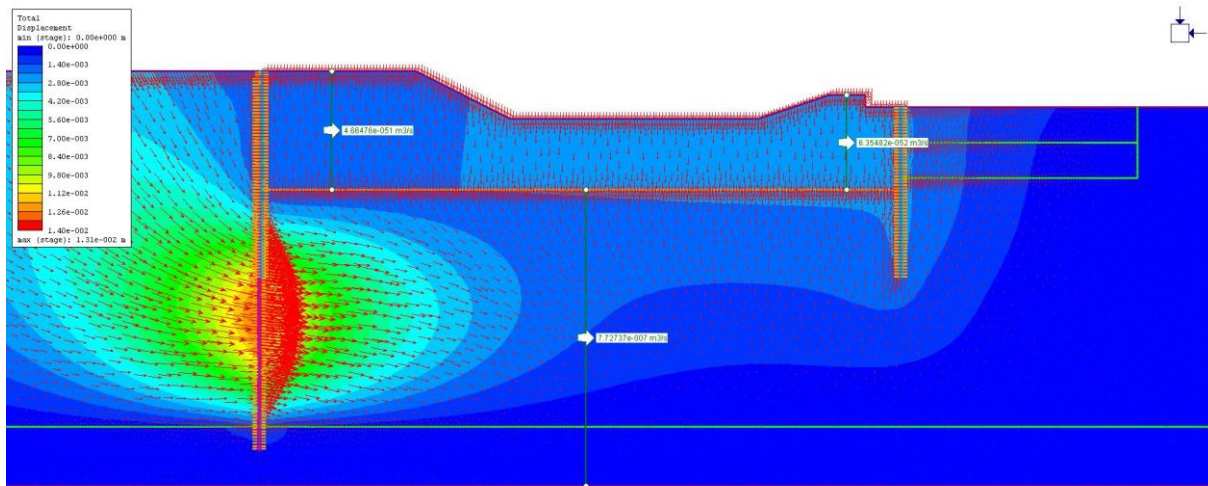


Fig. 50 - Deslocamentos da etapa 8

### 5.5.3. ANÁLISES DE SENSIBILIDADE RELATIVAS À INTERVENÇÃO

Inicialmente a intervenção como solução adotada, consiste na instalação de uma cortina de estacas com um módulo de deformabilidade de 10 GPa, apoiada na cortina de montante, através de um maciço de encabeçamento realizado a 0,5 metros de profundidade e encastrada no estrato rochoso a 32 metros de profundidade.

Decorrente da análise da implementação desta solução verifica-se que existe uma influência nas estruturas já existentes, logo, acha-se por bem aprofundar o estudo desta solução analisando a influência da variação de alguns parâmetros.

Para esse aprofundamento, as hipóteses consideradas são as seguintes:

- Variação do módulo de deformabilidade da cortina de estacas;
- Variação da profundidade do topo da cortina de estacas;
- Variação do afastamento da cortina de estacas em relação à cortina de montante.

#### 5.5.3.1. Influência da variação do módulo de deformabilidade da cortina de estacas

Através do aumento do módulo de deformabilidade da cortina de estacas, esta torna-se mais rígida e mais resistente às solicitações a que é sujeita, ocorrendo o inverso quando se diminui este módulo.

Torna-se então importante no âmbito do estudo da solução admitir possíveis alternativas à solução inicial admitida com um módulo de deformabilidade de 10 GPa, considerando um aumento, e uma diminuição deste. Usando a mesma modelação até agora, passarão a existir três hipóteses para a deformabilidade da cortina de estacas. A primeira considerada com 10 GPa, que já foi analisada, a segunda admitindo um módulo de deformabilidade com metade desse valor (5 GPa), e por fim uma terceira hipótese com o dobro do valor da primeira considerada, 20 GPa.

No desenvolvimento desta análise, como já se constatou, quando a cortina de estacas é instalada, esta funciona em conjunto com a cortina de montante até uma profundidade de 17,5 metros. Torna-se por isso indispensável uma nova análise de esforços e deslocamentos da cortina de montante. No entanto, como a alteração do módulo de deformabilidade da cortina de estacas não tem consequências a nível de percolação, e como a cortina de jusante se encontra bastante afastada do local de implementação desta

solução, a análise desta estrutura torna-se dispensável pois não existirá qualquer diferença a nível de esforços e deslocamentos.

Para esta análise é então considerada a cortina de montante e a cortina de estacas secantes com variação do módulo de deformabilidade da última.

Analisando primeiro a cortina de estacas, a variação do seu módulo de deformabilidade influencia os esforços instalados, notando-se uma tendência para maiores esforços com maior módulo de deformabilidade. Mais uma vez a análise passa pela interpretação dos diagramas obtidos (Fig. 51).

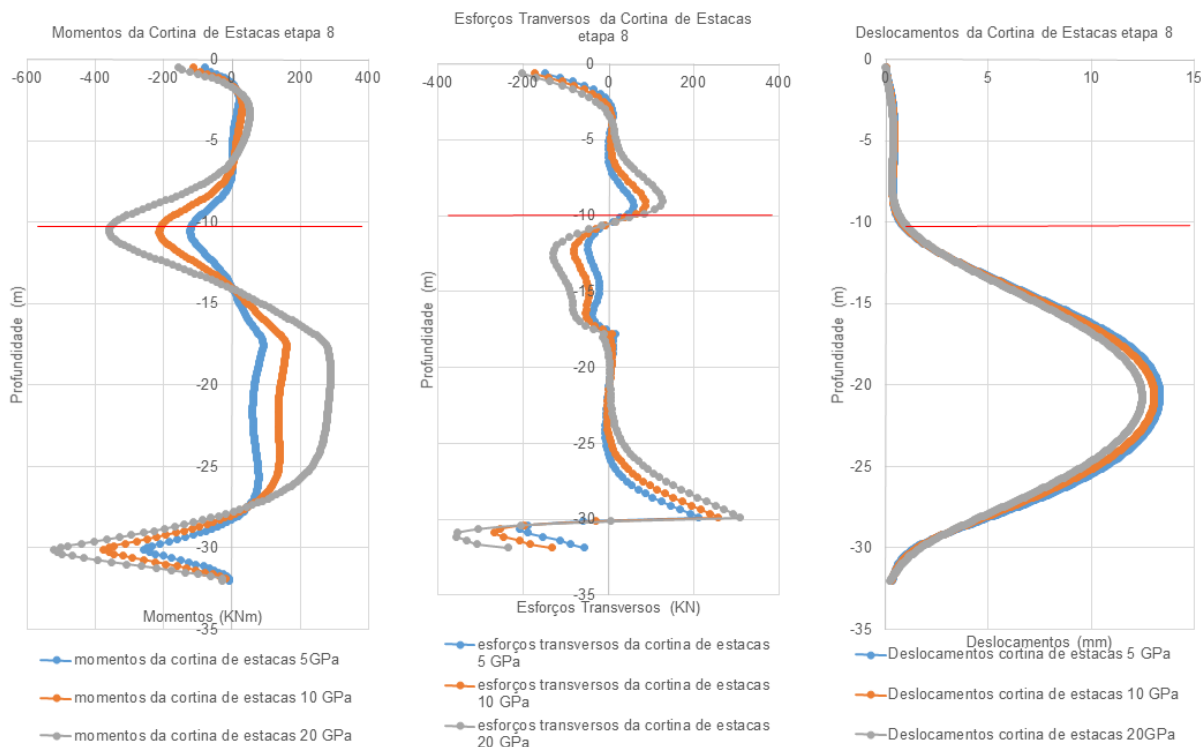


Fig. 51 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de estacas admitindo diferentes módulos de deformabilidade

Em termos de esforços observa-se uma variação significativa considerando módulos de deformabilidade diferentes, no entanto, nos deslocamentos esta alteração tem menor impacto. A forma dos diagramas mantém-se aproximadamente igual entre as três hipóteses, havendo uma proporcionalidade entre elas, com valores superiores quando é considerado um módulo de deformabilidade maior e vice-versa.

Assim como acontece na solução de 10GPa adotada inicialmente, considerando as três hipóteses, a cortina de estacas continua a repartir os esforços consequentes da solicitação do terreno com a cortina de montante, notando-se perfeitamente até onde estas funcionam em conjunto.

O momento fletor máximo negativo ocorre na profundidade do encastramento, de -256 kNm para a hipótese dos 5GPa, -374 kNm para os 10 GPa e -522 kNm considerando um módulo de deformabilidade de 20 GPa. Relativamente aos esforços transversos, os valores máximos ocorrem também no encastramento, com grandezas respetivas aos 5, 10 e 20 GPa de 212 kN, 256 kN e 307 kN.

Os deslocamentos da cortina de estacas não sofrem grandes alterações, e apresentam resultados inversamente proporcionais ao módulo de deformabilidade. As grandezas obtidas foram de 13,4 mm

considerando um valor de 5GPa, 13,1 mm para 10 GPa, e 12,5 mm para 20 GPa, o que representa uma amplitude máxima de variação de 1 mm entre as três hipóteses analisadas.

Com estes esforços e deslocamentos resultantes das três análises efetuadas, retira-se que a alteração do módulo de deformabilidade da cortina de estacas provoca uma alteração dos esforços, mas em termos de deslocamentos a diferença não é significativa.

Analisando agora o que ocorre na cortina corta-água de montante, através dos diagramas torna-se evidente que a nível de esforços e deslocamentos a diferença não é significativa (Fig. 52).

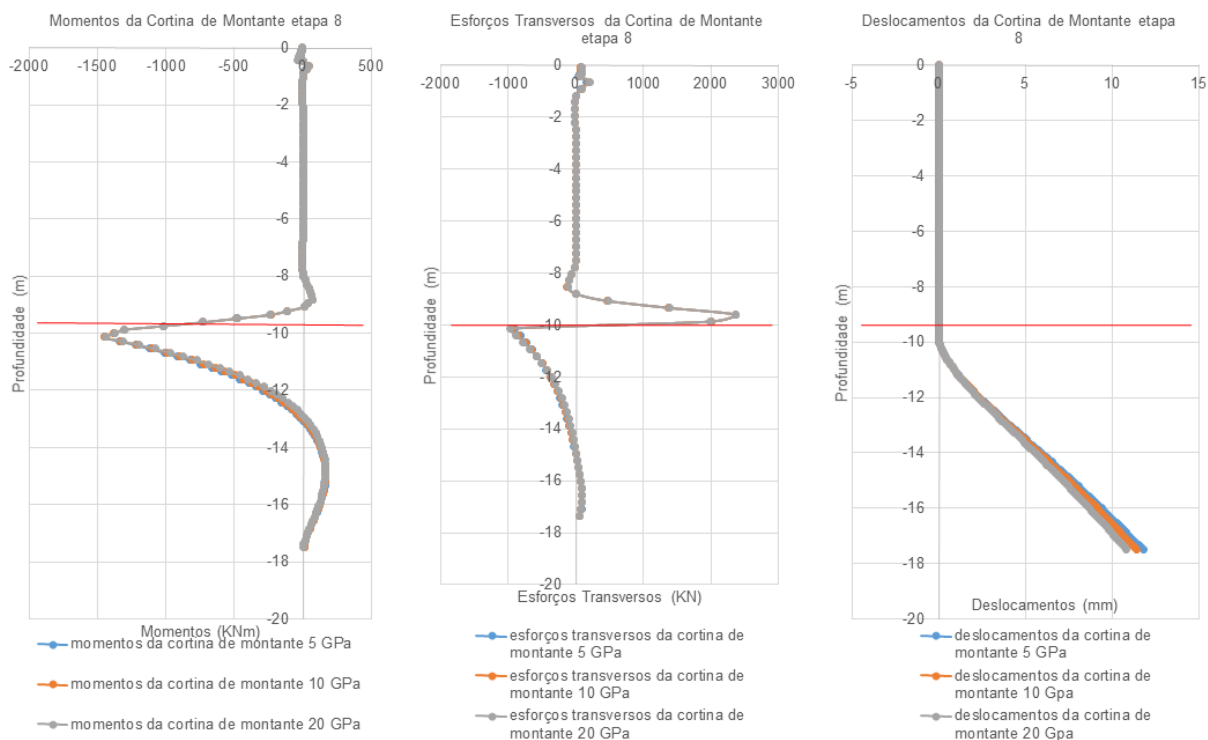


Fig. 52 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante admitindo diferentes módulos de deformabilidade na cortina de estacas

Um olhar atento a estes diagramas permite concluir que mesmo variando o módulo de deformabilidade, os esforços e deslocamentos da cortina de montante praticamente não são alterados, aparecendo as linhas quase sobrepostas. A nível de momentos fletores, a diferença é mínima, com valores de 1450 kNm para a cortina de 5GPa, 1446 kNm para 10 GPa e 1438 kNm na hipótese de 20GPa. Ao nível dos esforços transversos, a semelhança também se verifica, com valores de -906 kN, -935 kN e -975 kN nas hipóteses de 5, 10 e 20 GPa respetivamente. Por fim os deslocamentos da cortina de montante seguem a tendência, verificando-se valores de 11,8, 11,5 e 10,9 mm para as soluções de 5, 10 e 20 GPa.

O que estes resultados transmitem, é que uma variação do módulo de deformabilidade da cortina de estacas, não altera significativamente as condições anteriores da cortina de montante nas grandezas consideradas na análise, continuando a verificar-se o funcionamento conjunto entre a cortina de montante e de estacas. Logo, esta variação não é preponderante na escolha da solução.

### 5.5.3.2. Influência da variação da profundidade do maciço de encabeçamento

Após ter sido analisada a variação do módulo de deformabilidade, e tendo em vista que a cortina de estacas inicialmente adotada apresenta esforços praticamente nulos até uma profundidade de 7 metros, é então equacionada a hipótese de se instalar a cortina apenas a partir dos 7 metros de profundidade, por se tornar desnecessário prolongá-la até uma cota superior.

Assim, fez-se uma análise nos mesmos modos que anteriormente, visando os efeitos desta alteração na cortina de montante e na cortina de estacas devido ao seu funcionamento em conjunto.

Como a cortina corta-água de montante está solidária com a bacia de dissipação até aos 10 metros de profundidade, e como os esforços analisados anteriormente mostram que até essa profundidade estes são praticamente nulos, com esta alteração os esforços nesta cortina quase não variam (Fig. 53). Pelas mesmas razões, os deslocamentos da cortina de montante também se mantêm próximos dos obtidos anteriormente.

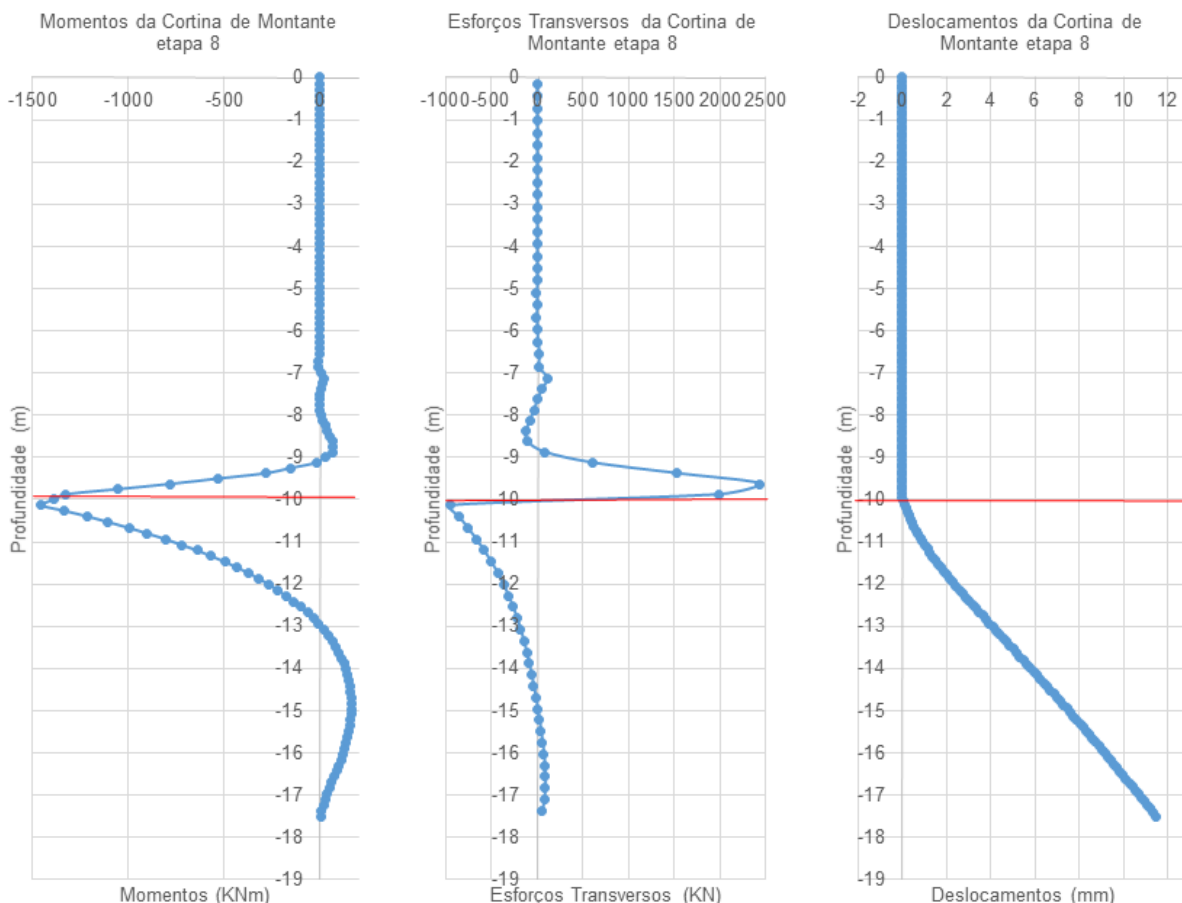


Fig. 53 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante admitindo uma variação da profundidade do maciço de encabeçamento

Através dos diagramas obtidos, e comparando com a solução inicial, o valor do momento máximo assume valores próximos, apesar de aumentados, de 1453 kNm, os esforços transversos fixam-se nos -941 kN, também semelhante ao obtido anteriormente. Quanto ao deslocamento, continua a ter um máximo de 11,5 mm no pé da cortina.

Passando para a cortina de estacas propriamente dita, devido a este encurtamento do seu comprimento, os esforços e deslocamentos sofrem alterações, ainda que pequenas, relativamente à solução inicial. De notar que na profundidade onde é instalado o maciço de encabeçamento aparecem esforços que anteriormente não constavam, facto que se deve a esta alteração de cota. Os deslocamentos continuam a estar dentro da grandeza dos obtidos anteriormente (Fig. 54).

Mesmo com estas diferenças face à solução inicial, a partir de profundidades superiores a 10 metros, todos os diagramas são praticamente coincidentes com os já enunciados.

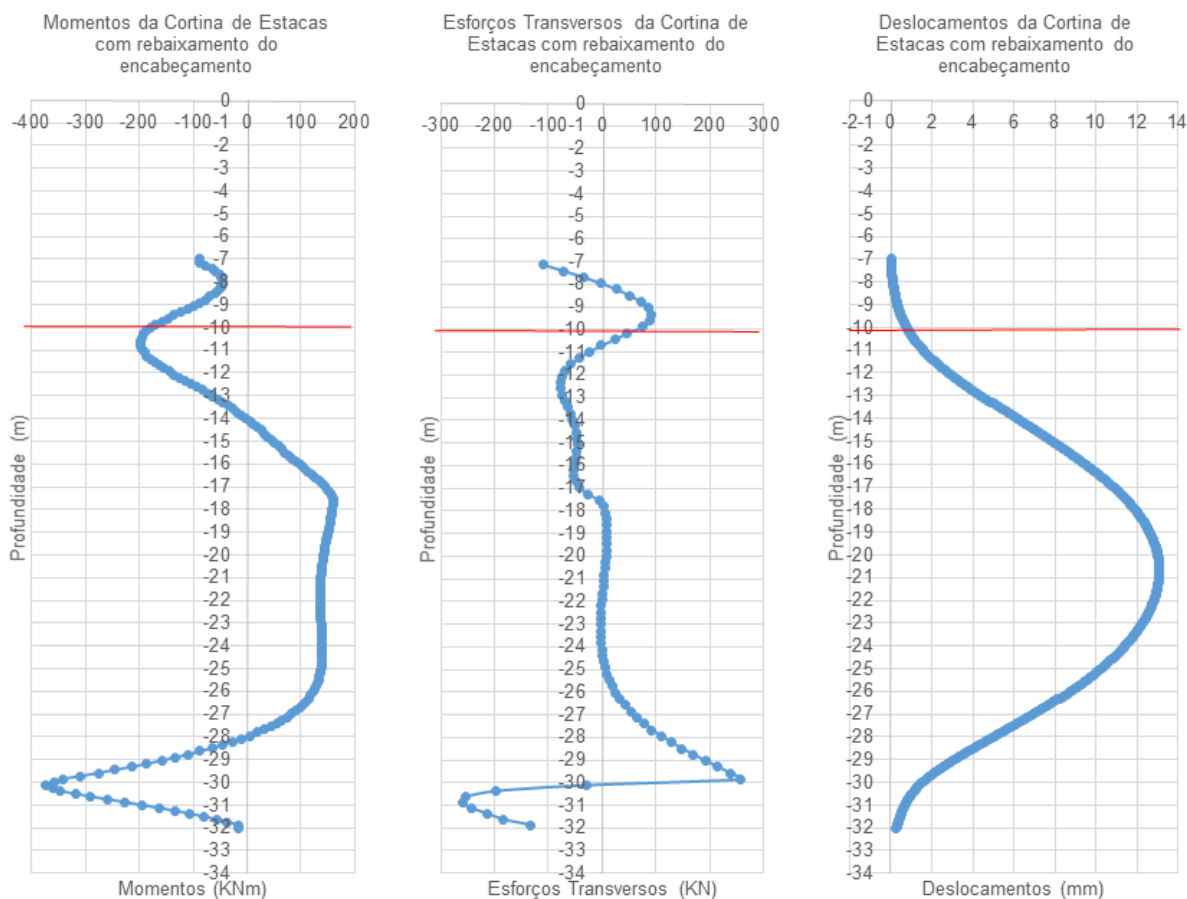


Fig. 54 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante admitindo uma variação da profundidade do maciço de encabeçamento

Em termos de valores máximos, os momentos fletores registam nesta análise um máximo negativo na zona de encastramento de -374 kNm. Os esforços fletores, atingem um valor de 256 kN, e o deslocamento máximo registado é de 13,1 mm a 20,6 metros de profundidade. De registar que todas estas grandezas são coincidentes com a solução já estudada.

Com os valores obtidos com esta variação, pode ser afirmado, que este rebaixamento do topo da cortina para os 7 metros de profundidade, é um ajustamento da solução que pode haver interesse ser adotado, devido tanto à diferença relativa na influência na cortina de montante, como nos esforços instalados na própria cortina de estacas.

### 5.5.3.3. Influência da variação do afastamento da cortina de estacas em relação à cortina de montante

Como a instalação da cortina de estacas influencia os esforços instalados na cortina corta-água de montante devido à proximidade desta, é pertinente testar mais uma variação da solução em que se procede à instalação da cortina de estacas mais afastada da cortina de montante, por forma a verificar se este funcionamento conjunto das duas cortinas é atenuado ou não.

É então posta a hipótese de em vez de se instalar a cortina com um afastamento de 0,2 metros, se opte por uma distância de 0,5 metros da cortina de montante.

Como na análise anterior relativa à variação da profundidade do topo da cortina, os resultados das grandezas analisadas não sofrem alteração, nesta hipótese considera-se o modelo com a cortina instalada entre os 7 e os 32 metros de profundidade, afastada 0,5 metros da cortina de montante.

Através da análise da cortina corta-água de montante (Fig. 55), retira-se que esta sofre um ligeiro alívio de esforços em relação à anterior solução, mas praticamente insignificante.

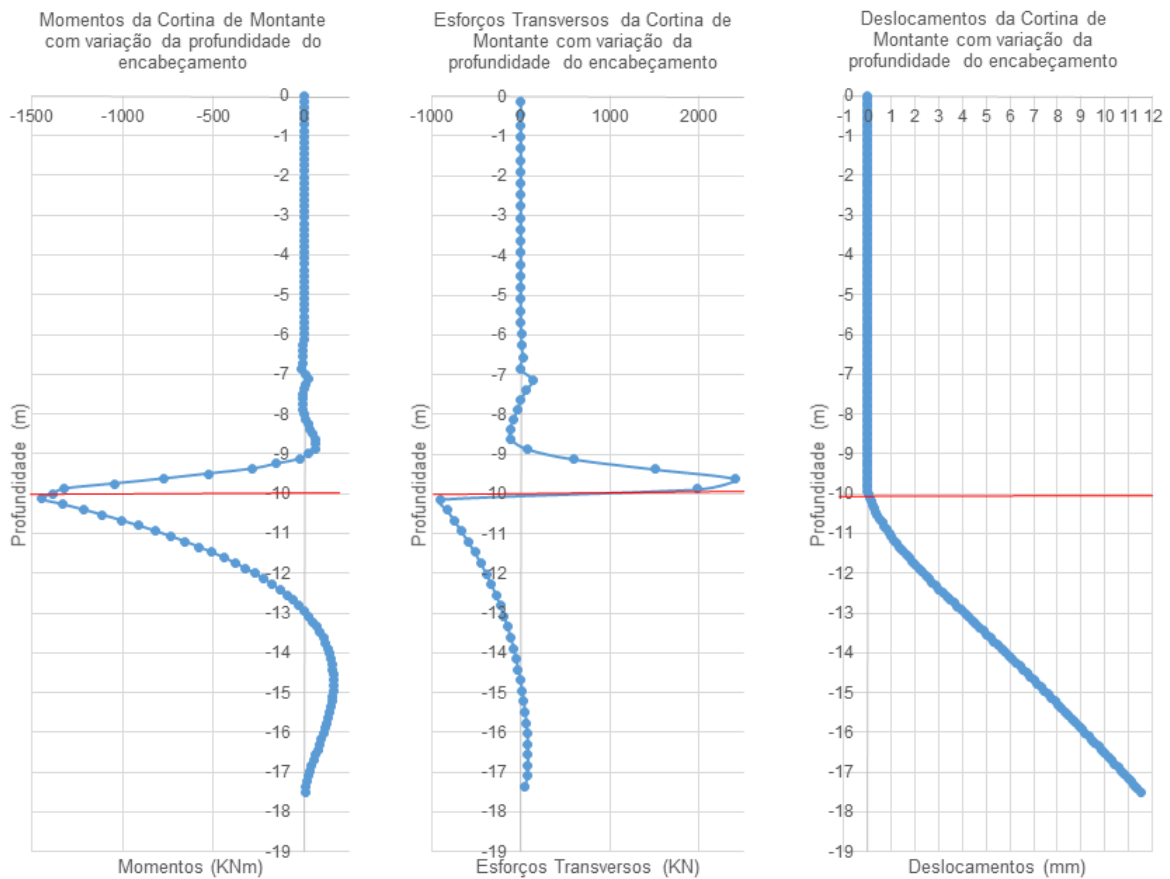


Fig. 55 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de montante admitindo uma variação do afastamento

Para esta análise final, o momento atinge um valor máximo negativo de -1448 kNm, o esforço transversal alcança os -899 kN, e o deslocamento máximo no pé da cortina estabelece-se nos 11,5 mm. Como dito anteriormente, estes valores traduzem um ligeiro alívio em termos de esforços, mas o deslocamento é idêntico à solução anterior.

Passando para a cortina de estacas, os esforços e deslocamentos máximos mantêm-se constantes face à hipótese anterior, mesmo afastando a cortina de estacas da cortina corta-água de montante, no entanto, no topo da cortina de estacas verifica-se uma concentração de esforços face a esta transposição da cortina de montante para a de estacas, que é reflexo do alívio provocado na cortina de montante (Fig. 56).

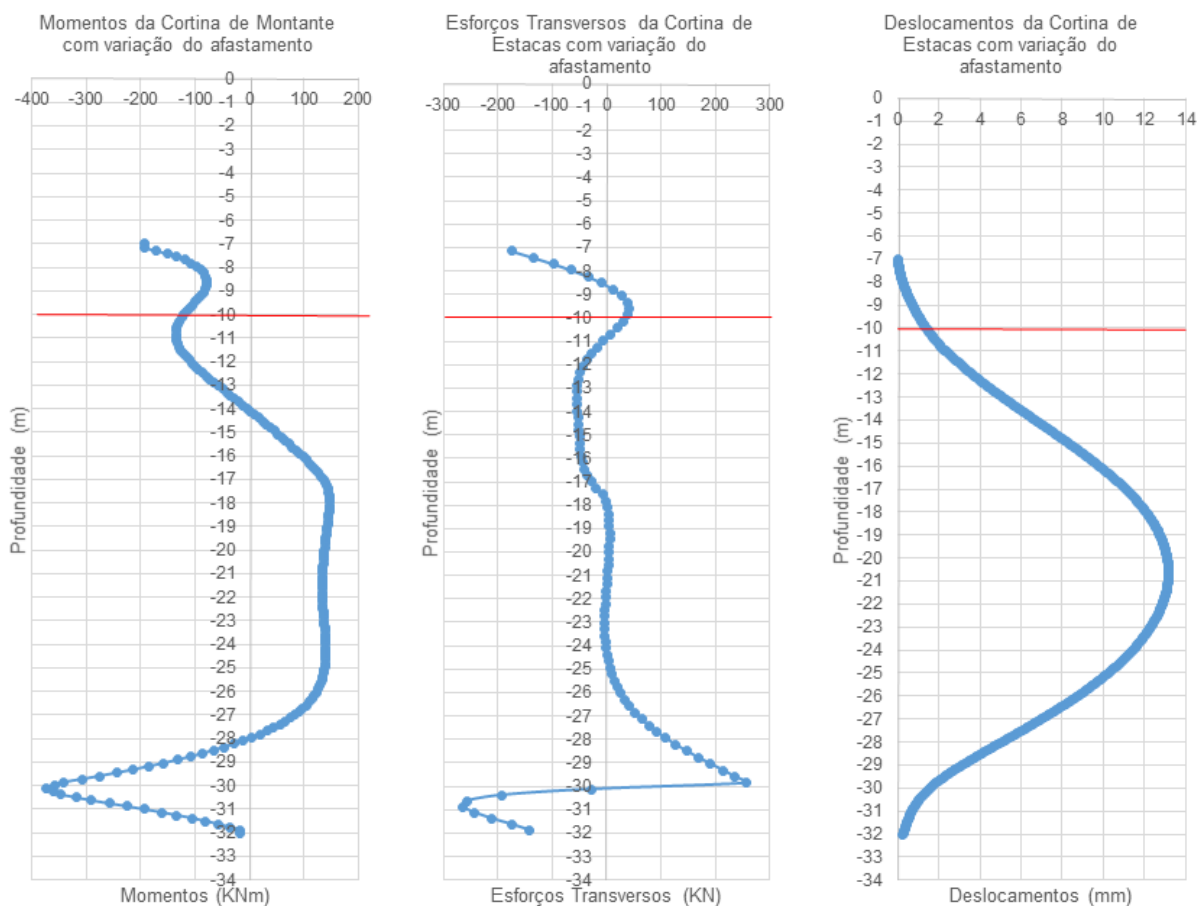


Fig. 56 - Diagramas de esforços de flexão e deslocamentos da cortina de estacas admitindo uma variação do afastamento

Os esforços registados foram de -374 kNm em momento máximo negativo, 256 kN em esforço transverso, ambos no encastramento do estrato rochoso, e o deslocamento, mais uma vez, atinge um valor máximo a 20,6 metros de profundidade de 13,1 mm.

Como esta alteração do afastamento da cortina de estacas tem como consequência um ligeiro alívio dos esforços na cortina corta-água de montante, e não havendo alteração de esforços ou deslocamentos na cortina de estacas, esta variante da solução traduz então uma pequena melhoria face à anterior.

#### 5.5.4. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS RESULTADOS

Muitos dos diagramas obtidos pelo programa contém valores que por vezes fogem um pouco da curva tipo que deveria ser representada. Esta diferença deve-se ao grau de refinamento da malha de elementos finitos usada nesta modelação. Quanto mais apertada se definir a malha, mais pontos o programa contabiliza para fazer o cálculo da modelação, que se traduz em gráficos com curvas mais suaves.

Além de o refinamento da malha permitir obter melhores gráficos, permite também obter valores mais precisos dos parâmetros a analisar. No entanto, quanto mais pormenor se exigir da modelação mais lento se torna o cálculo dos valores por parte do programa. Este fator tempo ainda se agrava mais quanto mais etapas do modelo forem consideradas. Por isso é necessário tentar encontrar um equilíbrio na modelação entre precisão dos resultados e tempo de cálculo do programa.

Em algumas imagens obtidas através do programa, é possível observar que na zona da bacia (constituída por betão) existe uma queda de potencial hidráulico ao longo da sua extensão. A razão para o aparecimento dessas quedas de potencial é apenas devida à impossibilidade por parte do programa na definição de materiais 100% impermeáveis. Assim sendo seria impossível não haver alguma água nessa zona. No entanto, este facto não altera significativamente os resultados obtidos durante a modelação.

Em suma, os resultados obtidos parecem satisfatórios tanto em termos de precisão do programa, assim como em termos de expectativas dos valores das variáveis analisadas.

É ainda importante referir que este trabalho se traduz numa continuação da análise realizada na dissertação de Gabriel Oliveira da Silva intitulada “Estruturas de retenção de água sobre fundos móveis. Análises de sensibilidade do comportamento da fundação em função da variação de parâmetros físicos e hidráulicos”. Esta dissertação anterior foi baseada numa análise aprofundada da componente hidráulica do cenário global considerado neste presente trabalho, e cujas conclusões facilitaram a análise da componente mecânica desenvolvida neste documento.

## 5.6. COMPARAÇÃO E REFLEXÃO SOBRE OS RESULTADOS

Neste subcapítulo da modelação é efetuada uma comparação dos valores mais relevantes verificados na obtenção de resultados. Apesar da comparação entre etapas já ter sido feita à medida que foram sendo apresentados os respetivos resultados, parece relevante fazer um resumo do estudo comparativo.

Para esta comparação, foram sintetizados os valores mais relevantes de esforços que correspondem aos máximos atingidos assim como para os deslocamentos, expostas nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 – Resumo dos valores obtidos para a cortina de montante

Cortina de montante			
etapa	momentos	esforços transversos	deslocamentos
	[kNm]	[kN]	[mm]
	Máx.	Máx.	
5	-527	-363	2,06
6	-541	-370	2,25
7	-548	-374	2,33
8 com uma solução base 5GPa	1450	-906	11,80
8 com uma solução base 10GPa	1446	-935	11,50
8 com uma solução base 20GPa	1438	-975	10,90
rebaixamento do maciço de encabeçamento	1453	-941	11,50
afastamento da cortina	1448	-899	11,50

Tabela 7 - Resumo dos valores obtidos na cortina de jusante

Cortina de jusante			
etapa	momentos	esforços transversos	deslocamentos
	[kNm]	[kN]	[mm]
	Máx.	Máx.	
5	146	91	-0,90
6	51	78	0,60
7	-81	220	2,38
8	269	273	-0,30

Tabela 8 – Resumo dos valores obtidos na cortina de estacas

Cortina de estacas			
	momentos	esforços transversos	deslocamentos
	[kNm]	[kN]	[mm]
	Máx.	Máx.	
8 com uma solução base 5GPa	-256	212	13,40
8 com uma solução base 10GPa	-374	256	13,10
8 com uma solução base 20GPa	-522	307	12,50
rebaixamento do maciço de encabeçamento	-374	256	13,10
afastamento da cortina	-374	256	13,10

Passando à reflexão sobre os resultados, relativamente à cortina corta-águas de montante, os valores dos momentos fletores, esforços transversos e deslocamentos vão sofrendo um aumento geral ao longo das etapas 5,6 e 7, ainda que reduzido. No entanto esses esforços sofrem um grande incremento quando passamos para a etapa 8 que corresponde à instalação da cortina de estacas secante. Esse incremento é devido à proximidade entre as cortinas nessa etapa, que se traduz num trabalho conjunto das duas na absorção das solicitações a que são sujeitas. Em consequência deste incremento de esforços, os deslocamentos na base desta cortina sofrem também um incremento mais pronunciado que nas restantes etapas.

Quando se efetuam as análises correspondentes às diferentes soluções possíveis admitidas, verifica-se que a diferença entre valores, tanto de esforços como deslocamentos é residual.

Como nota final em relação a esta estrutura, fica que o deslocamento máximo ocorre na solução correspondente à cortina de estacas com módulo de deformabilidade de 5 GPa, e que a implementação da cortina de estacas, em qualquer variante estudada, induz um grande aumento em termos de esforços e deformação.

Na cortina de jusante, entre etapas existe uma grande diferença tanto em relação a esforços como deslocamentos, atingindo-se um deslocamento máximo na etapa 7, que corresponde à segunda fase de escavação para simular a erosão a jusante, situação mais gravosa desta estrutura em termos de sensibilidade.

Quando se dá a instalação da cortina de estacas secantes, a cortina corta-águas de jusante sofre um ligeiro retrocesso na deformação da cortina de jusante, voltando quase à sua posição inicial. Pode por isso dizer-se que a instalação da cortina de estacas secantes tem um impacto positivo nesta estrutura.

Quanto à cortina de estacas secantes instalada em ambas as etapas 8, dentro das hipóteses consideradas, os esforços desta atingem valores máximos na hipótese base com um módulo de deformabilidade igual a 20 GPa, e mínimos na de 5 GPa. Os deslocamentos, pelo contrário, são máximos para a cortina de estacas de 5 GPa, e mínimos para a de 20 GPa. Dentro das soluções estudadas com módulo de deformabilidade de 10 GPa, estas apresentam todas os mesmos esforços e deslocamentos.

Relativamente à evolução da solução adotada, uma comparação entre resultados indica que em termos de esforços e deslocamentos não existe uma variação significativa.



# 6

## CONCLUSÕES

### 6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo foi permitido concluir que em estruturas de retenção de água sobre fundos móveis, os parâmetros estimados para a realização destas obras, tanto físicos como hidráulicos, assumem grande relevância no seu dimensionamento assim como uma incerta assunção destes valores pode ter reflexos importantes no comportamento e/ou desempenho do funcionamento destas estruturas.

É, portanto, essencial efetuar uma correta caracterização do terreno, efetuar análises através de métodos computacionais disponíveis atualmente, adaptar os métodos construtivos corretamente, e proceder a uma monitorização adequada dos empreendimentos, por forma a minimizar possíveis intervenções em obras.

Este tipo de incertezas aumenta à medida que nos focamos em obras realizadas num passado mais distante, em que não existiam os meios de caracterização usados atualmente. De igual modo refletido na documentação disponível acerca de obras já realizadas. É por isso imprescindível tentar compilar o máximo de informação adquirida em cada obra, relativamente ao projeto, à execução e comportamentos observados, para que seja mais fácil a realização de futuras intervenções necessárias.

É importante referir que neste tipo de construções, assentes em leitos de rios, à medida que o tempo vai passando as condições das suas fundações podem-se ir alterando, devido aos materiais que vão sendo arrastados pela água, alterando as características destes solos mais a jusante, o que exige um constante acompanhamento da evolução dos terrenos de fundação das obras construídas.

O registo de como anteriores situações anómalas foram resolvidas, e a comparação entre estas situações e os casos atuais, permite um valioso incremento no conhecimento. Este incremento traduz-se numa aprendizagem constante no campo da engenharia civil. Como foi útil para este trabalho o exemplo da barragem de Walter F. George, que também registou fenómenos associados à percolação pelo terreno de fundação, e acabou por servir de inspiração na solução estudada neste trabalho com possível implementação na barragem de Crestuma-Lever.

O conhecimento das matérias da mecânica dos solos e dos seus conceitos é, para um engenheiro civil em contacto com este tipo de obra, essencial para a obtenção de bons resultados na avaliação das questões presentes e desenvolvidas neste estudo.

Foi possível ainda concluir que os ensaios disponíveis para a caracterização dos terrenos onde estão ou serão implementadas estas obras, são imprescindíveis para uma correta caracterização do meio, e podem determinar a necessidade de intervenções. No caso deste trabalho, os dados extraídos das sondagens SPT disponibilizados, deixam algumas incertezas em relação aos valores usados para a modelação.

A utilização de programas como o RS2 como ferramentas para o estudo de casos destes revelou-se ser um meio poderoso na obtenção de resultados, e permite com relativa facilidade chegar a conclusões muito importantes, que sem este, seriam muito difíceis de obter.

Os casos de estudo desenvolvidos permitiram obter resultados bastante relevantes em relação ao funcionamento da fundação deste tipo de obras, principalmente da barragem de Crestuma-Lever. Foi possível tirar ilações relativas aos esforços e deslocamentos que ocorrem nas cortinas corta-águas dado um cenário de funcionamento normal da estrutura, um cenário em que ocorre erosão imediatamente a jusante da barragem, e num último em que esse solo erodido é repostado e é instalada uma cortina de estacas secantes imediatamente a montante da barragem.

Recordando o que acontece com a cortina corta-água de montante, verifica-se que, quando a barragem entra em funcionamento, esta estrutura fica sujeita a esforços fletores e deslocamentos na direção de jusante consequentes do início da percolação pelo terreno de fundação. Simulando a erosão a jusante, conclui-se que a evolução da profundidade a que ocorre este fenómeno provoca uma intensificação deste comportamento, apesar de, com muito reduzidas repercussões ao nível destes esforços e deslocamentos da cortina de montante.

Quando se simula a instalação da cortina de estacas a montante como possível solução, estes esforços e deslocamentos sofrem um grande aumento em qualquer das variações estudadas desta estrutura, alertando para a necessidade de uma avaliação mais pormenorizada dos impactes a nível de segurança.

Relativamente à cortina corta-água de jusante, desde o início do funcionamento e ao longo da simulação da erosão, verifica-se uma tendência para haver um crescimento do deslocamento na direção de jusante desta cortina, acompanhado de uma evolução de esforços nesse sentido, sugerindo cuidados caso este fenómeno se prolongue.

Quando o solo é repostado e a cortina de estacas instalada, a cortina de jusante sofre uma inversão dos valores de esforços e deslocamentos para perto das condições iniciais, validando a solução adotada em qualquer uma das suas vertentes.

Os diferentes cenários admitidos para a cortina de estacas secantes como solução a adotar, produzem bons resultados em termos de percolação, cortando praticamente na totalidade o fluxo de água através do terreno de fundação, no entanto, quando esta é instalada transmite elevados esforços e deslocamentos à cortina corta-água de montante.

A admissão de diferentes módulos de deformabilidade, a alteração da profundidade do topo e o afastamento da cortina de estacas, permite analisar o comportamento das estruturas já existentes face a esta intervenção, e adequar melhor esta solução à situação em estudo.

Como, aquando a instalação da cortina de estacas, estes esforços na cortina corta-água de montante crescem para três vezes o seu valor inicial, e o deslocamento aumenta para cerca de cinco vezes, o que torna necessário ter em atenção esse acréscimo, na opção por esta solução.

À medida que se vão estudando as variações admitidas na cortina de estacas, verifica-se que a alteração do módulo de deformabilidade desta não influencia significativamente as estruturas já existentes, em particular a cortina corta-água de montante, tornando esta variação redundante para este caso de estudo. Esta variação do módulo de deformabilidade é refletida nos esforços instalados na própria cortina de estacas, tomando entre eles formas semelhantes, e sendo maiores quando o módulo de deformabilidade é maior e vice-versa. É ainda possível concluir que, com esta variação, os deslocamentos máximos da cortina de estacas não se alteram significativamente, sendo maiores com um módulo de deformabilidade mais reduzido.

A alteração da profundidade do topo da cortina de estacas devido à ausência de esforço na parte superior, traduz-se numa favorável evolução da solução, pois também não cria alterações significativas nos esforços ou deslocamentos na cortina corta-água de montante, quando comparado com a opção base, permitindo uma ligação entre as cortinas a cotas inferiores. Na cortina de estacas propriamente dita, esta variação de cota cria uma pequena concentração de esforços na zona do encabeçamento, no entanto em valor reduzido.

O afastamento da cortina de estacas em relação à cortina corta-água de montante, produz uma redução em termos de esforços desta última, no entanto essa redução não se torna relevante face à sua grandeza. Esta vertente da solução não induz qualquer alteração de deslocamentos da cortina corta-água de montante. Relativamente à variação da profundidade do encabeçamento da cortina de estacas, o afastamento desta não altera os seus próprios esforços ou deslocamentos.

De entre as soluções estudadas, a que causa menor deslocamento na cortina corta-água de montante é a que corresponde a um módulo de deformabilidade de 20 GPa, a 0,20 metros da cortina de montante com o maciço de encabeçamento a 0,5 metros da superfície, no entanto é também a que apresenta maiores esforços internos para a estrutura a instalar.

## **6.2. APLICABILIDADE DA SOLUÇÃO**

Através da comparação entre dados obtidos em todas as modelações, a solução proposta da instalação de uma cortina de estacas secantes parece ser uma boa opção, em todas as vertentes analisadas.

É de realçar que a solução com módulo de deformabilidade de 10 GPa com o rebaixamento do maciço de encabeçamento se pode tornar mais vantajosa do ponto de vista económico, pois representa menos obra e materiais que as restantes, sem uma diferença significativa de esforços ou deslocamentos.

A questão analisada do afastamento da cortina de estacas em relação à de montante tem como vantagem um ligeiro alívio desta relativamente a esforços, mas sem grande significado, e devido à maior distância entre estruturas, será necessária uma espessura do maciço de encabeçamento em jet-grouting e esforços associados superiores, pelo que estes fatores devem ser tidos em atenção.

A implementação ou não desta solução está ainda dependente de um estudo mais aprofundado a nível estrutural, que não foi alvo deste trabalho, relativamente à segurança das estruturas existentes face aos esforços instalados nestas, principalmente em relação à influência que a cortina de estacas secante exerce na cortina corta-água de montante.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EDP. *Aproveitamento hidráulico do Douro*. EDP – Gestão da produção de energia, SA, Porto, 1986.
- [2] Ferreira Lemos. *Paredes moldadas na barragem de Crestuma* – 1983.
- [3] EDP. *Centro de produção Douro*. EDP - Eletricidade de Portugal, SA. DOPR – Produção Hidráulica, 1992.
- [4] Gabriel Silva. *Estruturas de Retenção de água sobre fundos móveis. Análises de sensibilidade do comportamento da fundação em função da variação de parâmetros físicos e hidráulicos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- [5] Melo, J. F., Silva, J. Dias da, Fernandes, I., Caldeira, L., Miranda, L. Corrective measures of the river bed protection downstream a dam founded in deep alluvia: the case of Crestuma-Lever dam. In 3rd IAHR Europe Congress, Book of proceedings 192-204, Porto, 2014.
- [6] Ribeiro, A. Alvares, Lemos, J. Ferreira, Cardoso, M. Moutinho, Neves, E. Maranha das. The exceptional foundations of the gated dams of Crestuma and Coimbra. In *Quatorzième Congrès des Grands Barrages*, 387-404, Commission International des Grands Barrages, 1982.
- [7] [http://www.douro.iptm.pt/PT/navegacao/nav\\_comercial\\_barragem\\_crestuma\\_lever.aspx](http://www.douro.iptm.pt/PT/navegacao/nav_comercial_barragem_crestuma_lever.aspx)  
12/11/2015
- [8] Carvalho, E., Pinto, F. Taveira. *Exemplo do Desvio do Rio Douro em Crestuma por Contração Lateral. Construção e Demolição das Paredes Moldadas* (Apontamentos da UC de Aproveitamentos Hidráulicos e Obras Fluviais 1). 2014/2015.
- [9] Gianfranco Di Cicco, Area Manage Special Project and Riccardo Pertocelli CEO. *The underwater cut-off at the Walter F. George dam* – TREVIICOS Corporation, Boston, MA, USA
- [10] Matos Fernandes, M. *Mecânica dos Solos – Conceitos e Princípios Fundamentais (Volume 1)*. FeupEdições, Porto, 2006.
- [11] Matos Fernandes, M. *Mecânica dos Solos – Introdução à engenharia (Volume 2)*. FeupEdições, Porto, 2011.
- [12] <http://users.tpg.com.au/houlsby1/Use.htm> 18/11/2015
- [13] LNEC. *Estudos Relativos às fundações da barragem de Crestuma* – LNEC Proc. 53/1/4124.
- [14] Brahma, P. and Mukherjee. *A realistic way to obtain Equivalent Young's modulus of layered soil* – S.P. 2010
- [15] <http://foundationeng.blogspot.pt/2015/07/243-standard-penetration-test-astm-d1586.html>  
27/12/2015






## **ANEXOS**





**ANEXO A1 – SONDAgens DOS ENSAIOS SPT**




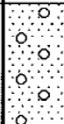
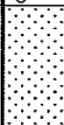



 <b>TEIXEIRA DUARTE</b> ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES, S.A.		CLIENTE: EDP  OBRA: EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DAS BACIAS 1E 1 3E E DO TAPETE DE PROTECÇÃO LOCAL: BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER	DATA DE INÍCIO 16/07/2012 DATA DE CONCLUSÃO 19/07/2012						
FURAÇÃO: Rotary; Rotação  DIÂMETROS DE FURAÇÃO: Rotary: 00.00-33.90 m Rotação 101mm: 33.90-39.15 m		LOCAL: BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER  SONDAGEM S1	COORDENADAS:  M: P: Z: -3,00 (REFERENCIAL: )						
PROFUNDIDADES (m)	COMPLEXOS	ALTERAÇÃO	FRACTURAÇÃO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CONVENÇÕES	PIEZÓMETRO	SPT (PROFUNDIDADES)	Nº DE PANCADAS (SPT)	% DE RECUPERAÇÃO E R.Q.D. (____)
0,50				AREIA GROSSEIRA ACINZENTADA, COM AREÃO E SEIXOS ROLADOS.			0,50 0,65 0,95	15 21	
2,00							2,00 2,10 2,40	12 34	
4,00							4,00 4,15 4,45	13 44	
5,00									
5,80									
7,00									
7,00									
7,00									
7,00									
7,00									
9,00									
9,45									
9,45									
9,45									
10,25									
11,00									
11,00									
11,00									
11,00									
13,00									
13,00									
13,00									
15,00									
15,00									
15,00									
16,00									
16,60									
16,60									
17,00									
17,00									
17,00									
17,00									
17,00									
17,00									
19,05									
19,05									
19,05									
20,00				CORTINA PLÁSTICA.			19,05 19,10 20,50	8 27	

**OBSERVAÇÕES:**  
 COLHEITA DE AMOSTRAS INTACTAS ÀS SEGUINTE PROFUNDIDADES:  
 5.00; 9.45; 16.00; 20.00; 25.00; 30.50



		CLIENTE: EDP		DATA DE INÍCIO 16/07/2012 DATA DE CONCLUSÃO 19/07/2012															
FURAÇÃO: Rotary; Rotação  DIÂMETROS DE FURAÇÃO: Rotary: 00.00-33.90 m Rotação 101mm: 33.90-39.15 m		OBRA: EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DAS BACIAS 1E 1 3E E DO TAPETE DE PROTECÇÃO  LOCAL: BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER		COORDENADAS: M: P: Z: -3,00 (REFERENCIAL: )															
		SONDAGEM S1																	
PROFUNDIDADES (m)	COMPLEXOS	ALTERAÇÃO	FRACTURAÇÃO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CONVENÇÕES	PIEZÓMETRO	SPT (PROFUNDIDADES)	Nº DE PANCADAS (SPT)			% DE RECUPERAÇÃO E R.Q.D. (___)								
								0	20	40	60	0	20	40	60	80	100		
20,60				CORTINA PLÁSTICA.															
21,20							20,60-21,20	8											
23,20							21,20-23,20	7											
25,00																			
25,60							23,20-25,60	6											
27,60							25,60-27,60	8											
30,00																			
30,50							27,60-30,50	5											
31,10																			
33,80																			
33,90							30,50-33,90	4											
34,90		W1-2	F2	XISTO CINZENTO COM FINOS VEIOS GRAUVACOIDES CINZENTOS MAIS CLAROS. FRACTURAS A 10°-20° E 45°.			31,10-34,90	60											
36,35																			
36,95			F5																
37,05																			
37,35			F3																
37,50			F5-4																
38,50			F2																
39,15																			
OBSERVAÇÕES: COLHEITA DE AMOSTRAS INTACTAS ÀS SEGUINTE PROFUNDIDADES: 5.00; 9.45; 16.00; 20.00; 25.00; 30.50																			

		CLIENTE: EDP OBRA: EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DAS BACIAS 1E 1 3E E DO TAPETE DE PROTECÇÃO LOCAL: BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER SONDAGEM S2				DATA DE INÍCIO: 20/07/2012 DATA DE CONCLUSÃO: 23/07/2012 COORDENADAS: M: P: Z: -3,00 (REFERENCIAL: )			
FURAÇÃO: Rotary; Rotação DIÂMETROS DE FURAÇÃO: Rotary: 00.00-29.85 m Rotação 101mm: 29.85-35.20 m									
PROFUNDIDADES (m)	COMPLEXOS	ALTERAÇÃO	FRACTURAÇÃO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CONVENÇÕES	PIEZÓMETRO	SPT (PROFUNDIDADES)	Nº DE PANCADAS (SPT)	% DE RECUPERAÇÃO E.R.Q.D. (___)
							0 20 40 60	0 20 40 60 80 100	
2,00				AREIA GROSSEIRA A MÉDIA, ACINZENTADA CLARA, COM POUCO AREÃO.			2,00	10	
			2,15				35		
			2,45						
4,00			4,00				10		
			4,15	18					
5,00				AREIA MÉDIA A GROSSEIRA, ACINZENADA CLARA.			5,00	5	
			5,15				21		
			5,45						
8,00			8,00				7		
			8,15	12					
10,00				AREIA FINA, CINZENTA CLARA, COM RAROS SEIXOS DE XISTO.			10,60	7	
			10,75				12		
12,00				AREIA FINA A MÉDIA, CINZENTA CLARA.			12,00	7	
			12,15				20		
14,00				AREIA FINA CINZENTA CLARA.			14,00	8	
			14,15				27		
			14,45						
15,00			15,00				9		
			15,15	22					
16,00							16,00	9	
			16,15				22		
			16,45						
18,00			18,00				12		
			18,15	46					
			18,45						
20,00									

OBSERVAÇÕES:  
 COLHEITA DE AMOSTRAS INTACTAS ÀS SEGUINTE PROFUNDIDADES:  
 5.00; 10.00; 15.00; 20.00; 25.00



PROFUNDIDADES (m)		COMPLEXOS	ALTERAÇÃO	FRACTURAÇÃO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CONVENÇÕES	PIEZÓMETRO	SPT (PROFUNDIDADES)	Nº DE PANCADAS (SPT)	% DE RECUPERAÇÃO E R.Q.D. (____)
								0 20 40 60	0 20 40 60 80 100	
20,60					AREIA FINA CINZENTA CLARA.			20,60 20,75 21,05	10 40	
22,00					AREIA FINA, CINZENTA CLARA, COM PEQUENOS FRAGMENTOS DE MADEIRA INCARBONIZADOS.			22,00 22,15 22,45	12 45	
24,00					AREIA FINA, CINZENTA CLARA, COM MAIS FRAGMENTOS DE MADEIRA INCARBONIZADA.			24,00 24,15 24,45	7 22	
25,00										
25,70										
26,00					AREIA FINA, CINZENTA CLARA.			26,00 26,15 26,50	9 27	
28,00										
29,80										
29,85										
30,75			W3-2	F5	XISTO CINZENTO-AÇASTANHADO, COM FRACTURAS A 10°-20°.			30,75 30,95	60	
30,95			W4	F4-5	XISTO CINZENTO-ANEGRADO, COM FINOS VEIOS DE QUARTZO, COM FRACTURAS A 10°-20°, 45° E 60°.					
32,20			W3-2							
32,80				F5						
33,20										
34,40										
35,20										

**TEIXEIRA DUARTE**  
ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES, S.A.

FURAÇÃO: Rotary; Rotação

DIÂMETROS DE FURAÇÃO:  
Rotary: 00.00-29.85 m  
Rotação 101mm: 29.85-35.20 m

CLIENTE: EDP

OBRA: EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DAS BACAS 1E 1 3E E DO TAPETE DE PROTECÇÃO LOCAL: BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER

SONDAGEM S2







DATA DE INÍCIO  
20/07/2012

DATA DE CONCLUSÃO  
23/07/2012

COORDENADAS:  
M:  
P:  
Z: -3,00  
(REFERENCIAL: )

OBSERVAÇÕES:  
COLHEITA DE AMOSTRAS INTACTAS ÀS SEGUINTE PROFUNDIDADES:  
5.00; 10.00; 15.00; 20.00; 25.00



 <b>TEIXEIRA DUARTE</b> ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES, S.A.		<b>CLIENTE:</b> EDP			<b>DATA DE INÍCIO:</b> 30/07/2012 <b>DATA DE CONCLUSÃO:</b> 08/08/2012				
<b>FURAÇÃO:</b> Rotary; Rotação  <b>DIÂMETROS DE FURAÇÃO:</b> Rotary: 00.00-32.00 m Rotação 101mm: 32.00-37.15 m		<b>OBRA:</b> EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DAS BACIAS 1E 1 3E E DO TAPETE DE PROTECÇÃO			<b>COORDENADAS:</b> M: P: Z: -3,00 (REFERENCIAL: )				
		<b>LOCAL:</b> BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER			<b>SONDAGEM S3</b>				
PROFUNDIDADES (m)	COMPLEXOS	ALTERAÇÃO	FRACTURAÇÃO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CONVENÇÕES	PIEZÓMETRO	SPT (PROFUNDIDADES)	Nº DE PANCADAS (SPT)	% DE RECUPERAÇÃO E R.O.D. (____)
2,00				SEM RECUPERAÇÃO DE AMOSTRA.			2,00 2,15 2,45	10 35	
4,00				AREIA GROSSEIRA A MÉDIA, ACINZENTADA CLARA, COM AREÃO E RAROS SEIXOS ROLADOS.			4,00 4,15 4,45	10 18	
5,00							5,00 5,15 5,45	20 45	
5,70							5,70 5,85 6,00		
6,00							6,00 6,15 6,45	20 45	
8,00				AREIA GROSSEIRA A MÉDIA, ACINZENTADA CLARA, COM AREÃO.			8,00 8,15 8,45	10 35	
10,00							10,00 10,15 10,45		
10,60							10,60 10,75 11,05	17 45	
12,00				AREIA MÉDIA A GROSSEIRA, ACINZENTADA CLARA.			12,00 12,15 12,45	6 18	
14,00							14,00 14,15 14,45	8 22	
15,00							15,00 15,15 15,45		
15,70							15,70 15,85 16,00		
16,00				AREIA FINA A MÉDIA, ACINZENTADA, COM LENTICULAS DE LOÇO ANEGRADO.			16,00 16,15 16,45	8 26	
18,00							18,00 18,15 18,45	7 16	
20,00									
<b>OBSERVAÇÕES:</b> COLHEITA DE AMOSTRAS INTACTAS ÀS SEGUINTE PROFUNDIDADES: 5,00; 10,00; 15,00; 20,00; 25,00; 30,00									

TEIXEIRA DUARTE ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES, S.A.		CLIENTE: EDP				DATA DE INÍCIO 30/07/2012											
FURAÇÃO: Rotary; Rotação		OBRA: EXECUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DAS BACIAS 1E 1 3E E DO TAPETE DE PROTECÇÃO				DATA DE CONCLUSÃO 08/08/2012											
DIÂMETROS DE FURAÇÃO: Rotary: 00.00-32.00 m Rotação 101mm: 32.00-37.15 m		LOCAL: BARRAGEM DE CRESTUMA-LEVER				COORDENADAS: M: P: Z: -3,00 (REFERENCIAL: )											
		SONDAGEM S3															
PROFUNDIDADES (m)	COMPLEXOS	ALTERAÇÃO	FRACTURAÇÃO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CONVENÇÕES	PIEZÓMETRO	SPT (PROFUNDIDADES)	Nº DE PANCADAS (SPT)			% DE RECUPERAÇÃO E R.Q.D. (____)						
								0	20	40	60	0	20	40	60	80	100
20,80				AREIA FINA A MÉDIA, ACINZENTADA, COM LENTICULAS DE LODO ANEGRADO.			20,80 20,95 21,25					4					
22,00				AREIA MÉDIA A GROSSEIRA, ACINZENTADA CLARA, COM RARO AREAO E COM LENTICULAS DE LODO ANEGRADO.			21,25 22,00 22,15 22,45					7					
24,00				AREIA MÉDIA A GROSSEIRA, ACINZENTADA CLARA.			22,45 24,00 24,15 24,45					21					
25,00				AREIA FINA, ACINZENTADA CLARA, COM FRAGMENTOS DE VEGETAIS INCARBONIZADOS.			24,45 25,00 25,15 26,00					5					
26,00							26,00 26,15 26,45					15					
28,00							26,45 28,00 28,15 28,45					6					
30,00				AREIA FINA A MÉDIA, ACINZENTADA CLARA.			28,45 30,00 30,15 30,45					7					
30,80							30,45 30,80 30,95 31,25					16					
32,00							31,25 32,00 32,06					10					
32,06		W4	F5	XISTO CINZENTO ANEGRADO, ACASTANHADO NO TOPO, COM FRACTURAS A 10º-20º.			32,06					60					
32,10		W3-2	F4														
32,70																	
33,20		W2-1	F3-4														
33,25																	
34,60																	
36,10																	
37,15																	

OBSERVAÇÕES:  
COLHEITA DE AMOSTRAS INTACTAS ÀS SEGUINTE PROFUNDIDADES:  
5,00; 10,00; 15,00; 20,00; 25,00; 30,00



Tab. A1.1 – Valores da sondagem S1

Normalização SPT S1															
z (m)	N <sub>SPT</sub>		CR	CD	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	(N1)55	Descrição Litológica	D50 mm	qc/(pa.N55)	qc	E	compacidade	Id (%)	Φ' (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
	1ª Fase	2ª Fase		101 mm							α=3				
0,5	15	21	1	1	21	19,26606	areia grosseira	1	8	15,41	46,24	Medianamente compacta	59,1608	37,98	20,00
2	12	34	1	1	34	31,19266	areia grosseira	1	8	24,95	74,86	Compacta	75,27727	42,88	20,00
4	13	44	1	1	44	40,36697	areia grosseira	1	8	32,29	96,88	Muito compacta	85,63488	46,03	20,00
7	14	26	1	1	26	23,85321	areia grosseira	1	8	19,08	57,25	Compacta	65,82806	40,01	20,00
9	15	31	1	1	31	28,44037	areia grosseira	1	8	22,75	68,26	Compacta	71,87953	41,85	20,00
11	13	29	1	1	29	26,6055	areia grosseira	1	8	21,28	63,85	Compacta	69,52218	41,13	20,00
13	12	32	1	1	32	29,3578	areia grosseira	1	8	23,49	70,46	Compacta	73,02967	42,20	20,00
15	11	33	1	1	33	30,27523	areia grosseira	1	8	24,22	72,66	Compacta	74,16198	42,54	20,00
17	24	60	1	1	60	55,04587	areia grosseira	1	8	44,04	132,11	Muito compacta	100	50,40	20,00
19,05	8	27	1	1	27	24,77064									
21,2	8	27	1	1	27	24,77064									
23,2	7	34	1	1	34	31,19266									
25,6	6	26	1	1	26	23,85321									
27,6	8	28	1	1	28	25,68807									
30	5	19	1	1	19	17,43119									
32,1	4	27	1	1	27	24,77064									
33,9	60	0	1	1	0	0									
cortina plástica															
Maciço Rochoso															
										Média S1	75,84	74,94	42,78	20,00	

Tab. A1.2 – Valores da sondagem S2

Normalização SPT S2															
z	N <sub>SPT</sub>		CR	CD	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>55</sub>	Descrição Litológica	D50	qc/(pa.N55)	qc	E	compacidade	Id	Φ'	γ
(m)	2ª Fase	3ª Fase		101 mm				mm			α=3		(%)	(°)	(kN/m³)
2	10	35	1	1	35	32,11009	areia grossa a média	0,7	7,50	24,08	72,25	Medianamente compacta	76,37626	43,22	20,00
4	10	18	1	1	18	16,51376	areia grossa a média	0,7	7,50	12,39	37,16	Medianamente compacta	54,77226	36,65	20,00
6	5	21	1	1	21	19,26606	areia média a grossa	0,7	7,50	14,45	43,35	Medianamente compacta	59,1608	37,98	20,00
8	7	12	1	1	12	11,00917	areia média a grossa	0,7	7,50	8,26	24,77	Medianamente compacta	44,72136	33,59	20,00
10,6	7	12	1	1	12	11,00917	areia fina	0,1	4,00	4,40	13,21	Medianamente compacta	44,72136	33,59	20,00
12	7	20	1	1	20	18,34862	areia fina a média	0,15	4,20	7,71	23,12	Medianamente compacta	57,73503	37,55	20,00
14	8	27	1	1	27	24,77064	areia fina	0,1	4,00	9,91	29,72	Medianamente compacta	67,08204	40,39	20,00
16	9	22	1	1	22	20,18349	areia fina	0,1	4,00	8,07	24,22	Medianamente compacta	60,55301	38,41	20,00
18	12	46	1	1	46	42,20183	areia fina	0,1	4,00	16,88	50,64	Muito compacta	87,5595	46,62	20,00
20,6	10	40	1	1	40	36,69725	areia fina	0,1	4,00	14,68	44,04	Compacta	81,64966	44,82	20,00
22	12	45	1	1	45	41,2844	areia fina	0,1	4,00	16,51	49,54	Muito compacta	86,60254	46,32	20,00
24	7	22	1	1	22	20,18349	areia fina	0,1	4,00	8,07	24,22	Medianamente compacta	60,55301	38,41	20,00
26	9	27	1	1	27	24,77064	areia fina	0,1	4,00	9,91	29,72	Compacta	67,08204	40,39	20,00
28	18	60	1	1	60	55,04587	areia fina	0,1	4,00	22,02	66,06	Muito compacta	100	50,40	20,00
29,8	60	0	1	1	0	0	xisto								
<b>Maciço Rochoso</b>															
										<b>Média S2</b>	38,00		67,75	40,60	20,00

Tab. A1. 3 – Valores da sondagem S3

Normalização SPT															
z (m)	N <sub>SPT</sub>		CR	CD 101 mm	(N <sub>i</sub> ) <sub>60</sub>	(N1) <sub>55</sub>	Descrição Litológica	D50 mm	qc/(pa.N55)	qc	E α=3	compacidade	Id (%)	Φ' (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
	2ª Fase	3ª Fase													
2	10	35	1	1	35	32,11009	sem recuperação de amostra					Muito Compacta	76,37626	43,22	20,00
4	10	18	1	1	18	16,51376	areia grossa a média	0,7	7,5	12,39	37,16	Compacta	54,77226	36,65	20,00
6	20	45	1	1	45	41,2844	areia grossa a média	0,7	7,5	30,96	92,89	Muito Compacta	86,60254	46,32	20,00
8	10	35	1	1	35	32,11009	areia grossa a média	0,7	7,5	24,08	72,25	Muito Compacta	76,37626	43,22	20,00
10,6	17	45	1	1	45	41,2844	areia grossa a média	0,7	7,5	30,96	92,89	Muito Compacta	86,60254	46,32	20,00
12	6	18	1	1	18	16,51376	areia grossa a média	0,7	7,5	12,39	37,16	Compacta	54,77226	36,65	20,00
14	8	22	1	1	22	20,18349	areia grossa a média	0,7	7,5	15,14	45,41	Muito Compacta	60,55301	38,41	20,00
16	8	26	1	1	26	23,85321	areia fina a média	0,15	4,2	10,02	30,06	Muito Compacta	65,82806	40,01	20,00
18	7	16	1	1	16	14,6789	areia fina a média	0,15	4,2	6,17	18,50	Medianamente Compacta	51,63978	35,70	20,00
20,8	4	12	1	1	12	11,00917	areia média a grossa	0,5	6,2	6,83	20,48	Medianamente Compacta	44,72136	33,59	20,00
22	7	21	1	1	21	19,26606	areia média a grossa	0,5	6,2	11,94	35,83	Compacta	59,1608	37,98	20,00
24	5	15	1	1	15	13,76147	areia fina	0,1	4	5,50	16,51	Compacta	50	35,20	20,00
26	6	14	1	1	14	12,84404	areia fina	0,1	4	5,14	15,41	Compacta	48,30459	34,68	20,00
28	7	16	1	1	16	14,6789	areia fina a média	0,15	4,2	6,17	18,50	Compacta	51,63978	35,70	20,00
30,8	10	24	1	1	24	22,01835	areia média	0,4	6	13,21	39,63	Muito Compacta	63,24555	39,22	20,00
32	60	0	1	1	0	0	xisto								
<b>Maciço Rochoso</b>															
										<b>Média S3</b>	40,90	62,04	38,86	20,00	



**ANEXO A2 – IMAGENS DA MODELAÇÃO E RESULTADOS DAS ETAPAS 5, 6 E 7**



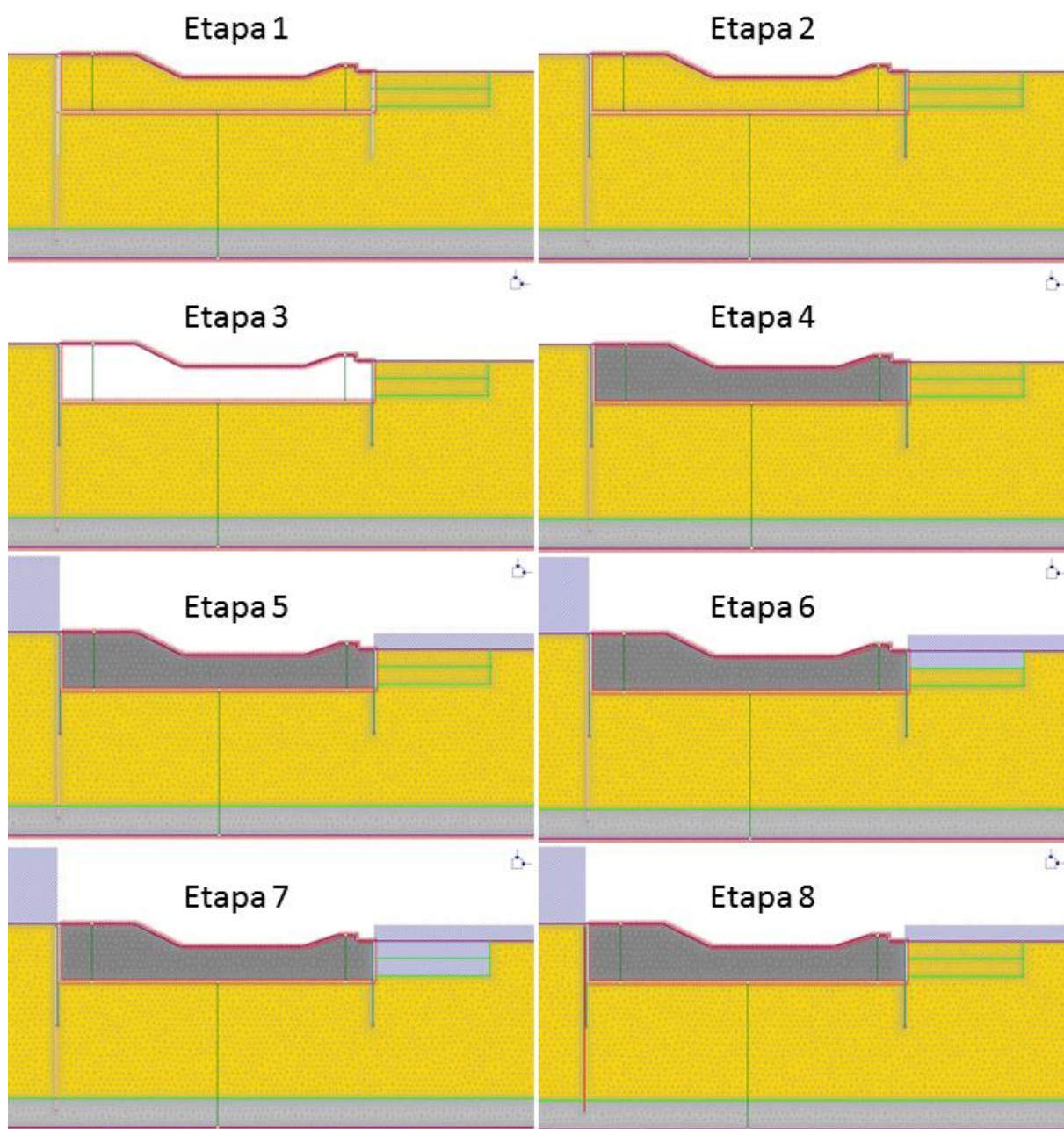


Fig. A2. 1 – Etapas da modelação

Tab. A2. 1 – Valores de momentos da cortina de montante

Cortina Montante		etapa 5	etapa 6	etapa 7	etapa 8 5 Gpa	etapa 8 10 Gpa	etapa 8 20 Gpa
X	Y	Moment [KNm]	Moment [KNm]	Moment [KNm]	Moment [KNm]	Moment [KNm]	Moment [KNm]
216	0,00	0,0	0,0	0,0	-4,2	-5,1	-5,6
216	-0,06	0,0	0,0	0,0	-4,2	-5,1	-5,6
216	-0,13	0,0	0,0	0,0	-8,4	-10,1	-11,3
216	-0,19	0,0	0,0	0,0	-12,6	-15,2	-16,9
216	-0,25	0,0	0,0	0,0	-16,7	-20,1	-22,5
216	-0,31	0,1	0,1	0,1	-20,8	-25,1	-28,0
216	-0,38	0,1	0,1	0,1	-24,3	-29,5	-32,8
216	-0,44	0,1	0,1	0,1	-27,8	-33,9	-37,5
216	-0,50	0,0	0,0	0,0	4,3	4,6	5,5
216	-0,63	0,0	0,0	0,0	36,3	43,0	48,6
216	-0,76	0,0	0,0	0,0	21,0	25,0	28,2
216	-0,90	0,0	0,0	0,0	5,8	7,0	7,7
216	-1,03	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	0,6
216	-1,16	0,0	0,0	0,0	-4,9	-5,8	-6,6
216	-1,29	0,0	0,0	0,0	-5,0	-5,9	-6,7
216	-1,42	0,0	0,0	0,0	-5,1	-6,0	-6,8
216	-1,56	0,0	0,0	0,0	-3,8	-4,5	-5,1
216	-1,69	0,0	0,0	0,0	-2,5	-3,0	-3,3
216	-1,82	0,0	0,0	0,0	-1,5	-1,8	-2,0
216	-1,95	0,0	0,0	0,0	-0,5	-0,7	-0,7
216	-2,08	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2
216	-2,22	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3
216	-2,35	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4
216	-2,48	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4
216	-2,61	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3
216	-2,74	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2
216	-2,88	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
216	-3,01	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
216	-3,14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-3,27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-3,40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-3,53	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-3,67	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-3,80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-3,93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-4,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-4,19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-4,33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-4,46	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-4,59	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-4,72	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-4,85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-4,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-5,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-5,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-5,38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-5,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
216	-5,65	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
216	-5,78	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
216	-5,91	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
216	-6,04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
216	-6,17	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
216	-6,31	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
216	-6,44	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0
216	-6,57	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,2

216	-6,70	-0,5	-0,5	-0,5	-0,3	-0,3	-0,3
216	-6,83	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
216	-6,97	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
216	-7,10	-1,5	-1,5	-1,5	-1,8	-1,8	-1,8
216	-7,23	-1,8	-1,8	-1,8	-2,4	-2,5	-2,5
216	-7,36	-1,6	-1,6	-1,7	-2,9	-2,9	-2,9
216	-7,49	-1,5	-1,5	-1,5	-3,3	-3,3	-3,3
216	-7,63	0,0	0,0	0,0	-2,3	-2,3	-2,3
216	-7,76	1,5	1,4	1,4	-1,3	-1,3	-1,3
216	-7,89	5,1	5,0	5,0	3,3	3,3	3,3
216	-8,02	8,6	8,6	8,6	7,8	7,8	7,9
216	-8,15	14,3	14,3	14,4	18,1	18,2	18,3
216	-8,28	19,9	20,1	20,1	28,5	28,6	28,7
216	-8,42	24,9	25,2	25,4	43,3	43,4	43,5
216	-8,55	30,0	30,4	30,6	58,2	58,3	58,4
216	-8,68	27,3	27,9	28,2	65,5	65,6	65,6
216	-8,81	24,6	25,4	25,7	72,8	72,9	72,8
216	-8,94	2,5	3,1	3,4	41,0	40,8	40,5
216	-9,08	-19,6	-19,2	-18,9	9,2	8,8	8,1
216	-9,21	-73,5	-74,1	-74,4	-112,6	-113,5	-114,6
216	-9,34	-127,3	-128,9	-129,8	-234,4	-235,8	-237,4
216	-9,47	-214,7	-218,8	-220,9	-481,2	-483,1	-484,9
216	-9,60	-302,1	-308,6	-312,0	-727,9	-730,3	-732,4
216	-9,74	-396,1	-405,6	-410,6	-1016,8	-1018,9	-1019,8
216	-9,87	-490,1	-502,6	-509,3	-1305,8	-1307,4	-1307,2
216	-10,00	-508,5	-522,0	-529,0	-1378,0	-1377,0	-1373,0
216	-10,13	-526,9	-541,3	-548,8	-1450,2	-1446,6	-1438,8
216	-10,27	-480,5	-493,9	-500,9	-1334,4	-1327,4	-1314,8
216	-10,40	-434,1	-446,6	-453,0	-1218,7	-1208,2	-1190,8
216	-10,54	-392,2	-403,8	-409,7	-1114,7	-1101,4	-1080,4
216	-10,67	-350,4	-361,0	-366,4	-1010,6	-994,7	-969,9
216	-10,80	-313,1	-322,9	-327,8	-918,2	-900,4	-873,1
216	-10,94	-275,8	-284,8	-289,2	-825,8	-806,1	-776,2
216	-11,07	-242,9	-251,1	-255,2	-744,4	-723,7	-692,1
216	-11,21	-210,0	-217,5	-221,1	-663,0	-641,2	-608,0
216	-11,34	-181,2	-188,0	-191,2	-591,8	-569,6	-535,6
216	-11,47	-152,4	-158,5	-161,3	-520,6	-497,9	-463,2
216	-11,61	-127,4	-132,9	-135,3	-458,6	-436,1	-401,4
216	-11,74	-102,5	-107,2	-109,4	-396,6	-374,3	-339,6
216	-11,88	-81,0	-85,2	-87,1	-342,9	-321,3	-287,3
216	-12,01	-59,5	-63,2	-64,7	-289,3	-268,3	-234,9
216	-12,14	-41,2	-44,4	-45,6	-243,1	-223,1	-190,8
216	-12,28	-22,9	-25,6	-26,6	-196,8	-177,8	-146,8
216	-12,41	-7,5	-9,8	-10,5	-157,3	-139,5	-109,9
216	-12,54	7,9	6,1	5,5	-117,7	-101,1	-73,1
216	-12,68	20,6	19,1	18,8	-84,2	-68,8	-42,6
216	-12,81	33,2	32,2	32,0	-50,6	-36,6	-12,2
216	-12,95	43,4	42,7	42,7	-22,5	-9,8	12,7
216	-13,08	53,5	53,1	53,3	5,6	17,0	37,6
216	-13,21	61,3	61,2	61,5	28,8	38,9	57,6
216	-13,35	69,1	69,3	69,7	52,0	60,8	77,5
216	-13,48	74,9	75,2	75,8	70,7	78,4	93,2
216	-13,62	80,6	81,1	81,8	89,4	95,9	108,8
216	-13,75	84,4	85,1	85,9	104,1	109,6	120,7
216	-13,88	88,3	89,2	90,0	118,8	123,2	132,5
216	-14,02	90,5	91,5	92,4	129,8	133,3	141,0
216	-14,15	92,7	93,8	94,8	140,8	143,4	149,4
216	-14,29	93,4	94,6	95,6	148,4	150,2	154,8
216	-14,42	94,1	95,4	96,5	155,9	157,0	160,2
216	-14,55	93,5	94,9	95,9	160,3	160,8	162,7
216	-14,69	93,0	94,4	95,4	164,7	164,5	165,2

216	-14,82	91,2	92,7	93,7	166,0	165,4	165,1
216	-14,96	89,5	90,9	92,0	167,4	166,2	164,9
216	-15,09	86,7	88,1	89,2	165,9	164,3	162,3
216	-15,22	83,9	85,4	86,3	164,3	162,4	159,6
216	-15,36	80,3	81,6	82,6	160,1	157,9	154,6
216	-15,49	76,6	77,9	78,9	155,9	153,5	149,6
216	-15,63	72,1	73,4	74,3	149,1	146,6	142,4
216	-15,76	67,7	68,9	69,7	142,4	139,7	135,3
216	-15,89	62,6	63,7	64,5	133,4	130,6	126,2
216	-16,03	57,5	58,6	59,3	124,4	121,6	117,1
216	-16,16	51,9	52,9	53,6	113,5	110,8	106,5
216	-16,29	46,4	47,3	47,9	102,6	99,9	95,8
216	-16,43	40,6	41,4	41,9	90,4	88,0	84,2
216	-16,56	34,9	35,6	36,0	78,2	76,0	72,6
216	-16,70	29,2	29,7	30,1	65,5	63,6	60,6
216	-16,83	23,5	23,9	24,2	52,8	51,1	48,7
216	-16,96	18,1	18,5	18,7	40,7	39,4	37,4
216	-17,10	12,8	13,0	13,2	28,5	27,6	26,2
216	-17,23	8,4	8,5	8,6	18,5	17,9	17,0
216	-17,37	3,9	4,0	4,0	8,5	8,2	7,8
216	-17,50	3,9	4,0	4,0	8,5	8,2	7,8
	máx	94,1	95,4	96,5	167,4	166,2	165,2
	mín	-526,9	-541,3	-548,8	-1450,2	-1446,6	-1438,8

Tab. A2. 2 - Valores de momentos da cortina de jusante

Cortina Jusante		etapa 5	etapa 6	etapa 7	etapa 8 10 Gpa
X	Y	Moment [KNm]	Moment [KNm]	Moment [KNm]	Moment [KNm]
270	-3,00	0,0	0,3	0,5	0,4
270	-3,13	0,0	0,3	0,5	0,4
270	-3,25	0,0	0,5	0,8	0,6
270	-3,38	0,0	0,7	1,0	0,7
270	-3,50	0,0	0,6	0,9	0,7
270	-3,63	0,0	0,5	0,8	0,7
270	-3,75	0,0	0,4	0,6	0,8
270	-3,88	0,0	0,3	0,5	0,8
270	-4,00	0,0	0,2	0,3	0,5
270	-4,13	0,0	0,1	0,2	0,3
270	-4,25	0,0	0,1	0,1	0,1
270	-4,38	0,0	0,0	0,0	-0,2
270	-4,50	0,0	0,0	0,0	-0,2
270	-4,63	0,0	0,0	0,0	-0,3
270	-4,75	0,0	0,0	0,0	-0,2
270	-4,88	0,0	0,0	-0,1	-0,2
270	-5,00	0,0	0,0	-0,1	-0,2
270	-5,13	0,0	0,1	-0,1	-0,1
270	-5,25	0,0	0,1	-0,1	-0,1
270	-5,38	0,0	0,2	-0,1	-0,1
270	-5,50	0,0	0,2	-0,1	-0,1
270	-5,63	0,0	0,3	-0,1	-0,1
270	-5,75	-0,1	0,2	-0,1	-0,1
270	-5,88	-0,1	0,2	-0,1	-0,1
270	-6,00	-0,1	-0,1	0,0	0,0
270	-6,13	-0,1	-0,3	0,1	0,1
270	-6,25	0,0	-0,3	0,3	0,3
270	-6,38	0,0	-0,3	0,5	0,4
270	-6,50	0,2	-0,1	0,7	0,6
270	-6,63	0,3	0,1	0,9	0,9
270	-6,75	0,5	0,3	1,1	1,0
270	-6,88	0,7	0,6	1,3	1,2
270	-7,00	0,9	0,8	1,1	1,2
270	-7,13	1,1	1,0	1,0	1,1
270	-7,25	1,0	0,9	0,3	0,6
270	-7,38	1,0	0,8	-0,5	0,0
270	-7,50	0,3	0,1	-2,0	-1,3
270	-7,63	-0,3	-0,6	-3,6	-2,6
270	-7,75	-1,9	-2,2	-5,6	-4,7
270	-7,88	-3,6	-3,9	-7,7	-6,8
270	-8,00	-6,1	-6,2	-9,2	-9,1
270	-8,13	-8,7	-8,4	-10,6	-11,4
270	-8,25	-11,1	-10,1	-9,6	-12,8
270	-8,38	-13,5	-11,7	-8,6	-14,2
270	-8,50	-13,4	-10,2	-3,4	-13,0
270	-8,63	-13,2	-8,7	1,7	-11,9
270	-8,75	-7,1	-1,5	9,6	-6,7
270	-8,88	-0,9	5,6	17,4	-1,5
270	-9,00	13,4	17,8	25,1	13,1
270	-9,13	27,8	30,0	32,9	27,8
270	-9,25	48,3	40,4	35,1	59,7
270	-9,38	68,8	50,9	37,2	91,6
270	-9,50	88,8	49,6	22,1	138,3
270	-9,63	108,7	48,3	6,9	184,9
270	-9,75	125,4	40,0	-19,3	229,3
270	-9,88	142,1	31,7	-45,6	273,8
270	-10,00	144,0	26,7	-60,4	274,2

270	-10,13	145,9	21,7	-75,1	274,7
270	-10,27	134,4	18,9	-78,1	240,9
270	-10,40	122,9	16,1	-81,0	207,1
270	-10,54	112,9	14,2	-81,1	179,2
270	-10,67	102,8	12,2	-81,1	151,2
270	-10,80	94,0	10,9	-79,4	127,9
270	-10,94	85,2	9,6	-77,7	104,5
270	-11,07	77,5	8,7	-75,1	85,0
270	-11,21	69,9	7,8	-72,4	65,5
270	-11,34	63,2	7,3	-69,0	49,4
270	-11,47	56,6	6,8	-65,7	33,2
270	-11,61	50,9	6,5	-61,8	20,2
270	-11,74	45,2	6,3	-57,8	7,1
270	-11,88	40,3	6,3	-53,6	-3,4
270	-12,01	35,5	6,3	-49,3	-13,8
270	-12,14	31,3	6,3	-45,2	-22,1
270	-12,28	27,2	6,4	-41,1	-30,4
270	-12,41	23,7	6,6	-37,2	-36,9
270	-12,54	20,2	6,7	-33,3	-43,3
270	-12,68	17,4	6,9	-29,5	-48,1
270	-12,81	14,5	7,1	-25,8	-52,9
270	-12,95	12,1	7,3	-22,2	-56,2
270	-13,08	9,7	7,6	-18,6	-59,4
270	-13,21	7,8	7,9	-15,3	-61,4
270	-13,35	5,9	8,1	-12,0	-63,4
270	-13,48	4,4	8,4	-9,0	-64,3
270	-13,62	2,9	8,6	-6,0	-65,2
270	-13,75	1,8	8,8	-3,3	-65,2
270	-13,88	0,6	9,0	-0,7	-65,2
270	-14,02	-0,3	9,1	1,6	-64,5
270	-14,15	-1,2	9,3	3,8	-63,8
270	-14,29	-1,9	9,3	5,6	-62,4
270	-14,42	-2,5	9,3	7,4	-61,1
270	-14,55	-2,9	9,3	8,7	-59,2
270	-14,69	-3,4	9,2	10,0	-57,4
270	-14,82	-3,7	9,0	10,9	-55,2
270	-14,96	-4,0	8,9	11,8	-53,0
270	-15,09	-4,0	8,7	12,4	-50,4
270	-15,22	-4,1	8,5	12,9	-47,7
270	-15,36	-3,9	8,3	13,2	-44,7
270	-15,49	-3,7	8,1	13,5	-41,7
270	-15,63	-3,4	7,9	13,4	-38,6
270	-15,76	-3,2	7,6	13,4	-35,4
270	-15,89	-3,0	7,1	12,9	-32,3
270	-16,03	-2,8	6,6	12,4	-29,2
270	-16,16	-2,5	6,2	11,7	-26,0
270	-16,29	-2,1	5,8	11,1	-22,7
270	-16,43	-1,6	5,4	10,3	-19,4
270	-16,56	-1,2	5,0	9,5	-16,2
270	-16,70	-0,7	4,6	8,6	-13,0
270	-16,83	-0,3	4,1	7,7	-9,9
270	-16,96	-0,2	3,3	6,1	-7,6
270	-17,10	-0,2	2,4	4,6	-5,3
270	-17,23	-0,3	1,4	2,9	-3,6
270	-17,37	-0,4	0,5	1,2	-2,0
270	-17,50	-0,4	0,5	1,2	-2,0
	máx	145,9	50,9	37,2	274,7
	mín	-13,5	-11,7	-81,1	-65,2

Tab. A2. 3 - Valores de momentos da cortina de estacas

cortina de estacas		5GPa	10 Gpa	20 Gpa
X	Y	Moment [MNm]	Moment [KNm]	Moment [KNm]
215,8	-0,50	-79,8	-111,8	-157,0
215,8	-0,63	-79,8	-111,8	-147,3
215,8	-0,76	-62,6	-91,3	-122,8
215,8	-0,90	-45,5	-70,7	-98,4
215,8	-1,03	-32,6	-54,5	-78,3
215,8	-1,16	-19,8	-38,2	-58,2
215,8	-1,29	-10,7	-25,8	-42,1
215,8	-1,42	-1,6	-13,4	-25,9
215,8	-1,55	4,4	-4,4	-13,3
215,8	-1,69	10,4	4,7	-0,6
215,8	-1,82	13,9	10,9	8,9
215,8	-1,95	17,4	17,2	18,5
215,8	-2,08	19,1	21,2	25,5
215,8	-2,21	20,8	25,2	32,5
215,8	-2,34	21,2	27,4	37,3
215,8	-2,48	21,5	29,6	42,2
215,8	-2,61	21,0	30,5	45,3
215,8	-2,74	20,5	31,3	48,3
215,8	-2,87	19,5	31,3	50,0
215,8	-3,00	18,4	31,2	51,7
215,8	-3,13	17,1	30,5	52,3
215,8	-3,27	15,8	29,7	52,9
215,8	-3,40	14,4	28,6	52,7
215,8	-3,53	13,0	27,6	52,5
215,8	-3,66	11,7	26,3	51,6
215,8	-3,79	10,4	25,0	50,8
215,8	-3,92	9,2	23,7	49,5
215,8	-4,06	8,1	22,4	48,2
215,8	-4,19	7,1	21,1	46,6
215,8	-4,32	6,2	19,8	45,0
215,8	-4,45	5,5	18,7	43,1
215,8	-4,58	4,8	17,5	41,2
215,8	-4,71	4,3	16,5	39,0
215,8	-4,85	3,8	15,5	36,9
215,8	-4,98	3,5	14,6	34,4
215,8	-5,11	3,3	13,8	32,0
215,8	-5,24	3,1	12,9	29,2
215,8	-5,37	3,0	12,1	26,5
215,8	-5,50	3,0	11,3	23,3
215,8	-5,64	3,0	10,5	20,1
215,8	-5,77	3,1	9,5	16,4
215,8	-5,90	3,1	8,6	12,7
215,8	-6,03	3,2	7,5	8,3
215,8	-6,16	3,2	6,3	3,9
215,8	-6,29	3,1	4,8	-1,3
215,8	-6,43	3,1	3,3	-6,5
215,8	-6,56	2,8	1,3	-12,7
215,8	-6,69	2,5	-0,7	-18,9
215,8	-6,82	1,9	-3,4	-26,2
215,8	-6,95	1,3	-6,1	-33,5
215,8	-7,08	0,3	-9,6	-42,1
215,8	-7,22	-0,8	-13,1	-50,7
215,8	-7,35	-2,4	-17,6	-60,6
215,8	-7,48	-4,1	-22,1	-70,5
215,8	-7,61	-6,5	-27,8	-81,9
215,8	-7,74	-8,8	-33,4	-93,3
215,8	-7,88	-12,1	-40,2	-106,1

215,8	-8,01	-15,3	-47,1	-119,0
215,8	-8,14	-19,6	-55,2	-133,2
215,8	-8,27	-23,8	-63,4	-147,3
215,8	-8,40	-29,1	-72,7	-162,7
215,8	-8,53	-34,3	-82,1	-178,1
215,8	-8,67	-40,6	-92,6	-194,3
215,8	-8,80	-46,9	-103,0	-210,6
215,8	-8,93	-54,1	-114,2	-227,2
215,8	-9,06	-61,2	-125,5	-243,8
215,8	-9,19	-68,9	-137,0	-260,1
215,8	-9,32	-76,6	-148,5	-276,4
215,8	-9,46	-84,3	-159,6	-291,5
215,8	-9,59	-92,0	-170,7	-306,6
215,8	-9,72	-98,9	-180,4	-319,3
215,8	-9,85	-105,8	-190,0	-332,0
215,8	-9,98	-110,7	-196,9	-340,9
215,8	-10,11	-115,6	-203,8	-349,8
215,8	-10,25	-118,1	-207,4	-354,2
215,8	-10,38	-120,6	-211,0	-358,7
215,8	-10,51	-120,9	-211,5	-358,8
215,8	-10,64	-121,2	-212,0	-359,0
215,8	-10,77	-119,4	-209,6	-355,0
215,8	-10,90	-117,6	-207,1	-351,0
215,8	-11,04	-114,2	-202,1	-343,4
215,8	-11,17	-110,7	-197,0	-335,7
215,8	-11,30	-105,9	-189,9	-324,9
215,8	-11,43	-101,1	-182,8	-314,2
215,8	-11,56	-95,5	-174,1	-301,0
215,8	-11,69	-89,8	-165,5	-287,8
215,8	-11,83	-83,7	-155,8	-272,7
215,8	-11,96	-77,5	-146,1	-257,7
215,8	-12,09	-71,2	-135,8	-241,5
215,8	-12,22	-64,9	-125,6	-225,3
215,8	-12,35	-58,7	-115,1	-208,5
215,8	-12,48	-52,6	-104,7	-191,6
215,8	-12,62	-46,7	-94,5	-174,6
215,8	-12,75	-40,8	-84,2	-157,6
215,8	-12,88	-35,4	-74,4	-140,8
215,8	-13,01	-30,0	-64,5	-123,9
215,8	-13,14	-25,1	-55,3	-107,6
215,8	-13,27	-20,3	-46,0	-91,2
215,8	-13,41	-15,9	-37,3	-75,5
215,8	-13,54	-11,6	-28,7	-59,8
215,8	-13,67	-7,8	-20,7	-44,9
215,8	-13,80	-4,0	-12,7	-30,0
215,8	-13,93	-0,6	-5,4	-15,8
215,8	-14,06	2,8	2,0	-1,7
215,8	-14,20	5,8	8,8	11,7
215,8	-14,33	8,8	15,6	25,1
215,8	-14,46	11,6	22,0	37,8
215,8	-14,59	14,4	28,4	50,5
215,8	-14,72	17,2	34,6	62,6
215,8	-14,85	19,9	40,7	74,8
215,8	-14,99	22,7	46,7	86,5
215,8	-15,12	25,5	52,8	98,2
215,8	-15,25	28,5	58,8	109,5
215,8	-15,38	31,6	64,9	120,9
215,8	-15,51	34,9	71,1	132,1
215,8	-15,65	38,3	77,4	143,3
215,8	-15,78	42,2	83,8	154,3
215,8	-15,91	46,0	90,3	165,4

215,8	-16,04	50,3	97,0	176,3
215,8	-16,17	54,6	103,7	187,2
215,8	-16,30	59,3	110,6	197,9
215,8	-16,44	63,9	117,4	208,5
215,8	-16,57	68,7	124,1	218,7
215,8	-16,70	73,5	130,9	228,9
215,8	-16,83	78,1	137,1	238,2
215,8	-16,96	82,6	143,3	247,6
215,8	-17,09	86,2	148,3	255,5
215,8	-17,23	89,8	153,4	263,4
215,8	-17,36	91,5	156,4	269,2
215,8	-17,49	93,2	159,4	274,9
215,8	-17,62	92,3	159,7	277,9
215,8	-17,75	91,4	160,0	280,9
215,8	-17,88	89,5	159,1	282,4
215,8	-18,02	87,6	158,3	284,0
215,8	-18,15	86,1	157,6	285,3
215,8	-18,28	84,6	156,8	286,7
215,8	-18,41	83,0	155,9	287,5
215,8	-18,54	81,4	154,9	288,4
215,8	-18,67	79,8	153,8	288,8
215,8	-18,81	78,3	152,7	289,3
215,8	-18,94	76,8	151,6	289,5
215,8	-19,07	75,4	150,4	289,7
215,8	-19,20	74,0	149,3	289,7
215,8	-19,33	72,6	148,1	289,6
215,8	-19,46	71,4	147,0	289,4
215,8	-19,60	70,2	145,9	289,2
215,8	-19,73	69,1	144,8	288,8
215,8	-19,86	68,0	143,8	288,5
215,8	-19,99	67,0	142,9	288,1
215,8	-20,12	66,1	141,9	287,6
215,8	-20,25	65,3	141,1	287,1
215,8	-20,39	64,5	140,3	286,7
215,8	-20,52	63,9	139,6	286,1
215,8	-20,65	63,2	138,9	285,6
215,8	-20,78	62,7	138,3	285,0
215,8	-20,91	62,2	137,7	284,4
215,8	-21,04	61,9	137,3	283,8
215,8	-21,18	61,5	136,9	283,2
215,8	-21,31	61,3	136,6	282,6
215,8	-21,44	61,1	136,3	281,9
215,8	-21,57	61,1	136,1	281,3
215,8	-21,70	61,0	136,0	280,6
215,8	-21,83	61,1	135,9	279,9
215,8	-21,97	61,2	135,9	279,2
215,8	-22,10	61,4	136,0	278,5
215,8	-22,23	61,7	136,1	277,7
215,8	-22,36	62,0	136,3	276,9
215,8	-22,49	62,4	136,5	276,0
215,8	-22,63	62,8	136,8	275,1
215,8	-22,76	63,3	137,0	274,1
215,8	-22,89	63,9	137,4	273,0
215,8	-23,02	64,5	137,7	271,9
215,8	-23,15	65,2	138,1	270,6
215,8	-23,28	65,8	138,5	269,3
215,8	-23,42	66,6	138,8	267,8
215,8	-23,55	67,4	139,2	266,2
215,8	-23,68	68,2	139,5	264,4
215,8	-23,81	69,0	139,8	262,5
215,8	-23,94	69,9	139,9	260,3

215,8	-24,07	70,8	140,1	258,1
215,8	-24,21	71,6	140,2	255,4
215,8	-24,34	72,5	140,2	252,7
215,8	-24,47	73,4	140,0	249,5
215,8	-24,60	74,2	139,9	246,3
215,8	-24,73	75,0	139,4	242,5
215,8	-24,86	75,8	138,9	238,7
215,8	-25,00	76,5	138,0	234,1
215,8	-25,13	77,2	137,2	229,6
215,8	-25,26	77,7	135,8	224,2
215,8	-25,39	78,1	134,5	218,8
215,8	-25,52	78,3	132,5	212,5
215,8	-25,65	78,5	130,6	206,2
215,8	-25,79	78,4	128,0	198,8
215,8	-25,92	78,3	125,3	191,4
215,8	-26,05	77,7	121,9	182,8
215,8	-26,18	77,1	118,4	174,2
215,8	-26,31	75,9	113,9	164,2
215,8	-26,44	74,7	109,5	154,3
215,8	-26,58	72,8	103,9	142,9
215,8	-26,71	70,9	98,3	131,4
215,8	-26,84	68,1	91,4	118,4
215,8	-26,97	65,3	84,6	105,3
215,8	-27,10	61,5	76,2	90,4
215,8	-27,23	57,7	67,9	75,6
215,8	-27,37	52,6	57,9	58,8
215,8	-27,50	47,6	47,9	42,0
215,8	-27,63	41,0	36,0	23,0
215,8	-27,76	34,4	24,1	4,1
215,8	-27,89	26,2	10,2	-17,1
215,8	-28,02	17,9	-3,7	-38,3
215,8	-28,16	7,7	-19,9	-61,9
215,8	-28,29	-2,6	-36,1	-85,5
215,8	-28,42	-15,1	-54,8	-111,7
215,8	-28,55	-27,7	-73,6	-137,9
215,8	-28,68	-42,7	-94,9	-166,8
215,8	-28,81	-57,7	-116,3	-195,7
215,8	-28,95	-75,5	-140,5	-227,3
215,8	-29,08	-93,3	-164,7	-259,0
215,8	-29,21	-114,1	-191,8	-293,4
215,8	-29,34	-134,8	-218,9	-327,8
215,8	-29,47	-158,6	-248,9	-364,9
215,8	-29,60	-182,4	-278,9	-401,9
215,8	-29,74	-209,0	-311,4	-441,4
215,8	-29,87	-235,6	-344,0	-480,8
215,8	-30,00	-245,8	-359,2	-501,4
215,8	-30,13	-256,1	-374,3	-522,1
215,8	-30,25	-240,6	-360,2	-509,8
215,8	-30,38	-225,0	-346,2	-497,4
215,8	-30,50	-200,3	-318,0	-465,7
215,8	-30,63	-175,5	-289,8	-433,9
215,8	-30,75	-150,7	-257,3	-392,8
215,8	-30,88	-125,9	-224,8	-351,7
215,8	-31,00	-104,5	-192,9	-307,4
215,8	-31,13	-83,2	-161,0	-263,1
215,8	-31,25	-66,6	-132,8	-220,2
215,8	-31,38	-50,1	-104,6	-177,2
215,8	-31,50	-37,6	-80,1	-137,3
215,8	-31,63	-25,1	-55,7	-97,3
215,8	-31,75	-16,1	-36,1	-63,4
215,8	-31,88	-7,0	-16,4	-29,4

215,8	-32,00	-7,0	-16,4	-29,4
-------	--------	------	-------	-------

Tab. A2. 4 - Valores de esforços transversos da cortina de montante

Cortina Montante		etapa 5	etapa 6	etapa 7	etapa 8 5 Gpa	etapa 8 10 Gpa	etapa 8 20 Gpa
X	Y	Shear Force [KN]	Shear Force [KN]	Shear Force [KN]	Shear Force [MN]	Shear Force [MN]	Shear Force [MN]
216	-0,06	-0,2	-0,2	-0,2	67,2	80,8	90,4
216	-0,19	-0,2	-0,2	-0,2	66,6	80,7	90,0
216	-0,31	0,0	0,0	0,0	64,6	78,9	87,1
216	-0,44	-0,1	-0,1	-0,1	47,9	60,7	65,9
216	-0,63	0,2	0,3	0,3	159,1	187,9	213,2
216	-0,90	-0,2	-0,2	-0,2	72,6	85,6	96,3
216	-1,16	0,3	0,3	0,3	8,5	10,8	12,3
216	-1,42	-0,3	-0,3	-0,3	-7,5	-9,1	-10,7
216	-1,69	0,4	0,4	0,4	-12,1	-13,8	-15,4
216	-1,95	-0,4	-0,4	-0,4	-2,7	-3,6	-4,3
216	-2,22	0,4	0,4	0,4	-3,1	-3,3	-3,4
216	-2,48	-0,4	-0,4	-0,4	2,4	2,5	2,6
216	-2,74	0,5	0,5	0,5	-1,3	-1,2	-1,1
216	-3,01	-0,5	-0,5	-0,5	2,1	2,2	2,2
216	-3,27	0,5	0,5	0,5	-1,7	-1,6	-1,6
216	-3,53	-0,5	-0,5	-0,6	1,7	1,7	1,7
216	-3,80	0,6	0,6	0,6	-1,6	-1,6	-1,7
216	-4,06	-0,6	-0,6	-0,6	1,5	1,5	1,5
216	-4,33	0,6	0,6	0,7	-1,5	-1,5	-1,5
216	-4,59	-0,6	-0,7	-0,7	1,4	1,4	1,4
216	-4,85	0,7	0,7	0,7	-1,3	-1,3	-1,3
216	-5,12	-0,8	-0,8	-0,8	1,2	1,2	1,2
216	-5,38	0,6	0,6	0,6	-1,3	-1,3	-1,3
216	-5,65	-0,9	-0,9	-1,0	0,9	0,9	0,9
216	-5,91	0,7	0,7	0,7	-1,3	-1,3	-1,3
216	-6,17	-0,6	-0,6	-0,6	1,0	1,0	1,0
216	-6,44	1,9	1,9	1,9	-0,2	-0,2	-0,2
216	-6,70	1,3	1,3	1,3	3,0	3,0	3,0
216	-6,97	3,9	3,9	4,0	3,5	3,5	3,5
216	-7,23	0,8	0,9	0,9	6,0	6,0	6,0
216	-7,49	-3,4	-3,3	-3,3	0,4	0,4	0,4
216	-7,76	-18,8	-18,8	-18,8	-15,5	-15,5	-15,6
216	-8,02	-35,6	-35,8	-35,9	-53,5	-53,7	-53,9
216	-8,28	-49,9	-50,7	-51,2	-103,1	-103,4	-103,6
216	-8,55	-26,2	-27,6	-28,4	-121,8	-121,9	-121,8
216	-8,81	66,7	65,8	65,3	10,5	11,3	12,5
216	-9,08	268,6	271,6	273,3	472,1	474,8	477,9
216	-9,34	547,7	560,3	566,9	1374,0	1378,7	1382,8
216	-9,60	776,7	801,2	814,2	2366,0	2369,2	2368,8
216	-9,87	648,0	669,4	680,5	2014,0	2004,7	1987,4
216	-10,13	-363,2	-370,6	-374,9	-906,3	-935,7	-975,2
216	-10,40	-329,7	-336,7	-340,7	-821,6	-844,8	-876,3
216	-10,67	-295,5	-302,0	-305,7	-732,6	-749,5	-772,9
216	-10,94	-261,4	-267,4	-270,8	-647,3	-658,2	-673,9
216	-11,21	-229,6	-235,1	-238,1	-567,9	-573,3	-582,0
216	-11,47	-200,6	-205,5	-208,3	-495,9	-496,5	-499,0
216	-11,74	-172,5	-176,9	-179,4	-429,7	-426,4	-423,6
216	-12,01	-148,2	-152,1	-154,3	-371,5	-365,2	-358,2
216	-12,28	-125,2	-128,7	-130,5	-318,8	-310,4	-300,1
216	-12,54	-104,5	-107,5	-109,1	-271,8	-262,3	-249,8
216	-12,81	-84,9	-87,5	-88,9	-229,3	-219,3	-205,3
216	-13,08	-66,6	-68,8	-69,9	-190,6	-180,8	-166,2
216	-13,35	-50,0	-51,8	-52,7	-155,6	-146,4	-131,9

216	-13,62	-35,3	-36,8	-37,5	-124,1	-115,7	-101,8
216	-13,88	-22,2	-23,3	-23,8	-95,3	-88,0	-75,1
216	-14,15	-10,6	-11,4	-11,7	-68,9	-62,7	-51,1
216	-14,42	-0,2	-0,7	-0,9	-44,2	-39,1	-29,1
216	-14,69	8,8	8,6	8,5	-21,2	-17,0	-8,7
216	-14,96	17,1	17,1	17,2	1,1	4,3	10,8
216	-15,22	24,4	24,6	24,8	21,9	24,2	29,0
216	-15,49	30,4	30,8	31,1	41,2	42,7	45,6
216	-15,76	36,0	36,5	36,9	59,5	60,2	61,3
216	-16,03	40,1	40,7	41,2	75,1	75,0	74,4
216	-16,29	42,9	43,6	44,1	87,5	86,5	84,5
216	-16,56	43,0	43,8	44,4	94,2	92,3	89,1
216	-16,83	42,5	43,3	43,8	95,7	93,2	89,2
216	-17,10	37,1	37,9	38,4	85,5	82,8	78,7
216	-17,37	29,2	29,7	30,1	63,8	61,6	58,5

Tab. A2. 5 - Valores de esforços transversos da cortina de jusante

Cortina Jusante		etapa 5	etapa 6	etapa 7	etapa 8 10 Gpa
X	Y	Shear Force [KN]	Shear Force [KN]	Shear Force [KN]	Shear Force [KN]
270	-3,13	0,0	-2,7	-4,0	-3,4
270	-3,38	-0,1	0,0	0,1	0,9
270	-3,63	0,1	0,9	1,4	-0,9
270	-3,88	-0,1	0,9	1,4	0,7
270	-4,13	0,2	0,6	0,8	2,8
270	-4,38	-0,2	0,3	0,4	1,1
270	-4,63	0,3	0,0	0,1	-0,2
270	-4,88	-0,3	-0,2	0,1	-0,4
270	-5,13	0,4	-0,4	0,1	-0,2
270	-5,38	-0,3	-0,5	0,2	0,0
270	-5,63	0,6	-0,3	0,0	0,1
270	-5,88	-0,4	1,3	-0,5	-0,3
270	-6,13	0,4	2,4	-1,2	-1,0
270	-6,38	-1,2	-2,3	-1,7	-1,6
270	-6,63	-0,7	-0,9	-1,9	-1,9
270	-6,88	-2,5	-3,4	-0,7	-1,1
270	-7,13	-0,5	0,2	2,8	1,8
270	-7,38	1,1	1,3	9,0	7,1
270	-7,63	9,2	10,3	15,7	14,0
270	-7,88	16,6	15,7	17,4	19,2
270	-8,13	24,3	20,8	6,2	17,7
270	-8,38	14,7	5,2	-22,8	4,4
270	-8,63	-17,2	-29,6	-59,4	-22,6
270	-8,88	-81,3	-84,6	-66,6	-60,5
270	-9,13	-148,4	-110,1	-56,8	-173,7
270	-9,38	-179,7	-57,3	21,6	-337,2
270	-9,63	-139,4	78,3	220,9	-408,8
270	-9,88	-127,5	54,0	199,2	-302,5
270	-10,13	90,6	24,2	34,9	275,6
270	-10,40	80,5	17,6	8,9	228,8
270	-10,67	69,9	11,6	-8,4	189,1
270	-10,94	61,3	8,1	-16,7	159,1
270	-11,21	53,3	5,1	-23,2	132,1
270	-11,47	45,7	2,8	-26,5	109,1
270	-11,74	39,5	0,7	-32,2	86,2
270	-12,01	33,4	-0,4	-31,3	69,5
270	-12,28	28,4	-0,8	-30,1	54,8
270	-12,54	23,3	-1,4	-28,3	41,5
270	-12,81	19,9	-1,6	-27,9	29,6
270	-13,08	15,7	-2,0	-25,5	19,3
270	-13,35	12,5	-2,0	-23,7	10,5
270	-13,62	9,9	-1,8	-21,3	3,1
270	-13,88	7,6	-1,3	-18,5	-3,2
270	-14,15	6,0	-0,4	-14,9	-7,6
270	-14,42	3,5	-0,2	-11,7	-12,5
270	-14,69	3,3	1,3	-8,0	-14,6
270	-14,96	1,0	1,2	-5,4	-18,5
270	-15,22	-0,3	1,6	-2,9	-20,9
270	-15,49	-2,4	1,1	-1,2	-23,9
270	-15,76	-1,5	2,9	2,0	-23,3
270	-16,03	-1,1	4,3	5,4	-22,7
270	-16,29	-4,5	1,8	4,2	-26,2
270	-16,56	-2,2	4,3	7,6	-22,6
270	-16,83	-4,7	2,0	6,2	-24,1
270	-17,10	4,1	10,8	16,3	-10,3
270	-17,37	-2,8	3,6	9,2	-14,6

Tab. A2. 6 - Valores de esforços transversos da cortina de estacas

Cortina de Estacas		5GPa	10 Gpa	20 Gpa
X	Y	Shear Force [MN]	Shear Force [MN]	Shear Force [MN]
215,8	-0,63	-147,7	-173,3	-202,6
215,8	-0,90	-112,9	-139,0	-168,4
215,8	-1,16	-82,1	-107,8	-136,8
215,8	-1,42	-56,0	-80,4	-108,4
215,8	-1,69	-35,0	-57,1	-83,5
215,8	-1,95	-18,8	-37,9	-62,1
215,8	-2,21	-6,9	-22,6	-44,1
215,8	-2,48	1,3	-10,9	-29,3
215,8	-2,74	6,6	-2,4	-17,4
215,8	-3,00	9,4	3,6	-8,1
215,8	-3,27	10,6	7,3	-1,0
215,8	-3,53	10,4	9,4	4,4
215,8	-3,79	9,4	10,1	8,3
215,8	-4,06	8,0	9,9	11,2
215,8	-4,32	6,3	9,2	13,5
215,8	-4,58	4,5	8,2	15,4
215,8	-4,85	2,8	7,1	17,4
215,8	-5,11	1,4	6,4	19,6
215,8	-5,37	0,3	6,1	22,4
215,8	-5,64	-0,3	6,4	26,0
215,8	-5,90	-0,5	7,6	30,5
215,8	-6,16	0,0	9,8	36,1
215,8	-6,43	1,1	13,1	43,0
215,8	-6,69	3,1	17,5	50,9
215,8	-6,95	6,0	23,2	60,1
215,8	-7,22	10,0	30,2	70,1
215,8	-7,48	15,0	38,2	80,9
215,8	-7,74	21,1	47,3	92,0
215,8	-8,01	28,2	56,9	102,8
215,8	-8,27	36,0	66,6	112,8
215,8	-8,53	44,0	75,7	120,8
215,8	-8,80	51,4	83,1	125,8
215,8	-9,06	57,2	87,5	126,5
215,8	-9,32	59,8	87,5	121,2
215,8	-9,59	57,3	80,9	108,0
215,8	-9,85	47,3	65,6	84,9
215,8	-10,11	27,1	39,0	49,8
215,8	-10,38	10,7	15,8	17,7
215,8	-10,64	-6,2	-8,0	-15,2
215,8	-10,90	-20,7	-29,3	-45,2
215,8	-11,17	-32,2	-47,1	-71,1
215,8	-11,43	-40,4	-60,9	-92,3
215,8	-11,69	-45,5	-70,6	-108,4
215,8	-11,96	-47,9	-76,6	-119,7
215,8	-12,22	-47,8	-79,2	-126,4
215,8	-12,48	-46,0	-79,0	-129,4
215,8	-12,75	-42,9	-76,7	-129,1
215,8	-13,01	-39,1	-72,9	-126,4
215,8	-13,27	-35,0	-68,1	-121,9
215,8	-13,54	-30,8	-63,0	-116,4
215,8	-13,80	-27,1	-58,1	-110,4
215,8	-14,06	-24,1	-53,6	-104,4
215,8	-14,33	-21,9	-49,9	-98,8
215,8	-14,59	-20,7	-47,4	-94,1
215,8	-14,85	-20,7	-45,9	-90,2
215,8	-15,12	-21,9	-45,7	-87,4
215,8	-15,38	-24,1	-46,5	-85,5

215,8	-15,65	-27,3	-48,1	-84,3
215,8	-15,91	-30,9	-50,1	-83,4
215,8	-16,17	-34,3	-51,7	-82,1
215,8	-16,44	-36,6	-52,1	-79,7
215,8	-16,70	-36,5	-50,1	-75,0
215,8	-16,96	-32,4	-44,2	-66,9
215,8	-17,23	-22,1	-32,4	-53,5
215,8	-17,49	-4,0	-13,6	-34,0
215,8	-17,75	18,2	9,0	-11,1
215,8	-18,02	10,7	4,2	-12,4
215,8	-18,28	11,9	6,7	-8,0
215,8	-18,54	12,2	8,2	-4,7
215,8	-18,81	11,2	8,4	-2,6
215,8	-19,07	10,9	8,9	-0,3
215,8	-19,33	9,8	8,6	1,0
215,8	-19,60	9,0	8,3	2,3
215,8	-19,86	7,7	7,5	2,9
215,8	-20,12	6,6	6,8	3,6
215,8	-20,39	5,4	5,7	3,9
215,8	-20,65	4,4	4,9	4,3
215,8	-20,91	3,2	3,9	4,5
215,8	-21,18	2,0	2,7	4,7
215,8	-21,44	1,0	1,7	4,9
215,8	-21,70	-0,1	0,7	5,1
215,8	-21,97	-1,2	-0,3	5,5
215,8	-22,23	-2,3	-1,2	5,9
215,8	-22,49	-3,1	-1,8	6,8
215,8	-22,76	-4,0	-2,4	7,7
215,8	-23,02	-4,8	-2,7	9,0
215,8	-23,28	-5,6	-2,9	10,6
215,8	-23,55	-6,0	-2,5	12,9
215,8	-23,81	-6,5	-2,0	15,3
215,8	-24,07	-6,7	-1,0	18,5
215,8	-24,34	-6,8	0,3	22,1
215,8	-24,60	-6,3	2,4	26,5
215,8	-24,86	-5,7	5,0	31,6
215,8	-25,13	-4,6	8,1	37,3
215,8	-25,39	-2,6	12,4	44,4
215,8	-25,65	-0,5	17,0	51,7
215,8	-25,92	2,7	23,0	60,5
215,8	-26,18	6,4	29,6	70,0
215,8	-26,44	11,6	37,9	81,0
215,8	-26,71	17,5	47,0	92,7
215,8	-26,97	24,7	57,5	105,8
215,8	-27,23	33,2	69,1	119,7
215,8	-27,50	43,9	82,8	135,5
215,8	-27,76	55,8	97,6	152,0
215,8	-28,02	69,6	113,8	169,7
215,8	-28,29	86,4	132,6	189,2
215,8	-28,55	103,7	151,5	208,6
215,8	-28,81	124,7	173,1	230,0
215,8	-29,08	145,8	194,4	250,6
215,8	-29,34	169,3	217,1	271,9
215,8	-29,60	191,9	238,3	291,2
215,8	-29,87	212,0	256,6	307,4
215,8	-30,13	-59,6	-28,1	6,7
215,8	-30,38	-188,8	-197,1	-204,2
215,8	-30,63	-207,5	-254,1	-304,1
215,8	-30,88	-189,4	-266,0	-353,8
215,8	-31,13	-152,2	-243,7	-355,0
215,8	-31,38	-112,1	-208,1	-331,5

215,8	-31,63	-88,1	-182,6	-307,8
215,8	-31,88	-56,3	-131,6	-235,4

Tab. A2. 7 - Valores dos deslocamentos da cortina de montante

Cortina Montante		etapa 5	etapa 6	etapa 7	etapa 8 5 Gpa	etapa 8 10 Gpa	etapa 8 20 Gpa
X	Y	Displacement [mm]	Displacement [mm]	Displacement [mm]	Displacement [mm]	Displacement [mm]	Displacement [mm]
216	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,09	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,26	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,35	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,44	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,53	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,62	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,79	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-0,97	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,06	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,41	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,49	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,58	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,67	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,76	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-1,93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,02	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,37	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,46	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,55	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,64	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,73	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,81	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-2,99	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,34	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,43	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,52	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,61	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,69	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,78	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,87	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-3,96	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,31	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,40	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,48	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

216	-4,57	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,66	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,84	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-4,92	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,36	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,54	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,63	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,72	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,89	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-5,98	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,07	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,42	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,51	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,60	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,68	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,77	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,86	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-6,95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,04	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,39	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,47	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,56	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,65	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,74	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,83	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-7,91	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,09	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,35	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,44	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,53	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,62	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,71	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,79	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-8,97	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,06	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,41	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,59	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,67	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,76	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-9,85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

216	-9,94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
216	-10,03	0,004	0,005	0,005	0,020	0,021	0,021
216	-10,11	0,020	0,021	0,022	0,092	0,093	0,093
216	-10,20	0,035	0,037	0,039	0,163	0,165	0,165
216	-10,29	0,050	0,053	0,055	0,233	0,234	0,235
216	-10,38	0,063	0,067	0,070	0,294	0,296	0,296
216	-10,46	0,076	0,082	0,084	0,356	0,357	0,358
216	-10,55	0,091	0,097	0,100	0,423	0,424	0,424
216	-10,64	0,110	0,118	0,122	0,513	0,514	0,513
216	-10,73	0,129	0,138	0,143	0,603	0,603	0,601
216	-10,82	0,149	0,159	0,165	0,695	0,695	0,692
216	-10,90	0,171	0,183	0,189	0,799	0,797	0,793
216	-10,99	0,193	0,206	0,214	0,903	0,900	0,894
216	-11,08	0,215	0,230	0,238	1,008	1,005	0,997
216	-11,17	0,240	0,257	0,266	1,126	1,121	1,111
216	-11,26	0,265	0,284	0,294	1,244	1,238	1,225
216	-11,34	0,290	0,310	0,321	1,362	1,355	1,339
216	-11,43	0,316	0,339	0,351	1,491	1,481	1,463
216	-11,52	0,343	0,368	0,381	1,620	1,608	1,586
216	-11,61	0,370	0,397	0,411	1,749	1,735	1,710
216	-11,70	0,398	0,428	0,443	1,887	1,870	1,841
216	-11,78	0,427	0,458	0,474	2,025	2,005	1,971
216	-11,87	0,455	0,489	0,506	2,162	2,140	2,102
216	-11,96	0,485	0,520	0,539	2,307	2,282	2,238
216	-12,05	0,514	0,552	0,571	2,452	2,423	2,375
216	-12,14	0,543	0,584	0,604	2,597	2,565	2,511
216	-12,22	0,573	0,616	0,638	2,746	2,711	2,651
216	-12,31	0,603	0,648	0,671	2,897	2,858	2,792
216	-12,40	0,633	0,681	0,705	3,047	3,004	2,932
216	-12,49	0,664	0,713	0,739	3,201	3,154	3,075
216	-12,58	0,694	0,746	0,773	3,355	3,304	3,218
216	-12,66	0,724	0,779	0,807	3,509	3,454	3,362
216	-12,75	0,755	0,811	0,840	3,666	3,606	3,506
216	-12,84	0,785	0,844	0,874	3,823	3,759	3,651
216	-12,93	0,815	0,877	0,908	3,980	3,911	3,796
216	-13,02	0,845	0,909	0,942	4,139	4,065	3,942
216	-13,10	0,875	0,942	0,976	4,298	4,219	4,088
216	-13,19	0,905	0,974	1,009	4,457	4,372	4,233
216	-13,28	0,935	1,006	1,042	4,616	4,527	4,379
216	-13,37	0,964	1,038	1,076	4,776	4,681	4,525
216	-13,45	0,993	1,070	1,109	4,936	4,836	4,671
216	-13,54	1,022	1,101	1,141	5,096	4,990	4,817
216	-13,63	1,051	1,133	1,174	5,256	5,145	4,962
216	-13,72	1,080	1,164	1,206	5,415	5,299	5,108
216	-13,81	1,108	1,195	1,238	5,575	5,453	5,252
216	-13,89	1,136	1,225	1,270	5,734	5,607	5,397
216	-13,98	1,164	1,256	1,301	5,894	5,761	5,541
216	-14,07	1,192	1,285	1,332	6,052	5,914	5,685
216	-14,16	1,219	1,315	1,363	6,211	6,067	5,828
216	-14,25	1,246	1,344	1,394	6,369	6,219	5,971
216	-14,33	1,273	1,374	1,424	6,526	6,371	6,114
216	-14,42	1,299	1,402	1,453	6,683	6,522	6,255
216	-14,51	1,325	1,431	1,483	6,840	6,673	6,396
216	-14,60	1,351	1,459	1,512	6,996	6,823	6,537
216	-14,69	1,376	1,486	1,541	7,151	6,973	6,677
216	-14,77	1,401	1,514	1,570	7,306	7,122	6,816
216	-14,86	1,426	1,541	1,598	7,460	7,270	6,955
216	-14,95	1,450	1,568	1,626	7,613	7,417	7,092
216	-15,04	1,475	1,594	1,653	7,766	7,565	7,230
216	-15,13	1,499	1,621	1,681	7,918	7,711	7,367
216	-15,21	1,522	1,646	1,707	8,069	7,856	7,502

216	-15,30	1,546	1,672	1,734	8,220	8,001	7,638
216	-15,39	1,569	1,698	1,761	8,370	8,146	7,773
216	-15,48	1,591	1,722	1,787	8,519	8,289	7,906
216	-15,57	1,614	1,747	1,812	8,667	8,432	8,040
216	-15,65	1,637	1,772	1,838	8,815	8,574	8,173
216	-15,74	1,658	1,796	1,863	8,962	8,715	8,304
216	-15,83	1,680	1,820	1,888	9,108	8,856	8,436
216	-15,92	1,702	1,844	1,913	9,255	8,997	8,567
216	-16,01	1,723	1,867	1,937	9,399	9,136	8,697
216	-16,09	1,744	1,891	1,962	9,544	9,275	8,827
216	-16,18	1,766	1,914	1,986	9,688	9,414	8,957
216	-16,27	1,786	1,937	2,010	9,831	9,552	9,085
216	-16,36	1,807	1,960	2,033	9,974	9,689	9,214
216	-16,44	1,828	1,982	2,057	10,117	9,827	9,342
216	-16,53	1,848	2,005	2,080	10,259	9,963	9,469
216	-16,62	1,868	2,027	2,104	10,400	10,099	9,596
216	-16,71	1,888	2,049	2,127	10,542	10,236	9,723
216	-16,80	1,908	2,072	2,150	10,682	10,371	9,850
216	-16,88	1,928	2,094	2,173	10,823	10,506	9,976
216	-16,97	1,948	2,116	2,196	10,964	10,642	10,102
216	-17,06	1,968	2,137	2,219	11,104	10,777	10,228
216	-17,15	1,988	2,159	2,242	11,244	10,912	10,355
216	-17,24	2,007	2,181	2,264	11,384	11,046	10,480
216	-17,32	2,027	2,203	2,287	11,523	11,180	10,605
216	-17,41	2,046	2,224	2,309	11,662	11,314	10,730
216	-17,50	2,066	2,246	2,332	11,801	11,448	10,855

Tab. A2. 8 - Valores dos deslocamentos da cortina de jusante

Cortina Jusante		etapa 5	etapa 6	etapa 7	etapa 8 10 Gpa
X	Y	Displacement [mm]	Displacement [mm]	Displacement [mm]	Displacement [mm]
270	-3,00	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,07	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,15	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,22	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,29	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,36	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,44	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,51	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,58	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,66	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,73	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,80	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,87	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-3,95	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,02	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,09	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,17	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,24	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,31	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,38	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,46	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,53	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,60	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,68	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,75	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,82	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,89	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-4,97	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,04	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,11	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,19	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,26	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,33	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,40	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,48	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,55	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,62	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,70	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,77	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,84	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,91	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-5,99	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,06	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,13	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,21	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,28	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,35	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,42	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,50	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,57	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,64	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,72	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,79	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,86	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-6,93	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,01	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,08	0,000	0,000	0,000	0,000

270	-7,15	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,23	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,30	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,37	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,44	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,52	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,59	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,66	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,74	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,81	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,88	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-7,95	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,03	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,10	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,17	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,25	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,32	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,39	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,46	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,54	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,61	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,68	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,76	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,83	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,90	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-8,97	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,05	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,12	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,19	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,27	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,34	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,41	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,48	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,56	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,63	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,70	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,78	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,85	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,92	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-9,99	0,000	0,000	0,000	0,000
270	-10,07	-0,001	0,006	0,011	-0,005
270	-10,14	-0,002	0,013	0,022	-0,010
270	-10,21	-0,002	0,020	0,034	-0,016
270	-10,29	-0,003	0,027	0,045	-0,021
270	-10,36	-0,004	0,032	0,056	-0,025
270	-10,43	-0,005	0,038	0,067	-0,030
270	-10,51	-0,006	0,044	0,078	-0,034
270	-10,58	-0,008	0,051	0,092	-0,039
270	-10,65	-0,010	0,059	0,108	-0,046
270	-10,72	-0,011	0,067	0,123	-0,052
270	-10,80	-0,013	0,075	0,139	-0,058
270	-10,87	-0,016	0,084	0,158	-0,065
270	-10,94	-0,018	0,093	0,176	-0,072
270	-11,02	-0,020	0,102	0,195	-0,078
270	-11,09	-0,023	0,111	0,214	-0,085
270	-11,16	-0,026	0,121	0,235	-0,093
270	-11,23	-0,029	0,131	0,257	-0,100
270	-11,31	-0,032	0,141	0,278	-0,107
270	-11,38	-0,036	0,151	0,301	-0,115
270	-11,45	-0,040	0,162	0,324	-0,122
270	-11,53	-0,044	0,172	0,347	-0,130

270	-11,60	-0,048	0,182	0,371	-0,137
270	-11,67	-0,052	0,193	0,396	-0,145
270	-11,74	-0,057	0,203	0,421	-0,153
270	-11,82	-0,061	0,214	0,446	-0,160
270	-11,89	-0,066	0,225	0,472	-0,168
270	-11,96	-0,071	0,235	0,498	-0,175
270	-12,04	-0,077	0,246	0,525	-0,182
270	-12,11	-0,082	0,256	0,551	-0,190
270	-12,18	-0,088	0,267	0,578	-0,197
270	-12,25	-0,094	0,277	0,605	-0,204
270	-12,33	-0,100	0,287	0,633	-0,211
270	-12,40	-0,106	0,298	0,660	-0,218
270	-12,47	-0,113	0,308	0,688	-0,225
270	-12,55	-0,120	0,318	0,716	-0,232
270	-12,62	-0,127	0,327	0,744	-0,238
270	-12,69	-0,134	0,337	0,772	-0,245
270	-12,76	-0,142	0,347	0,800	-0,251
270	-12,84	-0,149	0,356	0,829	-0,257
270	-12,91	-0,157	0,366	0,857	-0,263
270	-12,98	-0,165	0,375	0,885	-0,268
270	-13,06	-0,173	0,384	0,914	-0,274
270	-13,13	-0,182	0,393	0,942	-0,279
270	-13,20	-0,190	0,402	0,970	-0,284
270	-13,27	-0,199	0,410	0,998	-0,289
270	-13,35	-0,208	0,418	1,027	-0,294
270	-13,42	-0,217	0,426	1,055	-0,298
270	-13,49	-0,226	0,434	1,083	-0,303
270	-13,57	-0,235	0,442	1,111	-0,307
270	-13,64	-0,245	0,449	1,139	-0,311
270	-13,71	-0,255	0,457	1,166	-0,315
270	-13,78	-0,265	0,464	1,194	-0,318
270	-13,86	-0,275	0,471	1,221	-0,321
270	-13,93	-0,285	0,477	1,249	-0,324
270	-14,00	-0,295	0,484	1,276	-0,327
270	-14,08	-0,306	0,490	1,303	-0,330
270	-14,15	-0,317	0,496	1,330	-0,332
270	-14,22	-0,327	0,502	1,356	-0,335
270	-14,29	-0,338	0,508	1,383	-0,337
270	-14,37	-0,349	0,513	1,409	-0,338
270	-14,44	-0,361	0,518	1,435	-0,340
270	-14,51	-0,372	0,524	1,461	-0,341
270	-14,59	-0,384	0,528	1,487	-0,343
270	-14,66	-0,395	0,533	1,512	-0,344
270	-14,73	-0,407	0,537	1,538	-0,344
270	-14,80	-0,419	0,542	1,563	-0,345
270	-14,88	-0,431	0,546	1,588	-0,346
270	-14,95	-0,443	0,550	1,612	-0,346
270	-15,02	-0,455	0,553	1,637	-0,346
270	-15,10	-0,467	0,557	1,661	-0,346
270	-15,17	-0,480	0,560	1,685	-0,345
270	-15,24	-0,492	0,563	1,709	-0,345
270	-15,31	-0,505	0,566	1,733	-0,344
270	-15,39	-0,518	0,569	1,757	-0,344
270	-15,46	-0,531	0,572	1,780	-0,343
270	-15,53	-0,543	0,574	1,803	-0,341
270	-15,61	-0,556	0,577	1,826	-0,340
270	-15,68	-0,569	0,579	1,849	-0,339
270	-15,75	-0,583	0,581	1,871	-0,337
270	-15,82	-0,596	0,583	1,894	-0,336
270	-15,90	-0,609	0,585	1,916	-0,334
270	-15,97	-0,622	0,586	1,938	-0,332

270	-16,04	-0,635	0,588	1,960	-0,330
270	-16,12	-0,649	0,590	1,982	-0,328
270	-16,19	-0,662	0,591	2,004	-0,326
270	-16,26	-0,676	0,592	2,025	-0,323
270	-16,33	-0,689	0,593	2,047	-0,321
270	-16,41	-0,703	0,594	2,068	-0,318
270	-16,48	-0,717	0,595	2,089	-0,316
270	-16,55	-0,730	0,596	2,110	-0,313
270	-16,63	-0,744	0,597	2,132	-0,310
270	-16,70	-0,757	0,598	2,153	-0,308
270	-16,77	-0,771	0,599	2,173	-0,305
270	-16,84	-0,785	0,599	2,194	-0,302
270	-16,92	-0,799	0,600	2,214	-0,299
270	-16,99	-0,813	0,600	2,235	-0,296
270	-17,06	-0,827	0,601	2,256	-0,293
270	-17,14	-0,840	0,602	2,277	-0,290
270	-17,21	-0,854	0,603	2,298	-0,287
270	-17,28	-0,868	0,603	2,318	-0,284
270	-17,35	-0,882	0,603	2,338	-0,280
270	-17,43	-0,896	0,603	2,358	-0,277
270	-17,50	-0,910	0,604	2,378	-0,274

Tab. A2. 9 - Valores dos deslocamentos da cortina de estacas

Cortina de Estacas		5GPa	10 Gpa	20 Gpa
X	Y	Displacement [mm]	Displacement [mm]	Displacement [mm]
215,8	-0,50	0,0101	0,0115	0,0051
215,8	-0,56	0,0147	0,0154	0,0093
215,8	-0,63	0,0193	0,0193	0,0136
215,8	-0,69	0,0239	0,0233	0,0178
215,8	-0,75	0,0284	0,0272	0,0220
215,8	-0,82	0,0369	0,0340	0,0282
215,8	-0,88	0,0462	0,0414	0,0348
215,8	-0,94	0,0554	0,0488	0,0413
215,8	-1,01	0,0647	0,0561	0,0479
215,8	-1,07	0,0755	0,0648	0,0554
215,8	-1,13	0,0872	0,0742	0,0634
215,8	-1,19	0,0988	0,0836	0,0714
215,8	-1,26	0,1105	0,0930	0,0794
215,8	-1,32	0,1225	0,1028	0,0878
215,8	-1,38	0,1349	0,1131	0,0966
215,8	-1,45	0,1473	0,1234	0,1054
215,8	-1,51	0,1597	0,1338	0,1142
215,8	-1,57	0,1720	0,1441	0,1230
215,8	-1,64	0,1840	0,1546	0,1320
215,8	-1,70	0,1961	0,1651	0,1411
215,8	-1,76	0,2081	0,1755	0,1501
215,8	-1,83	0,2200	0,1859	0,1591
215,8	-1,89	0,2310	0,1960	0,1679
215,8	-1,95	0,2420	0,2060	0,1768
215,8	-2,02	0,2530	0,2161	0,1856
215,8	-2,08	0,2640	0,2261	0,1945
215,8	-2,14	0,2736	0,2354	0,2029
215,8	-2,20	0,2831	0,2446	0,2112
215,8	-2,27	0,2926	0,2539	0,2196
215,8	-2,33	0,3022	0,2631	0,2280
215,8	-2,39	0,3104	0,2715	0,2358
215,8	-2,46	0,3184	0,2798	0,2434
215,8	-2,52	0,3263	0,2880	0,2511
215,8	-2,58	0,3342	0,2962	0,2587
215,8	-2,65	0,3412	0,3037	0,2659
215,8	-2,71	0,3476	0,3107	0,2727
215,8	-2,77	0,3539	0,3178	0,2795
215,8	-2,84	0,3603	0,3249	0,2863
215,8	-2,90	0,3660	0,3314	0,2927
215,8	-2,96	0,3709	0,3373	0,2986
215,8	-3,03	0,3758	0,3432	0,3044
215,8	-3,09	0,3807	0,3491	0,3103
215,8	-3,15	0,3852	0,3546	0,3159
215,8	-3,21	0,3888	0,3594	0,3208
215,8	-3,28	0,3925	0,3641	0,3257
215,8	-3,34	0,3961	0,3689	0,3306
215,8	-3,40	0,3996	0,3735	0,3354
215,8	-3,47	0,4021	0,3772	0,3393
215,8	-3,53	0,4047	0,3809	0,3432
215,8	-3,59	0,4072	0,3845	0,3471
215,8	-3,66	0,4097	0,3882	0,3510
215,8	-3,72	0,4115	0,3910	0,3540
215,8	-3,78	0,4132	0,3937	0,3569
215,8	-3,85	0,4148	0,3963	0,3599
215,8	-3,91	0,4165	0,3990	0,3628
215,8	-3,97	0,4176	0,4011	0,3650
215,8	-4,04	0,4186	0,4029	0,3670

215,8	-4,10	0,4196	0,4047	0,3690
215,8	-4,16	0,4206	0,4065	0,3710
215,8	-4,22	0,4213	0,4078	0,3725
215,8	-4,29	0,4217	0,4088	0,3737
215,8	-4,35	0,4222	0,4098	0,3748
215,8	-4,41	0,4226	0,4109	0,3760
215,8	-4,48	0,4229	0,4116	0,3768
215,8	-4,54	0,4229	0,4119	0,3771
215,8	-4,60	0,4230	0,4122	0,3774
215,8	-4,67	0,4230	0,4126	0,3777
215,8	-4,73	0,4230	0,4127	0,3779
215,8	-4,79	0,4227	0,4124	0,3775
215,8	-4,86	0,4224	0,4121	0,3771
215,8	-4,92	0,4222	0,4118	0,3767
215,8	-4,98	0,4219	0,4115	0,3763
215,8	-5,05	0,4213	0,4107	0,3752
215,8	-5,11	0,4208	0,4098	0,3742
215,8	-5,17	0,4202	0,4090	0,3731
215,8	-5,23	0,4197	0,4081	0,3721
215,8	-5,30	0,4190	0,4068	0,3705
215,8	-5,36	0,4182	0,4055	0,3689
215,8	-5,42	0,4174	0,4042	0,3674
215,8	-5,49	0,4166	0,4029	0,3658
215,8	-5,55	0,4157	0,4012	0,3639
215,8	-5,61	0,4147	0,3995	0,3618
215,8	-5,68	0,4137	0,3977	0,3598
215,8	-5,74	0,4127	0,3960	0,3578
215,8	-5,80	0,4116	0,3940	0,3556
215,8	-5,87	0,4103	0,3919	0,3532
215,8	-5,93	0,4091	0,3898	0,3509
215,8	-5,99	0,4079	0,3877	0,3486
215,8	-6,06	0,4066	0,3855	0,3462
215,8	-6,12	0,4051	0,3831	0,3437
215,8	-6,18	0,4036	0,3807	0,3412
215,8	-6,24	0,4022	0,3783	0,3387
215,8	-6,31	0,4006	0,3759	0,3362
215,8	-6,37	0,3989	0,3733	0,3337
215,8	-6,43	0,3972	0,3707	0,3312
215,8	-6,50	0,3955	0,3682	0,3288
215,8	-6,56	0,3938	0,3656	0,3263
215,8	-6,62	0,3919	0,3630	0,3241
215,8	-6,69	0,3900	0,3603	0,3218
215,8	-6,75	0,3881	0,3577	0,3196
215,8	-6,81	0,3862	0,3551	0,3174
215,8	-6,88	0,3841	0,3526	0,3155
215,8	-6,94	0,3820	0,3501	0,3138
215,8	-7,00	0,3800	0,3476	0,3120
215,8	-7,07	0,3779	0,3451	0,3103
215,8	-7,13	0,3758	0,3428	0,3091
215,8	-7,19	0,3737	0,3407	0,3081
215,8	-7,25	0,3717	0,3385	0,3072
215,8	-7,32	0,3696	0,3364	0,3062
215,8	-7,38	0,3676	0,3346	0,3058
215,8	-7,44	0,3657	0,3331	0,3060
215,8	-7,51	0,3637	0,3316	0,3061
215,8	-7,57	0,3618	0,3301	0,3063
215,8	-7,63	0,3601	0,3289	0,3070
215,8	-7,70	0,3586	0,3285	0,3087
215,8	-7,76	0,3572	0,3280	0,3104
215,8	-7,82	0,3558	0,3275	0,3120
215,8	-7,89	0,3545	0,3273	0,3141

215,8	-7,95	0,3539	0,3284	0,3178
215,8	-8,01	0,3534	0,3294	0,3214
215,8	-8,08	0,3528	0,3304	0,3251
215,8	-8,14	0,3523	0,3315	0,3288
215,8	-8,20	0,3532	0,3346	0,3349
215,8	-8,26	0,3541	0,3377	0,3411
215,8	-8,33	0,3550	0,3408	0,3472
215,8	-8,39	0,3559	0,3438	0,3534
215,8	-8,45	0,3586	0,3492	0,3621
215,8	-8,52	0,3617	0,3550	0,3713
215,8	-8,58	0,3648	0,3608	0,3805
215,8	-8,64	0,3678	0,3666	0,3897
215,8	-8,71	0,3729	0,3747	0,4013
215,8	-8,77	0,3790	0,3839	0,4141
215,8	-8,83	0,3851	0,3932	0,4269
215,8	-8,90	0,3912	0,4025	0,4398
215,8	-8,96	0,3992	0,4138	0,4546
215,8	-9,02	0,4094	0,4273	0,4717
215,8	-9,09	0,4195	0,4409	0,4888
215,8	-9,15	0,4296	0,4544	0,5059
215,8	-9,21	0,4414	0,4695	0,5245
215,8	-9,27	0,4567	0,4882	0,5464
215,8	-9,34	0,4720	0,5069	0,5684
215,8	-9,40	0,4872	0,5255	0,5904
215,8	-9,46	0,5034	0,5450	0,6131
215,8	-9,53	0,5250	0,5697	0,6405
215,8	-9,59	0,5466	0,5943	0,6679
215,8	-9,65	0,5682	0,6189	0,6953
215,8	-9,72	0,5898	0,6436	0,7227
215,8	-9,78	0,6186	0,6748	0,7559
215,8	-9,84	0,6477	0,7062	0,7894
215,8	-9,91	0,6768	0,7377	0,8228
215,8	-9,97	0,7058	0,7691	0,8563
215,8	-10,03	0,7414	0,8063	0,8947
215,8	-10,10	0,7786	0,8450	0,9344
215,8	-10,16	0,8159	0,8837	0,9741
215,8	-10,22	0,8531	0,9224	1,0137
215,8	-10,28	0,8959	0,9660	1,0576
215,8	-10,35	0,9421	1,0126	1,1040
215,8	-10,41	0,9883	1,0591	1,1505
215,8	-10,47	1,0345	1,1057	1,1969
215,8	-10,54	1,0847	1,1558	1,2463
215,8	-10,60	1,1400	1,2102	1,2994
215,8	-10,66	1,1952	1,2647	1,3525
215,8	-10,73	1,2504	1,3192	1,4057
215,8	-10,79	1,3081	1,3758	1,4606
215,8	-10,85	1,3724	1,4382	1,5204
215,8	-10,92	1,4366	1,5005	1,5802
215,8	-10,98	1,5008	1,5628	1,6400
215,8	-11,04	1,5658	1,6259	1,7004
215,8	-11,11	1,6386	1,6958	1,7666
215,8	-11,17	1,7114	1,7657	1,8328
215,8	-11,23	1,7841	1,8357	1,8990
215,8	-11,29	1,8569	1,9056	1,9652
215,8	-11,36	1,9370	1,9821	2,0371
215,8	-11,42	2,0177	2,0591	2,1094
215,8	-11,48	2,0984	2,1361	2,1817
215,8	-11,55	2,1791	2,2131	2,2540
215,8	-11,61	2,2652	2,2951	2,3306
215,8	-11,67	2,3531	2,3786	2,4085
215,8	-11,74	2,4409	2,4622	2,4864

215,8	-11,80	2,5288	2,5457	2,5644
215,8	-11,86	2,6203	2,6327	2,6453
215,8	-11,93	2,7144	2,7221	2,7283
215,8	-11,99	2,8085	2,8114	2,8114
215,8	-12,05	2,9026	2,9008	2,8944
215,8	-12,12	2,9989	2,9923	2,9793
215,8	-12,18	3,0984	3,0867	3,0669
215,8	-12,24	3,1978	3,1812	3,1544
215,8	-12,30	3,2973	3,2757	3,2420
215,8	-12,37	3,3977	3,3712	3,3305
215,8	-12,43	3,5016	3,4699	3,4220
215,8	-12,49	3,6054	3,5687	3,5134
215,8	-12,56	3,7092	3,6675	3,6049
215,8	-12,62	3,8133	3,7665	3,6966
215,8	-12,68	3,9206	3,8688	3,7913
215,8	-12,75	4,0279	3,9711	3,8860
215,8	-12,81	4,1353	4,0734	3,9807
215,8	-12,87	4,2426	4,1757	4,0755
215,8	-12,94	4,3523	4,2804	4,1725
215,8	-13,00	4,4622	4,3855	4,2699
215,8	-13,06	4,5722	4,4906	4,3673
215,8	-13,13	4,6822	4,5957	4,4646
215,8	-13,19	4,7935	4,7023	4,5634
215,8	-13,25	4,9053	4,8094	4,6628
215,8	-13,31	5,0172	4,9165	4,7622
215,8	-13,38	5,1290	5,0237	4,8616
215,8	-13,44	5,2415	5,1316	4,9617
215,8	-13,50	5,3546	5,2401	5,0625
215,8	-13,57	5,4676	5,3487	5,1633
215,8	-13,63	5,5806	5,4572	5,2640
215,8	-13,69	5,6939	5,5660	5,3651
215,8	-13,76	5,8075	5,6754	5,4668
215,8	-13,82	5,9211	5,7847	5,5684
215,8	-13,88	6,0347	5,8940	5,6700
215,8	-13,95	6,1483	6,0033	5,7717
215,8	-14,01	6,2619	6,1128	5,8736
215,8	-14,07	6,3756	6,2223	5,9755
215,8	-14,14	6,4892	6,3318	6,0774
215,8	-14,20	6,6029	6,4413	6,1793
215,8	-14,26	6,7161	6,5505	6,2810
215,8	-14,32	6,8293	6,6597	6,3827
215,8	-14,39	6,9425	6,7689	6,4844
215,8	-14,45	7,0557	6,8780	6,5861
215,8	-14,51	7,1682	6,9865	6,6872
215,8	-14,58	7,2805	7,0949	6,7882
215,8	-14,64	7,3928	7,2032	6,8892
215,8	-14,70	7,5052	7,3116	6,9902
215,8	-14,77	7,6166	7,4190	7,0903
215,8	-14,83	7,7277	7,5261	7,1901
215,8	-14,89	7,8387	7,6331	7,2900
215,8	-14,96	7,9498	7,7402	7,3898
215,8	-15,02	8,0600	7,8464	7,4888
215,8	-15,08	8,1693	7,9517	7,5870
215,8	-15,15	8,2787	8,0570	7,6851
215,8	-15,21	8,3881	8,1623	7,7833
215,8	-15,27	8,4967	8,2668	7,8808
215,8	-15,33	8,6039	8,3699	7,9770
215,8	-15,40	8,7111	8,4731	8,0731
215,8	-15,46	8,8184	8,5762	8,1693
215,8	-15,52	8,9251	8,6788	8,2650
215,8	-15,59	9,0298	8,7793	8,3587

215,8	-15,65	9,1344	8,8797	8,4523
215,8	-15,71	9,2390	8,9802	8,5460
215,8	-15,78	9,3436	9,0806	8,6397
215,8	-15,84	9,4451	9,1779	8,7305
215,8	-15,90	9,5465	9,2752	8,8213
215,8	-15,97	9,6480	9,3725	8,9120
215,8	-16,03	9,7495	9,4699	9,0028
215,8	-16,09	9,8478	9,5642	9,0909
215,8	-16,16	9,9456	9,6579	9,1784
215,8	-16,22	10,0433	9,7516	9,2659
215,8	-16,28	10,1410	9,8452	9,3534
215,8	-16,34	10,2358	9,9362	9,4384
215,8	-16,41	10,3291	10,0258	9,5222
215,8	-16,47	10,4223	10,1153	9,6060
215,8	-16,53	10,5156	10,2048	9,6897
215,8	-16,60	10,6064	10,2921	9,7716
215,8	-16,66	10,6945	10,3770	9,8513
215,8	-16,72	10,7827	10,4620	9,9310
215,8	-16,79	10,8708	10,5469	10,0106
215,8	-16,85	10,9572	10,6302	10,0890
215,8	-16,91	11,0394	10,7099	10,1642
215,8	-16,98	11,1217	10,7897	10,2394
215,8	-17,04	11,2039	10,8694	10,3146
215,8	-17,10	11,2853	10,9484	10,3891
215,8	-17,17	11,3611	11,0225	10,4595
215,8	-17,23	11,4368	11,0967	10,5299
215,8	-17,29	11,5126	11,1708	10,6003
215,8	-17,35	11,5883	11,2450	10,6706
215,8	-17,42	11,6576	11,3136	10,7363
215,8	-17,48	11,7266	11,3820	10,8017
215,8	-17,54	11,7956	11,4504	10,8672
215,8	-17,61	11,8645	11,5188	10,9326
215,8	-17,67	11,9283	11,5826	10,9942
215,8	-17,73	11,9905	11,6452	11,0547
215,8	-17,80	12,0528	11,7079	11,1151
215,8	-17,86	12,1151	11,7705	11,1756
215,8	-17,92	12,1729	11,8291	11,2325
215,8	-17,99	12,2279	11,8852	11,2870
215,8	-18,05	12,2829	11,9412	11,3416
215,8	-18,11	12,3379	11,9973	11,3962
215,8	-18,18	12,3902	12,0510	11,4486
215,8	-18,24	12,4393	12,1017	11,4984
215,8	-18,30	12,4884	12,1524	11,5482
215,8	-18,36	12,5375	12,2031	11,5980
215,8	-18,43	12,5848	12,2522	11,6462
215,8	-18,49	12,6274	12,2968	11,6903
215,8	-18,55	12,6700	12,3414	11,7345
215,8	-18,62	12,7126	12,3860	11,7786
215,8	-18,68	12,7547	12,4301	11,8222
215,8	-18,74	12,7914	12,4690	11,8611
215,8	-18,81	12,8282	12,5080	11,8999
215,8	-18,87	12,8649	12,5470	11,9387
215,8	-18,93	12,9017	12,5860	11,9776
215,8	-19,00	12,9331	12,6196	12,0114
215,8	-19,06	12,9640	12,6529	12,0447
215,8	-19,12	12,9949	12,6861	12,0781
215,8	-19,19	13,0259	12,7194	12,1115
215,8	-19,25	13,0527	12,7484	12,1408
215,8	-19,31	13,0781	12,7761	12,1688
215,8	-19,37	13,1036	12,8038	12,1968
215,8	-19,44	13,1291	12,8315	12,2248

215,8	-19,50	13,1514	12,8560	12,2496
215,8	-19,56	13,1715	12,8782	12,2721
215,8	-19,63	13,1915	12,9003	12,2947
215,8	-19,69	13,2116	12,9225	12,3172
215,8	-19,75	13,2296	12,9425	12,3375
215,8	-19,82	13,2445	12,9592	12,3547
215,8	-19,88	13,2594	12,9760	12,3719
215,8	-19,94	13,2743	12,9928	12,3890
215,8	-20,01	13,2881	13,0083	12,4049
215,8	-20,07	13,2980	13,0197	12,4167
215,8	-20,13	13,3079	13,0311	12,4284
215,8	-20,20	13,3178	13,0425	12,4402
215,8	-20,26	13,3274	13,0536	12,4516
215,8	-20,32	13,3324	13,0598	12,4580
215,8	-20,38	13,3374	13,0659	12,4644
215,8	-20,45	13,3425	13,0720	12,4708
215,8	-20,51	13,3475	13,0782	12,4772
215,8	-20,57	13,3483	13,0797	12,4788
215,8	-20,64	13,3485	13,0806	12,4799
215,8	-20,70	13,3488	13,0815	12,4809
215,8	-20,76	13,3490	13,0825	12,4820
215,8	-20,83	13,3459	13,0796	12,4792
215,8	-20,89	13,3414	13,0754	12,4749
215,8	-20,95	13,3370	13,0711	12,4706
215,8	-21,02	13,3325	13,0669	12,4663
215,8	-21,08	13,3255	13,0598	12,4591
215,8	-21,14	13,3165	13,0504	12,4495
215,8	-21,21	13,3074	13,0410	12,4399
215,8	-21,27	13,2983	13,0317	12,4303
215,8	-21,33	13,2876	13,0204	12,4187
215,8	-21,39	13,2739	13,0059	12,4039
215,8	-21,46	13,2602	12,9914	12,3890
215,8	-21,52	13,2466	12,9769	12,3741
215,8	-21,58	13,2320	12,9613	12,3581
215,8	-21,65	13,2137	12,9418	12,3380
215,8	-21,71	13,1955	12,9222	12,3178
215,8	-21,77	13,1773	12,9026	12,2977
215,8	-21,84	13,1589	12,8829	12,2774
215,8	-21,90	13,1361	12,8582	12,2520
215,8	-21,96	13,1133	12,8335	12,2266
215,8	-22,03	13,0905	12,8088	12,2013
215,8	-22,09	13,0677	12,7842	12,1759
215,8	-22,15	13,0410	12,7551	12,1460
215,8	-22,22	13,0136	12,7254	12,1155
215,8	-22,28	12,9862	12,6956	12,0849
215,8	-22,34	12,9588	12,6659	12,0543
215,8	-22,40	12,9282	12,6326	12,0201
215,8	-22,47	12,8962	12,5977	11,9844
215,8	-22,53	12,8642	12,5629	11,9486
215,8	-22,59	12,8321	12,5280	11,9128
215,8	-22,66	12,7977	12,4906	11,8744
215,8	-22,72	12,7610	12,4506	11,8335
215,8	-22,78	12,7242	12,4106	11,7926
215,8	-22,85	12,6875	12,3706	11,7517
215,8	-22,91	12,6491	12,3289	11,7090
215,8	-22,97	12,6076	12,2838	11,6630
215,8	-23,04	12,5661	12,2387	11,6170
215,8	-23,10	12,5246	12,1936	11,5710
215,8	-23,16	12,4823	12,1476	11,5241
215,8	-23,23	12,4359	12,0973	11,4730
215,8	-23,29	12,3895	12,0471	11,4219

215,8	-23,35	12,3431	11,9968	11,3709
215,8	-23,41	12,2968	11,9465	11,3198
215,8	-23,48	12,2454	11,8911	11,2637
215,8	-23,54	12,1941	11,8356	11,2076
215,8	-23,60	12,1427	11,7801	11,1515
215,8	-23,67	12,0913	11,7246	11,0954
215,8	-23,73	12,0358	11,6649	11,0353
215,8	-23,79	11,9793	11,6042	10,9742
215,8	-23,86	11,9228	11,5435	10,9132
215,8	-23,92	11,8664	11,4828	10,8522
215,8	-23,98	11,8065	11,4187	10,7879
215,8	-24,05	11,7448	11,3528	10,7220
215,8	-24,11	11,6831	11,2869	10,6561
215,8	-24,17	11,6214	11,2209	10,5902
215,8	-24,24	11,5572	11,1525	10,5220
215,8	-24,30	11,4901	11,0813	10,4513
215,8	-24,36	11,4230	11,0102	10,3806
215,8	-24,42	11,3560	10,9390	10,3100
215,8	-24,49	11,2873	10,8662	10,2378
215,8	-24,55	11,2147	10,7898	10,1625
215,8	-24,61	11,1422	10,7134	10,0871
215,8	-24,68	11,0696	10,6370	10,0118
215,8	-24,74	10,9963	10,5599	9,9358
215,8	-24,80	10,9182	10,4783	9,8559
215,8	-24,87	10,8400	10,3967	9,7760
215,8	-24,93	10,7619	10,3150	9,6961
215,8	-24,99	10,6837	10,2334	9,6162
215,8	-25,06	10,6000	10,1468	9,5321
215,8	-25,12	10,5162	10,0600	9,4479
215,8	-25,18	10,4323	9,9732	9,3636
215,8	-25,25	10,3484	9,8864	9,2793
215,8	-25,31	10,2599	9,7956	9,1917
215,8	-25,37	10,1702	9,7038	9,1033
215,8	-25,43	10,0805	9,6119	9,0148
215,8	-25,50	9,9908	9,5200	8,9263
215,8	-25,56	9,8975	9,4251	8,8354
215,8	-25,62	9,8020	9,3282	8,7430
215,8	-25,69	9,7064	9,2314	8,6505
215,8	-25,75	9,6108	9,1346	8,5581
215,8	-25,81	9,5127	9,0356	8,4640
215,8	-25,88	9,4112	8,9340	8,3678
215,8	-25,94	9,3098	8,8323	8,2716
215,8	-26,00	9,2084	8,7307	8,1755
215,8	-26,07	9,1054	8,6278	8,0784
215,8	-26,13	8,9981	8,5216	7,9788
215,8	-26,19	8,8909	8,4154	7,8792
215,8	-26,26	8,7836	8,3092	7,7796
215,8	-26,32	8,6758	8,2026	7,6797
215,8	-26,38	8,5629	8,0922	7,5770
215,8	-26,44	8,4499	7,9817	7,4743
215,8	-26,51	8,3370	7,8712	7,3717
215,8	-26,57	8,2241	7,7608	7,2690
215,8	-26,63	8,1061	7,6467	7,1639
215,8	-26,70	7,9877	7,5323	7,0585
215,8	-26,76	7,8693	7,4180	6,9532
215,8	-26,82	7,7509	7,3036	6,8478
215,8	-26,89	7,6286	7,1867	6,7408
215,8	-26,95	7,5051	7,0689	6,6332
215,8	-27,01	7,3816	6,9511	6,5257
215,8	-27,08	7,2581	6,8333	6,4181
215,8	-27,14	7,1320	6,7139	6,3096

215,8	-27,20	7,0038	6,5932	6,2003
215,8	-27,27	6,8757	6,4726	6,0910
215,8	-27,33	6,7476	6,3519	5,9818
215,8	-27,39	6,6179	6,2304	5,8721
215,8	-27,45	6,4858	6,1076	5,7617
215,8	-27,52	6,3537	5,9847	5,6513
215,8	-27,58	6,2216	5,8619	5,5410
215,8	-27,64	6,0888	5,7388	5,4305
215,8	-27,71	5,9537	5,6146	5,3197
215,8	-27,77	5,8185	5,4904	5,2089
215,8	-27,83	5,6834	5,3662	5,0981
215,8	-27,90	5,5481	5,2420	4,9873
215,8	-27,96	5,4109	5,1174	4,8768
215,8	-28,02	5,2738	4,9928	4,7663
215,8	-28,09	5,1367	4,8682	4,6558
215,8	-28,15	4,9995	4,7437	4,5453
215,8	-28,21	4,8618	4,6197	4,4358
215,8	-28,28	4,7241	4,4959	4,3265
215,8	-28,34	4,5864	4,3720	4,2171
215,8	-28,40	4,4486	4,2482	4,1078
215,8	-28,46	4,3117	4,1258	3,9999
215,8	-28,53	4,1750	4,0040	3,8927
215,8	-28,59	4,0384	3,8821	3,7854
215,8	-28,65	3,9018	3,7603	3,6782
215,8	-28,72	3,7668	3,6404	3,5726
215,8	-28,78	3,6334	3,5221	3,4684
215,8	-28,84	3,4999	3,4039	3,3643
215,8	-28,91	3,3664	3,2856	3,2601
215,8	-28,97	3,2350	3,1692	3,1575
215,8	-29,03	3,1072	3,0562	3,0576
215,8	-29,10	2,9793	2,9432	2,9578
215,8	-29,16	2,8515	2,8302	2,8579
215,8	-29,22	2,7253	2,7186	2,7591
215,8	-29,29	2,6058	2,6126	2,6645
215,8	-29,35	2,4864	2,5065	2,5700
215,8	-29,41	2,3669	2,4005	2,4754
215,8	-29,47	2,2477	2,2948	2,3810
215,8	-29,54	2,1406	2,1986	2,2939
215,8	-29,60	2,0335	2,1025	2,2067
215,8	-29,66	1,9264	2,0063	2,1195
215,8	-29,73	1,8193	1,9101	2,0323
215,8	-29,79	1,7237	1,8221	1,9504
215,8	-29,85	1,6301	1,7354	1,8693
215,8	-29,92	1,5364	1,6487	1,7882
215,8	-29,98	1,4427	1,5621	1,7071
215,8	-30,04	1,3633	1,4861	1,6339
215,8	-30,11	1,2906	1,4151	1,5642
215,8	-30,17	1,2178	1,3441	1,4946
215,8	-30,23	1,1451	1,2731	1,4250
215,8	-30,30	1,0846	1,2113	1,3620
215,8	-30,36	1,0287	1,1531	1,3015
215,8	-30,42	0,9729	1,0949	1,2410
215,8	-30,48	0,9170	1,0367	1,1806
215,8	-30,55	0,8718	0,9869	1,1262
215,8	-30,61	0,8300	0,9397	1,0738
215,8	-30,67	0,7881	0,8925	1,0214
215,8	-30,74	0,7462	0,8454	0,9690
215,8	-30,80	0,7128	0,8054	0,9221
215,8	-30,86	0,6814	0,7672	0,8765
215,8	-30,93	0,6500	0,7290	0,8309
215,8	-30,99	0,6186	0,6908	0,7853

215,8	-31,05	0,5934	0,6584	0,7444
215,8	-31,12	0,5695	0,6271	0,7044
215,8	-31,18	0,5455	0,5958	0,6643
215,8	-31,24	0,5215	0,5645	0,6243
215,8	-31,31	0,5015	0,5371	0,5875
215,8	-31,37	0,4821	0,5103	0,5511
215,8	-31,43	0,4626	0,4835	0,5148
215,8	-31,49	0,4432	0,4567	0,4784
215,8	-31,56	0,4264	0,4328	0,4448
215,8	-31,62	0,4100	0,4093	0,4113
215,8	-31,68	0,3935	0,3857	0,3779
215,8	-31,75	0,3770	0,3621	0,3445
215,8	-31,81	0,3604	0,3384	0,3105
215,8	-31,87	0,3438	0,3146	0,2764
215,8	-31,94	0,3272	0,2908	0,2424
215,8	-32,00	0,3106	0,2671	0,2083

Tab. A2. 10 – Valores de momentos da cortina de montante nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas

cortina de montante		rebaixamento	afastamento
X	Y	Moment [KNm]	Moment [KNm]
216	0,00	0,0	0,0
216	-0,15	0,0	0,0
216	-0,29	0,0	0,0
216	-0,44	0,0	0,1
216	-0,58	0,0	0,0
216	-0,73	0,0	0,0
216	-0,88	0,0	0,0
216	-1,02	0,0	0,0
216	-1,17	0,0	0,0
216	-1,31	0,0	0,0
216	-1,46	0,0	0,0
216	-1,60	0,0	0,0
216	-1,75	0,0	0,0
216	-1,90	0,0	0,0
216	-2,04	0,0	0,0
216	-2,19	0,0	0,0
216	-2,33	0,0	0,0
216	-2,48	0,0	0,0
216	-2,63	0,0	0,0
216	-2,77	0,0	0,0
216	-2,92	0,0	0,0
216	-3,06	0,0	0,0
216	-3,21	0,0	0,0
216	-3,35	0,0	0,0
216	-3,50	0,0	0,0
216	-3,65	0,0	0,0
216	-3,79	0,0	0,0
216	-3,94	0,0	0,0
216	-4,08	0,0	0,0
216	-4,23	0,0	0,0
216	-4,38	0,0	0,0
216	-4,52	0,0	0,0
216	-4,67	0,0	0,0
216	-4,81	-0,1	0,0
216	-4,96	0,0	0,0
216	-5,10	0,0	0,1
216	-5,25	0,1	0,2
216	-5,40	0,3	0,3
216	-5,54	0,5	0,5
216	-5,69	0,7	0,6
216	-5,83	0,7	0,4
216	-5,98	0,8	0,2
216	-6,13	0,0	-0,9
216	-6,27	-0,8	-2,0
216	-6,42	-3,3	-4,4
216	-6,56	-5,8	-6,9
216	-6,71	-9,2	-8,5
216	-6,85	-12,5	-10,2
216	-7,00	4,8	7,7
216	-7,13	22,1	25,6
216	-7,25	11,8	13,3
216	-7,38	1,4	0,9
216	-7,50	-2,2	-3,1
216	-7,63	-5,8	-7,1
216	-7,75	-3,8	-4,9
216	-7,88	-1,9	-2,8

216	-8,00	5,3	4,6
216	-8,13	12,4	12,0
216	-8,25	24,9	24,5
216	-8,38	37,3	37,0
216	-8,50	51,4	51,0
216	-8,63	65,5	65,1
216	-8,75	66,8	66,4
216	-8,88	68,1	67,7
216	-9,00	24,7	24,8
216	-9,13	-18,7	-18,2
216	-9,25	-152,0	-150,0
216	-9,38	-285,2	-281,9
216	-9,50	-532,3	-526,8
216	-9,63	-779,4	-771,7
216	-9,75	-1055,3	-1046,4
216	-9,88	-1331,2	-1321,1
216	-10,00	-1392,1	-1384,8
216	-10,13	-1453,0	-1448,6
216	-10,27	-1333,0	-1333,2
216	-10,40	-1212,9	-1217,9
216	-10,54	-1105,3	-1113,1
216	-10,67	-997,7	-1008,3
216	-10,80	-902,6	-914,4
216	-10,94	-807,5	-820,4
216	-11,07	-724,4	-737,0
216	-11,21	-641,2	-653,6
216	-11,34	-569,1	-580,2
216	-11,47	-496,9	-506,8
216	-11,61	-434,7	-442,7
216	-11,74	-372,5	-378,6
216	-11,88	-319,2	-323,2
216	-12,01	-265,9	-267,7
216	-12,14	-220,6	-220,3
216	-12,28	-175,3	-172,9
216	-12,41	-137,0	-132,7
216	-12,54	-98,7	-92,6
216	-12,68	-66,6	-59,1
216	-12,81	-34,5	-25,6
216	-12,95	-8,0	1,8
216	-13,08	18,6	29,3
216	-13,21	40,2	51,2
216	-13,35	61,9	73,2
216	-13,48	79,1	90,3
216	-13,62	96,4	107,4
216	-13,75	109,7	120,0
216	-13,88	123,1	132,7
216	-14,02	132,8	141,4
216	-14,15	142,5	150,1
216	-14,29	148,9	155,2
216	-14,42	155,3	160,3
216	-14,55	158,6	162,2
216	-14,69	162,0	164,1
216	-14,82	162,4	163,1
216	-14,96	162,9	162,2
216	-15,09	160,7	158,6
216	-15,22	158,6	155,0
216	-15,36	153,9	149,2
216	-15,49	149,3	143,4
216	-15,63	142,3	135,6
216	-15,76	135,4	127,8
216	-15,89	126,4	118,4

216	-16,03	117,4	109,0
216	-16,16	106,8	98,5
216	-16,29	96,2	88,0
216	-16,43	84,5	76,9
216	-16,56	72,8	65,9
216	-16,70	60,8	54,8
216	-16,83	48,8	43,8
216	-16,96	37,5	33,6
216	-17,10	26,1	23,4
216	-17,23	17,0	15,2
216	-17,37	7,8	7,0
216	-17,50	7,8	7,0

Tab. A2. 11 – Valores de esforços transversos da cortina de montante nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas

cortina de montante		rebaixamento	afastamento
X	Y	Shear Force [KN]	Shear Force [KN]
216	-0,15	0,0	-0,1
216	-0,44	-0,3	-0,3
216	-0,73	0,5	0,5
216	-1,02	-0,6	-0,6
216	-1,31	0,9	0,9
216	-1,60	-1,0	-1,0
216	-1,90	1,2	1,2
216	-2,19	-1,4	-1,4
216	-2,48	1,6	1,6
216	-2,77	-1,8	-1,8
216	-3,06	1,9	1,9
216	-3,35	-2,1	-2,1
216	-3,65	2,3	2,3
216	-3,94	-2,5	-2,5
216	-4,23	2,8	2,8
216	-4,52	-2,8	-2,8
216	-4,81	3,1	2,9
216	-5,10	-3,7	-3,9
216	-5,40	2,2	2,2
216	-5,69	-5,2	-4,3
216	-5,98	4,9	7,1
216	-6,27	6,0	8,4
216	-6,56	27,9	24,6
216	-6,85	18,6	-1,7
216	-7,13	110,9	135,7
216	-7,38	54,3	61,7
216	-7,63	3,3	2,4
216	-7,88	-34,3	-36,8
216	-8,13	-79,9	-81,2
216	-8,38	-119,4	-119,2
216	-8,63	-106,0	-105,2
216	-8,88	85,4	84,3
216	-9,13	609,0	602,3
216	-9,38	1522,8	1507,6
216	-9,63	2430,7	2411,2
216	-9,88	1983,6	1983,3
216	-10,13	-941,5	-899,0
216	-10,40	-851,4	-823,2
216	-10,67	-755,8	-741,7
216	-10,94	-663,7	-661,2
216	-11,21	-578,0	-584,4
216	-11,47	-499,6	-511,9
216	-11,74	-429,5	-445,1
216	-12,01	-366,6	-382,9
216	-12,28	-310,1	-325,3
216	-12,54	-261,4	-273,9
216	-12,81	-217,7	-226,4
216	-13,08	-178,9	-183,5
216	-13,35	-144,3	-144,7
216	-13,62	-113,6	-110,2
216	-13,88	-85,4	-78,9
216	-14,15	-59,7	-50,9
216	-14,42	-35,9	-25,5
216	-14,69	-13,9	-2,8
216	-14,96	6,7	17,6
216	-15,22	25,9	35,7

216	-15,49	43,5	51,4
216	-15,76	60,1	65,1
216	-16,03	74,1	75,2
216	-16,29	84,7	81,6
216	-16,56	89,5	83,5
216	-16,83	89,9	81,3
216	-17,10	79,4	70,6
216	-17,37	57,9	52,2

Tab. A2. 12 – Valores de deslocamentos da cortina de montante nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas

cortina de montante		rebaixamento	afastamento
X	Y	Displacement [mm]	Displacement [mm]
216	0,00	0,000	0,000
216	-0,09	0,000	0,000
216	-0,18	0,000	0,000
216	-0,26	0,000	0,000
216	-0,35	0,000	0,000
216	-0,44	0,000	0,000
216	-0,53	0,000	0,000
216	-0,62	0,000	0,000
216	-0,70	0,000	0,000
216	-0,79	0,000	0,000
216	-0,88	0,000	0,000
216	-0,97	0,000	0,000
216	-1,06	0,000	0,000
216	-1,14	0,000	0,000
216	-1,23	0,000	0,000
216	-1,32	0,000	0,000
216	-1,41	0,000	0,000
216	-1,49	0,000	0,000
216	-1,58	0,000	0,000
216	-1,67	0,000	0,000
216	-1,76	0,000	0,000
216	-1,85	0,000	0,000
216	-1,93	0,000	0,000
216	-2,02	0,000	0,000
216	-2,11	0,000	0,000
216	-2,20	0,000	0,000
216	-2,29	0,000	0,000
216	-2,37	0,000	0,000
216	-2,46	0,000	0,000
216	-2,55	0,000	0,000
216	-2,64	0,000	0,000
216	-2,73	0,000	0,000
216	-2,81	0,000	0,000
216	-2,90	0,000	0,000
216	-2,99	0,000	0,000
216	-3,08	0,000	0,000
216	-3,17	0,000	0,000
216	-3,25	0,000	0,000
216	-3,34	0,000	0,000
216	-3,43	0,000	0,000
216	-3,52	0,000	0,000
216	-3,61	0,000	0,000
216	-3,69	0,000	0,000
216	-3,78	0,000	0,000
216	-3,87	0,000	0,000
216	-3,96	0,000	0,000
216	-4,05	0,000	0,000
216	-4,13	0,000	0,000
216	-4,22	0,000	0,000
216	-4,31	0,000	0,000
216	-4,40	0,000	0,000
216	-4,48	0,000	0,000
216	-4,57	0,000	0,000
216	-4,66	0,000	0,000
216	-4,75	0,000	0,000
216	-4,84	0,000	0,000

216	-4,92	0,000	0,000
216	-5,01	0,000	0,000
216	-5,10	0,000	0,000
216	-5,19	0,000	0,000
216	-5,28	0,000	0,000
216	-5,36	0,000	0,000
216	-5,45	0,000	0,000
216	-5,54	0,000	0,000
216	-5,63	0,000	0,000
216	-5,72	0,000	0,000
216	-5,80	0,000	0,000
216	-5,89	0,000	0,000
216	-5,98	0,000	0,000
216	-6,07	0,000	0,000
216	-6,16	0,000	0,000
216	-6,24	0,000	0,000
216	-6,33	0,000	0,000
216	-6,42	0,000	0,000
216	-6,51	0,000	0,000
216	-6,60	0,000	0,000
216	-6,68	0,000	0,000
216	-6,77	0,000	0,000
216	-6,86	0,000	0,000
216	-6,95	0,000	0,000
216	-7,04	0,000	0,000
216	-7,12	0,000	0,000
216	-7,21	0,000	0,000
216	-7,30	0,000	0,000
216	-7,39	0,000	0,000
216	-7,47	0,000	0,000
216	-7,56	0,000	0,000
216	-7,65	0,000	0,000
216	-7,74	0,000	0,000
216	-7,83	0,000	0,000
216	-7,91	0,000	0,000
216	-8,00	0,000	0,000
216	-8,09	0,000	0,000
216	-8,18	0,000	0,000
216	-8,27	0,000	0,000
216	-8,35	0,000	0,000
216	-8,44	0,000	0,000
216	-8,53	0,000	0,000
216	-8,62	0,000	0,000
216	-8,71	0,000	0,000
216	-8,79	0,000	0,000
216	-8,88	0,000	0,000
216	-8,97	0,000	0,000
216	-9,06	0,000	0,000
216	-9,15	0,000	0,000
216	-9,23	0,000	0,000
216	-9,32	0,000	0,000
216	-9,41	0,000	0,000
216	-9,50	0,000	0,000
216	-9,59	0,000	0,000
216	-9,67	0,000	0,000
216	-9,76	0,000	0,000
216	-9,85	0,000	0,000
216	-9,94	0,000	0,000
216	-10,03	0,020	0,020
216	-10,11	0,092	0,092
216	-10,20	0,164	0,163

216	-10,29	0,233	0,232
216	-10,38	0,296	0,294
216	-10,46	0,358	0,356
216	-10,55	0,426	0,423
216	-10,64	0,516	0,513
216	-10,73	0,606	0,602
216	-10,82	0,698	0,694
216	-10,90	0,802	0,798
216	-10,99	0,906	0,902
216	-11,08	1,011	1,007
216	-11,17	1,128	1,124
216	-11,26	1,245	1,242
216	-11,34	1,363	1,360
216	-11,43	1,491	1,488
216	-11,52	1,618	1,617
216	-11,61	1,746	1,745
216	-11,70	1,882	1,882
216	-11,78	2,018	2,018
216	-11,87	2,154	2,155
216	-11,96	2,296	2,298
216	-12,05	2,438	2,441
216	-12,14	2,580	2,585
216	-12,22	2,727	2,732
216	-12,31	2,874	2,881
216	-12,40	3,021	3,029
216	-12,49	3,172	3,180
216	-12,58	3,322	3,332
216	-12,66	3,473	3,483
216	-12,75	3,626	3,636
216	-12,84	3,779	3,790
216	-12,93	3,932	3,944
216	-13,02	4,086	4,099
216	-13,10	4,240	4,254
216	-13,19	4,394	4,409
216	-13,28	4,549	4,564
216	-13,37	4,704	4,719
216	-13,45	4,859	4,874
216	-13,54	5,014	5,029
216	-13,63	5,168	5,184
216	-13,72	5,323	5,339
216	-13,81	5,478	5,493
216	-13,89	5,632	5,647
216	-13,98	5,786	5,801
216	-14,07	5,939	5,954
216	-14,16	6,092	6,107
216	-14,25	6,245	6,259
216	-14,33	6,396	6,411
216	-14,42	6,548	6,562
216	-14,51	6,699	6,713
216	-14,60	6,849	6,863
216	-14,69	6,999	7,012
216	-14,77	7,148	7,161
216	-14,86	7,297	7,309
216	-14,95	7,444	7,456
216	-15,04	7,592	7,603
216	-15,13	7,738	7,749
216	-15,21	7,883	7,895
216	-15,30	8,029	8,040
216	-15,39	8,173	8,184
216	-15,48	8,317	8,327
216	-15,57	8,460	8,471

216	-15,65	8,602	8,613
216	-15,74	8,744	8,755
216	-15,83	8,885	8,896
216	-15,92	9,026	9,038
216	-16,01	9,165	9,178
216	-16,09	9,305	9,318
216	-16,18	9,444	9,457
216	-16,27	9,582	9,596
216	-16,36	9,720	9,735
216	-16,44	9,857	9,873
216	-16,53	9,994	10,011
216	-16,62	10,131	10,149
216	-16,71	10,267	10,286
216	-16,80	10,403	10,423
216	-16,88	10,539	10,560
216	-16,97	10,674	10,697
216	-17,06	10,810	10,834
216	-17,15	10,945	10,970
216	-17,24	11,080	11,107
216	-17,32	11,215	11,243
216	-17,41	11,350	11,378
216	-17,50	11,484	11,514

Tab. A2. 13 – Valores de momentos da cortina de estacas nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas

cortina de estacas		rebaixamento	afastamento
X	Y	Moment [KNm]	Moment [KNm]
215,8	-7,00	-89,3	-194,2
215,8	-7,14	-89,3	-194,2
215,8	-7,27	-77,0	-173,0
215,8	-7,41	-64,7	-151,7
215,8	-7,55	-57,5	-135,7
215,8	-7,68	-50,3	-119,7
215,8	-7,82	-47,9	-108,7
215,8	-7,96	-45,4	-97,6
215,8	-8,10	-47,2	-90,9
215,8	-8,23	-49,0	-84,2
215,8	-8,37	-54,4	-81,3
215,8	-8,51	-59,9	-78,5
215,8	-8,64	-68,4	-78,8
215,8	-8,78	-76,9	-79,1
215,8	-8,92	-87,7	-81,9
215,8	-9,05	-98,5	-84,8
215,8	-9,19	-110,7	-89,3
215,8	-9,33	-122,8	-93,8
215,8	-9,46	-135,1	-99,3
215,8	-9,60	-147,5	-104,7
215,8	-9,74	-158,6	-110,1
215,8	-9,88	-169,8	-115,6
215,8	-10,01	-178,1	-120,3
215,8	-10,15	-186,4	-125,0
215,8	-10,29	-191,2	-128,4
215,8	-10,42	-196,0	-131,8
215,8	-10,56	-197,5	-133,5
215,8	-10,70	-198,9	-135,3
215,8	-10,83	-197,0	-135,4
215,8	-10,97	-195,2	-135,5
215,8	-11,11	-190,5	-134,0
215,8	-11,24	-185,8	-132,4
215,8	-11,38	-178,8	-129,4
215,8	-11,52	-171,9	-126,3
215,8	-11,65	-163,2	-121,9
215,8	-11,79	-154,6	-117,5
215,8	-11,93	-144,9	-112,0
215,8	-12,07	-135,2	-106,6
215,8	-12,20	-124,9	-100,2
215,8	-12,34	-114,6	-93,9
215,8	-12,48	-104,1	-87,0
215,8	-12,61	-93,7	-80,1
215,8	-12,75	-83,5	-72,8
215,8	-12,89	-73,2	-65,5
215,8	-13,02	-63,5	-58,0
215,8	-13,16	-53,7	-50,5
215,8	-13,30	-44,5	-42,9
215,8	-13,43	-35,3	-35,3
215,8	-13,57	-26,8	-27,7
215,8	-13,71	-18,3	-20,2
215,8	-13,85	-10,4	-12,7
215,8	-13,98	-2,5	-5,3
215,8	-14,12	4,8	2,1
215,8	-14,26	12,0	9,4
215,8	-14,39	18,8	16,5
215,8	-14,53	25,6	23,7

215,8	-14,67	32,1	30,7
215,8	-14,80	38,6	37,7
215,8	-14,94	45,0	44,7
215,8	-15,08	51,4	51,6
215,8	-15,21	57,8	58,4
215,8	-15,35	64,1	65,2
215,8	-15,49	70,7	71,8
215,8	-15,63	77,2	78,5
215,8	-15,76	84,0	85,0
215,8	-15,90	90,8	91,6
215,8	-16,04	97,8	97,9
215,8	-16,17	104,9	104,1
215,8	-16,31	112,0	110,0
215,8	-16,45	119,1	115,9
215,8	-16,58	126,0	121,3
215,8	-16,72	132,9	126,6
215,8	-16,86	139,1	131,1
215,8	-16,99	145,3	135,5
215,8	-17,13	150,0	138,8
215,8	-17,27	154,8	142,0
215,8	-17,40	157,0	143,8
215,8	-17,54	159,2	145,6
215,8	-17,68	159,3	146,2
215,8	-17,82	159,4	146,7
215,8	-17,95	158,7	146,6
215,8	-18,09	158,0	146,6
215,8	-18,23	157,0	146,2
215,8	-18,36	156,1	145,8
215,8	-18,50	154,9	145,2
215,8	-18,64	153,8	144,7
215,8	-18,77	152,6	144,0
215,8	-18,91	151,4	143,3
215,8	-19,05	150,2	142,5
215,8	-19,18	149,1	141,8
215,8	-19,32	147,9	141,0
215,8	-19,46	146,7	140,2
215,8	-19,60	145,6	139,5
215,8	-19,73	144,5	138,7
215,8	-19,87	143,5	138,0
215,8	-20,01	142,5	137,4
215,8	-20,14	141,6	136,7
215,8	-20,28	140,6	136,1
215,8	-20,42	139,9	135,6
215,8	-20,55	139,1	135,1
215,8	-20,69	138,4	134,7
215,8	-20,83	137,8	134,3
215,8	-20,96	137,3	134,1
215,8	-21,10	136,8	133,8
215,8	-21,24	136,5	133,7
215,8	-21,38	136,2	133,6
215,8	-21,51	136,0	133,6
215,8	-21,65	135,8	133,6
215,8	-21,79	135,8	133,7
215,8	-21,92	135,7	133,8
215,8	-22,06	135,8	134,1
215,8	-22,20	135,9	134,3
215,8	-22,33	136,1	134,7
215,8	-22,47	136,4	135,0
215,8	-22,61	136,7	135,5
215,8	-22,74	137,0	135,9
215,8	-22,88	137,4	136,4

215,8	-23,02	137,7	136,8
215,8	-23,15	138,1	137,3
215,8	-23,29	138,5	137,8
215,8	-23,43	138,9	138,2
215,8	-23,57	139,3	138,7
215,8	-23,70	139,6	139,0
215,8	-23,84	139,8	139,4
215,8	-23,98	140,0	139,6
215,8	-24,11	140,2	139,8
215,8	-24,25	140,2	139,8
215,8	-24,39	140,2	139,8
215,8	-24,52	139,9	139,6
215,8	-24,66	139,6	139,3
215,8	-24,80	139,0	138,7
215,8	-24,93	138,4	138,1
215,8	-25,07	137,4	137,1
215,8	-25,21	136,4	136,0
215,8	-25,35	134,8	134,5
215,8	-25,48	133,2	132,9
215,8	-25,62	131,0	130,6
215,8	-25,76	128,7	128,4
215,8	-25,89	125,6	125,3
215,8	-26,03	122,6	122,2
215,8	-26,17	118,5	118,2
215,8	-26,30	114,5	114,1
215,8	-26,44	109,4	109,0
215,8	-26,58	104,2	103,8
215,8	-26,71	97,7	97,3
215,8	-26,85	91,2	90,8
215,8	-26,99	83,2	82,8
215,8	-27,13	75,2	74,8
215,8	-27,26	65,5	65,1
215,8	-27,40	55,8	55,4
215,8	-27,54	44,2	43,8
215,8	-27,67	32,5	32,2
215,8	-27,81	18,7	18,4
215,8	-27,95	4,9	4,6
215,8	-28,08	-11,3	-11,6
215,8	-28,22	-27,5	-27,8
215,8	-28,36	-46,3	-46,6
215,8	-28,49	-65,2	-65,4
215,8	-28,63	-86,9	-87,0
215,8	-28,77	-108,6	-108,6
215,8	-28,90	-133,3	-133,3
215,8	-29,04	-158,0	-157,9
215,8	-29,18	-185,9	-185,7
215,8	-29,32	-213,7	-213,5
215,8	-29,45	-244,7	-244,4
215,8	-29,59	-275,7	-275,3
215,8	-29,73	-309,5	-309,0
215,8	-29,86	-343,3	-342,7
215,8	-30,00	-359,0	-358,5
215,8	-30,13	-374,7	-374,3
215,8	-30,25	-360,5	-360,7
215,8	-30,38	-346,3	-347,0
215,8	-30,50	-318,2	-319,0
215,8	-30,63	-290,2	-290,9
215,8	-30,75	-258,1	-258,3
215,8	-30,88	-226,1	-225,7
215,8	-31,00	-194,6	-194,1
215,8	-31,13	-163,2	-162,4

215,8	-31,25	-134,6	-134,0
215,8	-31,38	-106,1	-105,6
215,8	-31,50	-81,2	-81,5
215,8	-31,63	-56,4	-57,3
215,8	-31,75	-36,5	-37,6
215,8	-31,88	-16,6	-17,8
215,8	-32,00	-16,6	-17,8

Tab. A2. 14 – Valores de esforços transversos da cortina de estacas nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas

cortina de estacas		rebaixamento	afastamento
X	Y	Shear Force [KN]	Shear Force [KN]
215,8	-7,14	-109,0	-175,1
215,8	-7,41	-70,5	-135,4
215,8	-7,68	-34,5	-98,0
215,8	-7,96	-1,6	-64,0
215,8	-8,23	27,6	-33,8
215,8	-8,51	52,4	-8,0
215,8	-8,78	72,0	12,8
215,8	-9,05	85,6	28,3
215,8	-9,33	91,7	37,9
215,8	-9,60	88,7	41,4
215,8	-9,88	74,5	38,3
215,8	-10,15	47,0	30,3
215,8	-10,42	23,1	19,2
215,8	-10,70	-2,4	7,0
215,8	-10,97	-24,8	-5,5
215,8	-11,24	-43,6	-17,2
215,8	-11,52	-58,0	-27,7
215,8	-11,79	-68,0	-36,4
215,8	-12,07	-74,0	-43,6
215,8	-12,34	-76,4	-48,7
215,8	-12,61	-76,0	-52,3
215,8	-12,89	-73,5	-54,4
215,8	-13,16	-69,5	-55,4
215,8	-13,43	-64,7	-55,5
215,8	-13,71	-59,8	-54,9
215,8	-13,98	-55,1	-54,0
215,8	-14,26	-51,2	-52,9
215,8	-14,53	-48,3	-51,8
215,8	-14,80	-46,6	-50,8
215,8	-15,08	-46,3	-50,1
215,8	-15,35	-47,0	-49,2
215,8	-15,63	-48,6	-48,3
215,8	-15,90	-50,6	-47,0
215,8	-16,17	-52,0	-44,8
215,8	-16,45	-52,0	-41,4
215,8	-16,72	-49,0	-36,3
215,8	-16,99	-41,6	-28,9
215,8	-17,27	-27,3	-18,7
215,8	-17,54	-4,9	-7,4
215,8	-17,82	3,1	-0,6
215,8	-18,09	6,8	1,7
215,8	-18,36	7,6	3,6
215,8	-18,64	8,9	4,8
215,8	-18,91	8,6	5,4
215,8	-19,18	8,7	5,6
215,8	-19,46	8,4	5,6
215,8	-19,73	7,8	5,3

215,8	-20,01	7,2	4,8
215,8	-20,28	6,1	4,1
215,8	-20,55	5,3	3,3
215,8	-20,83	4,1	2,5
215,8	-21,10	3,0	1,4
215,8	-21,38	1,9	0,5
215,8	-21,65	0,8	-0,5
215,8	-21,92	-0,3	-1,4
215,8	-22,20	-1,2	-2,3
215,8	-22,47	-1,9	-2,9
215,8	-22,74	-2,6	-3,3
215,8	-23,02	-2,9	-3,5
215,8	-23,29	-3,0	-3,4
215,8	-23,57	-2,5	-2,9
215,8	-23,84	-1,8	-2,1
215,8	-24,11	-0,8	-1,0
215,8	-24,39	0,9	0,7
215,8	-24,66	3,0	2,9
215,8	-24,93	5,8	5,8
215,8	-25,21	9,2	9,4
215,8	-25,48	13,8	13,7
215,8	-25,76	19,1	19,3
215,8	-26,03	25,7	25,6
215,8	-26,30	33,2	33,4
215,8	-26,58	42,2	42,3
215,8	-26,85	52,6	52,5
215,8	-27,13	64,1	64,2
215,8	-27,40	77,7	77,4
215,8	-27,67	92,4	92,6
215,8	-27,95	109,3	109,0
215,8	-28,22	127,7	127,3
215,8	-28,49	147,4	147,3
215,8	-28,77	169,6	168,8
215,8	-29,04	191,7	191,4
215,8	-29,32	215,2	214,5
215,8	-29,59	237,3	236,6
215,8	-29,86	256,5	255,8
215,8	-30,13	-30,0	-27,0
215,8	-30,38	-197,0	-191,7
215,8	-30,63	-252,3	-257,0
215,8	-30,88	-260,1	-264,4
215,8	-31,13	-243,4	-242,4
215,8	-31,38	-213,1	-211,8
215,8	-31,63	-184,7	-174,6
215,8	-31,88	-133,1	-142,1

Tab. A2. 15 - Valores de deslocamentos da cortina de estacas nos cenários de rebaixamento e afastamento da cortina de estacas

cortina de estacas		rebaixamento	afastamento
X	Y	Displacement [mm]	Displacement [mm]
215,8	-7,00	0,008	0,027
215,8	-7,06	0,011	0,034
215,8	-7,13	0,014	0,041
215,8	-7,19	0,017	0,048
215,8	-7,25	0,020	0,055
215,8	-7,31	0,024	0,067
215,8	-7,38	0,030	0,081
215,8	-7,44	0,036	0,095
215,8	-7,50	0,042	0,108
215,8	-7,56	0,048	0,124
215,8	-7,63	0,056	0,143
215,8	-7,69	0,064	0,162
215,8	-7,75	0,072	0,181
215,8	-7,81	0,080	0,200
215,8	-7,88	0,090	0,223
215,8	-7,94	0,099	0,246
215,8	-8,00	0,109	0,269
215,8	-8,07	0,119	0,293
215,8	-8,13	0,130	0,318
215,8	-8,19	0,141	0,345
215,8	-8,25	0,153	0,371
215,8	-8,32	0,165	0,398
215,8	-8,38	0,177	0,425
215,8	-8,44	0,190	0,455
215,8	-8,50	0,204	0,485
215,8	-8,57	0,218	0,515
215,8	-8,63	0,231	0,545
215,8	-8,69	0,247	0,577
215,8	-8,75	0,263	0,610
215,8	-8,82	0,280	0,643
215,8	-8,88	0,296	0,676
215,8	-8,94	0,314	0,710
215,8	-9,01	0,333	0,746
215,8	-9,07	0,353	0,782
215,8	-9,13	0,373	0,818
215,8	-9,19	0,393	0,854
215,8	-9,26	0,417	0,894
215,8	-9,32	0,441	0,933
215,8	-9,38	0,465	0,973
215,8	-9,44	0,489	1,012
215,8	-9,51	0,516	1,054
215,8	-9,57	0,545	1,097
215,8	-9,63	0,574	1,141
215,8	-9,69	0,604	1,184
215,8	-9,76	0,635	1,229
215,8	-9,82	0,670	1,276
215,8	-9,88	0,705	1,324
215,8	-9,94	0,741	1,371
215,8	-10,01	0,776	1,419
215,8	-10,07	0,818	1,471
215,8	-10,13	0,860	1,523
215,8	-10,20	0,902	1,575
215,8	-10,26	0,944	1,627
215,8	-10,32	0,990	1,682
215,8	-10,38	1,040	1,740
215,8	-10,45	1,090	1,797

215,8	-10,51	1,139	1,854
215,8	-10,57	1,190	1,912
215,8	-10,63	1,248	1,974
215,8	-10,70	1,305	2,037
215,8	-10,76	1,362	2,099
215,8	-10,82	1,419	2,161
215,8	-10,88	1,483	2,228
215,8	-10,95	1,548	2,295
215,8	-11,01	1,613	2,363
215,8	-11,07	1,677	2,431
215,8	-11,14	1,746	2,500
215,8	-11,20	1,818	2,573
215,8	-11,26	1,890	2,646
215,8	-11,32	1,962	2,719
215,8	-11,39	2,035	2,792
215,8	-11,45	2,114	2,870
215,8	-11,51	2,193	2,947
215,8	-11,57	2,273	3,025
215,8	-11,64	2,352	3,103
215,8	-11,70	2,435	3,184
215,8	-11,76	2,521	3,266
215,8	-11,82	2,606	3,349
215,8	-11,89	2,692	3,431
215,8	-11,95	2,779	3,515
215,8	-12,01	2,870	3,602
215,8	-12,08	2,961	3,689
215,8	-12,14	3,052	3,776
215,8	-12,20	3,143	3,862
215,8	-12,26	3,239	3,953
215,8	-12,33	3,335	4,044
215,8	-12,39	3,431	4,134
215,8	-12,45	3,527	4,225
215,8	-12,51	3,625	4,318
215,8	-12,58	3,725	4,412
215,8	-12,64	3,825	4,506
215,8	-12,70	3,925	4,600
215,8	-12,76	4,025	4,694
215,8	-12,83	4,129	4,791
215,8	-12,89	4,232	4,888
215,8	-12,95	4,335	4,985
215,8	-13,02	4,438	5,082
215,8	-13,08	4,543	5,181
215,8	-13,14	4,649	5,280
215,8	-13,20	4,754	5,379
215,8	-13,27	4,860	5,478
215,8	-13,33	4,966	5,578
215,8	-13,39	5,074	5,678
215,8	-13,45	5,181	5,779
215,8	-13,52	5,288	5,880
215,8	-13,58	5,395	5,981
215,8	-13,64	5,504	6,083
215,8	-13,70	5,612	6,184
215,8	-13,77	5,720	6,286
215,8	-13,83	5,829	6,388
215,8	-13,89	5,937	6,490
215,8	-13,95	6,046	6,593
215,8	-14,02	6,155	6,695
215,8	-14,08	6,263	6,797
215,8	-14,14	6,372	6,899
215,8	-14,21	6,481	7,002
215,8	-14,27	6,589	7,104

215,8	-14,33	6,698	7,206
215,8	-14,39	6,806	7,308
215,8	-14,46	6,914	7,410
215,8	-14,52	7,022	7,511
215,8	-14,58	7,130	7,613
215,8	-14,64	7,237	7,715
215,8	-14,71	7,344	7,815
215,8	-14,77	7,451	7,916
215,8	-14,83	7,557	8,016
215,8	-14,89	7,664	8,116
215,8	-14,96	7,770	8,216
215,8	-15,02	7,875	8,315
215,8	-15,08	7,980	8,414
215,8	-15,15	8,085	8,512
215,8	-15,21	8,189	8,611
215,8	-15,27	8,292	8,708
215,8	-15,33	8,395	8,804
215,8	-15,40	8,497	8,901
215,8	-15,46	8,600	8,997
215,8	-15,52	8,701	9,092
215,8	-15,58	8,801	9,186
215,8	-15,65	8,901	9,279
215,8	-15,71	9,001	9,373
215,8	-15,77	9,100	9,466
215,8	-15,83	9,197	9,556
215,8	-15,90	9,293	9,647
215,8	-15,96	9,390	9,737
215,8	-16,02	9,486	9,827
215,8	-16,09	9,580	9,915
215,8	-16,15	9,673	10,001
215,8	-16,21	9,766	10,088
215,8	-16,27	9,859	10,174
215,8	-16,34	9,950	10,259
215,8	-16,40	10,038	10,341
215,8	-16,46	10,127	10,424
215,8	-16,52	10,215	10,506
215,8	-16,59	10,303	10,588
215,8	-16,65	10,387	10,666
215,8	-16,71	10,471	10,743
215,8	-16,77	10,554	10,821
215,8	-16,84	10,638	10,899
215,8	-16,90	10,718	10,973
215,8	-16,96	10,796	11,045
215,8	-17,03	10,874	11,118
215,8	-17,09	10,953	11,190
215,8	-17,15	11,029	11,261
215,8	-17,21	11,101	11,329
215,8	-17,28	11,174	11,396
215,8	-17,34	11,246	11,463
215,8	-17,40	11,318	11,530
215,8	-17,46	11,385	11,592
215,8	-17,53	11,452	11,654
215,8	-17,59	11,519	11,716
215,8	-17,65	11,586	11,778
215,8	-17,71	11,649	11,836
215,8	-17,78	11,709	11,892
215,8	-17,84	11,769	11,948
215,8	-17,90	11,829	12,004
215,8	-17,96	11,887	12,059
215,8	-18,03	11,942	12,109
215,8	-18,09	11,996	12,160

215,8	-18,15	12,050	12,210
215,8	-18,22	12,104	12,260
215,8	-18,28	12,153	12,306
215,8	-18,34	12,201	12,350
215,8	-18,40	12,249	12,395
215,8	-18,47	12,297	12,440
215,8	-18,53	12,343	12,482
215,8	-18,59	12,385	12,521
215,8	-18,65	12,427	12,560
215,8	-18,72	12,469	12,599
215,8	-18,78	12,511	12,638
215,8	-18,84	12,547	12,671
215,8	-18,90	12,583	12,705
215,8	-18,97	12,619	12,738
215,8	-19,03	12,655	12,772
215,8	-19,09	12,687	12,802
215,8	-19,16	12,718	12,830
215,8	-19,22	12,748	12,858
215,8	-19,28	12,778	12,886
215,8	-19,34	12,807	12,912
215,8	-19,41	12,832	12,934
215,8	-19,47	12,856	12,957
215,8	-19,53	12,881	12,980
215,8	-19,59	12,905	13,002
215,8	-19,66	12,925	13,020
215,8	-19,72	12,944	13,037
215,8	-19,78	12,963	13,054
215,8	-19,84	12,982	13,071
215,8	-19,91	12,998	13,085
215,8	-19,97	13,011	13,097
215,8	-20,03	13,025	13,109
215,8	-20,10	13,038	13,121
215,8	-20,16	13,050	13,131
215,8	-20,22	13,058	13,138
215,8	-20,28	13,066	13,145
215,8	-20,35	13,074	13,151
215,8	-20,41	13,083	13,158
215,8	-20,47	13,086	13,160
215,8	-20,53	13,089	13,161
215,8	-20,60	13,091	13,163
215,8	-20,66	13,094	13,164
215,8	-20,72	13,094	13,163
215,8	-20,78	13,091	13,159
215,8	-20,85	13,088	13,155
215,8	-20,91	13,086	13,151
215,8	-20,97	13,082	13,147
215,8	-21,04	13,074	13,138
215,8	-21,10	13,066	13,129
215,8	-21,16	13,058	13,120
215,8	-21,22	13,050	13,111
215,8	-21,29	13,038	13,098
215,8	-21,35	13,025	13,084
215,8	-21,41	13,012	13,069
215,8	-21,47	12,999	13,055
215,8	-21,54	12,983	13,039
215,8	-21,60	12,965	13,020
215,8	-21,66	12,946	13,000
215,8	-21,72	12,928	12,981
215,8	-21,79	12,909	12,962
215,8	-21,85	12,886	12,937
215,8	-21,91	12,862	12,913

215,8	-21,97	12,838	12,888
215,8	-22,04	12,814	12,864
215,8	-22,10	12,787	12,836
215,8	-22,16	12,758	12,806
215,8	-22,23	12,729	12,777
215,8	-22,29	12,700	12,747
215,8	-22,35	12,670	12,716
215,8	-22,41	12,636	12,681
215,8	-22,48	12,601	12,646
215,8	-22,54	12,567	12,611
215,8	-22,60	12,533	12,576
215,8	-22,66	12,494	12,537
215,8	-22,73	12,454	12,497
215,8	-22,79	12,415	12,457
215,8	-22,85	12,375	12,417
215,8	-22,91	12,333	12,374
215,8	-22,98	12,288	12,328
215,8	-23,04	12,243	12,283
215,8	-23,10	12,198	12,238
215,8	-23,17	12,153	12,191
215,8	-23,23	12,103	12,141
215,8	-23,29	12,052	12,090
215,8	-23,35	12,002	12,039
215,8	-23,42	11,952	11,989
215,8	-23,48	11,898	11,934
215,8	-23,54	11,842	11,878
215,8	-23,60	11,787	11,822
215,8	-23,67	11,731	11,766
215,8	-23,73	11,673	11,708
215,8	-23,79	11,612	11,646
215,8	-23,85	11,552	11,585
215,8	-23,92	11,491	11,524
215,8	-23,98	11,429	11,462
215,8	-24,04	11,363	11,395
215,8	-24,11	11,297	11,328
215,8	-24,17	11,231	11,262
215,8	-24,23	11,164	11,195
215,8	-24,29	11,094	11,124
215,8	-24,36	11,022	11,052
215,8	-24,42	10,951	10,980
215,8	-24,48	10,879	10,908
215,8	-24,54	10,806	10,834
215,8	-24,61	10,728	10,757
215,8	-24,67	10,651	10,679
215,8	-24,73	10,574	10,602
215,8	-24,79	10,497	10,524
215,8	-24,86	10,415	10,442
215,8	-24,92	10,332	10,359
215,8	-24,98	10,250	10,276
215,8	-25,05	10,167	10,193
215,8	-25,11	10,082	10,107
215,8	-25,17	9,994	10,019
215,8	-25,23	9,906	9,931
215,8	-25,30	9,819	9,842
215,8	-25,36	9,730	9,753
215,8	-25,42	9,637	9,660
215,8	-25,48	9,544	9,566
215,8	-25,55	9,451	9,473
215,8	-25,61	9,358	9,380
215,8	-25,67	9,260	9,282
215,8	-25,73	9,162	9,184

215,8	-25,80	9,064	9,085
215,8	-25,86	8,966	8,987
215,8	-25,92	8,866	8,886
215,8	-25,98	8,763	8,783
215,8	-26,05	8,660	8,680
215,8	-26,11	8,557	8,576
215,8	-26,17	8,454	8,473
215,8	-26,24	8,346	8,365
215,8	-26,30	8,239	8,257
215,8	-26,36	8,131	8,149
215,8	-26,42	8,024	8,041
215,8	-26,49	7,913	7,931
215,8	-26,55	7,802	7,818
215,8	-26,61	7,690	7,706
215,8	-26,67	7,578	7,594
215,8	-26,74	7,465	7,481
215,8	-26,80	7,350	7,365
215,8	-26,86	7,234	7,249
215,8	-26,92	7,119	7,134
215,8	-26,99	7,003	7,018
215,8	-27,05	6,884	6,899
215,8	-27,11	6,766	6,780
215,8	-27,18	6,647	6,661
215,8	-27,24	6,528	6,542
215,8	-27,30	6,408	6,421
215,8	-27,36	6,287	6,300
215,8	-27,43	6,165	6,178
215,8	-27,49	6,044	6,057
215,8	-27,55	5,922	5,935
215,8	-27,61	5,799	5,811
215,8	-27,68	5,676	5,688
215,8	-27,74	5,553	5,565
215,8	-27,80	5,430	5,442
215,8	-27,86	5,307	5,318
215,8	-27,93	5,183	5,194
215,8	-27,99	5,059	5,070
215,8	-28,05	4,936	4,946
215,8	-28,12	4,812	4,822
215,8	-28,18	4,689	4,699
215,8	-28,24	4,566	4,575
215,8	-28,30	4,442	4,452
215,8	-28,37	4,319	4,328
215,8	-28,43	4,198	4,207
215,8	-28,49	4,076	4,085
215,8	-28,55	3,955	3,963
215,8	-28,62	3,833	3,841
215,8	-28,68	3,714	3,722
215,8	-28,74	3,596	3,604
215,8	-28,80	3,478	3,485
215,8	-28,87	3,360	3,367
215,8	-28,93	3,243	3,251
215,8	-28,99	3,130	3,137
215,8	-29,06	3,017	3,024
215,8	-29,12	2,904	2,911
215,8	-29,18	2,791	2,798
215,8	-29,24	2,685	2,692
215,8	-29,31	2,579	2,585
215,8	-29,37	2,473	2,479
215,8	-29,43	2,367	2,373
215,8	-29,49	2,268	2,273
215,8	-29,56	2,172	2,177

215,8	-29,62	2,076	2,081
215,8	-29,68	1,980	1,984
215,8	-29,74	1,886	1,891
215,8	-29,81	1,800	1,804
215,8	-29,87	1,714	1,718
215,8	-29,93	1,628	1,632
215,8	-29,99	1,542	1,545
215,8	-30,06	1,470	1,473
215,8	-30,12	1,400	1,402
215,8	-30,18	1,329	1,332
215,8	-30,25	1,259	1,261
215,8	-30,31	1,200	1,202
215,8	-30,37	1,142	1,144
215,8	-30,43	1,085	1,086
215,8	-30,50	1,027	1,028
215,8	-30,56	0,979	0,980
215,8	-30,62	0,933	0,933
215,8	-30,68	0,886	0,886
215,8	-30,75	0,839	0,839
215,8	-30,81	0,801	0,801
215,8	-30,87	0,763	0,763
215,8	-30,93	0,725	0,725
215,8	-31,00	0,687	0,687
215,8	-31,06	0,656	0,655
215,8	-31,12	0,625	0,624
215,8	-31,19	0,594	0,593
215,8	-31,25	0,563	0,561
215,8	-31,31	0,537	0,535
215,8	-31,37	0,510	0,508
215,8	-31,44	0,484	0,482
215,8	-31,50	0,458	0,455
215,8	-31,56	0,434	0,431
215,8	-31,62	0,411	0,408
215,8	-31,69	0,388	0,384
215,8	-31,75	0,365	0,361
215,8	-31,81	0,342	0,337
215,8	-31,87	0,318	0,314
215,8	-31,94	0,295	0,290
215,8	-32,00	0,272	0,267