








| | | | | | |
|--|---|----------------------|------------------------|------|---------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 0 | 31/05/10 | E | Para Construção | | |
| REVISÃO Nº | DATA | NATUREZA DA REVISÃO | DESCRIÇÃO DAS REVISÕES | | |
| Tipo de Emissão | A. Preliminar | D. Para Cotação | G. Conforme Construído | | |
| | B. Para Aprovação | E. Para Construção | H. Cancelado | | |
| | C. Para Conhecimento | F. Conforme Comprado | J. De Trabalho | | |
|  | | | | | |
| PROJETO: | EAFO  FPB  | DATA: | 31/05/10 | | |
| PROJETISTA: | - | DATA: | 31/05/10 | | |
| VERIFICAÇÃO: | ACMM  PACL  | DATA: | 31/05/10 | | |
| APROVAÇÃO: | MOG  | DATA: | 31/05/10 | | |
|  <div> MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL </div> | | | | | |
| ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE OBRAS (ATO) - LOTE A | | | | | |
| NOTA TÉCNICA - ATO OBRAS CIVIS - LOTE 2 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ESCAVAÇÕES DO CANAL 1216 (CN-12) | | | | | |
| | DATA | RUBRICA | APROVAÇÃO | DATA | RUBRICA |
| PROJETISTA | | | Logos-Concremat | | |
| DESENHISTA | | | Logos-Concremat | | |
| VERIFICADO | | | | | |
| | | | CLIENTE | | |
| ESCALA | DOCUMENTO Nº PROJETISTA: 885-MIN-ISF-NT-A0085 CLIENTE: 1210-NTC-1201-00-40-031 | | | | REVISÃO |
| | | | | | 0 |

MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL

MI

**Projeto de Integração do Rio São Francisco
com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

NOTA TÉCNICA – ATO – LOTE 2

CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ESCAVAÇÕES DO CANAL 1216 (CN-12)

885-MIN-ISF-NT-A0085
1210-NTC-1201-00-40-031
Rev. 0
Maio/2010

ÍNDICE

| | PÁG. |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 3 |
| 2. LEVANTAMENTO DE CAMPO | 3 |
| 2.1 TRECHO 1 | 5 |
| 2.2 TRECHO 2 | 6 |
| 2.3 TRECHO 3 | 8 |
| 2.4 TRECHO 4 | 11 |
| 2.5 TRECHO 5 | 13 |
| 3. ANÁLISES DE ESTABILIDADE | 15 |
| 3.1 ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL DOS TALUDES | 15 |
| 3.2 ANÁLISES DE ESTABILIDADE PARA OS SISTEMAS DE FRATURAS EM RELAÇÃO AOS TRECHOS DOS TALUDES COM DIREÇÕES DIVERSAS | 16 |
| 3.2.1 Estabilidade Planar | 17 |
| 3.2.2 Análise de Cunhas | 22 |
| 3.3 COMENTÁRIOS GERAIS..... | 24 |
| 4. VERIFICAÇÃO DE CAMPO..... | 25 |
| 4.1 TRECHO ENTRE ESTACAS 3875 E 3902 | 25 |
| 4.2 TRECHO ENTRE ESTACAS 3902 E 4009 | 26 |
| 5. CONSIDERAÇÕES SOBRE O RELATÓRIO DA VECTOR PROJETOS | 26 |
| 6. CONSIDERAÇÕES SOBRE O RELATÓRIO DA TORRES GERALDI | 27 |
| 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 28 |
| ANEXO I - LEVANTAMENTO DE CAMPO | 1 |
| ANEXO II - RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DETALHADO | 7 |

1. INTRODUÇÃO

Esta nota técnica tem por objetivo o segmento de canal CN-12 (1216), parte integrante das obras do PISF. Seu objetivo é a apresentação dos dados de levantamento geológico de campo realizado nos taludes parcialmente escavados do canal, no período de 28/04 a 12/05/10, conforme solicitado pela carta CTE 4990 da Gerenciadora, datada de 22/04/10.

São feitas considerações sobre os resultados das análises realizadas e sobre os relatórios produzidos pela Vecttor Projetos e pelo consultor Torres Geraldi, enviados pela Gerenciadora através da mesma carta CTE 4990.

Os dados de campo foram trabalhados estatisticamente e analisados pelos programas Dips, Rockplan e Swedge, todos eles da Rock Science.

2. LEVANTAMENTO DE CAMPO

Foram levantadas mais de 400 orientações de fraturas que permitiram, através de análise estatística, configurar um padrão de 4 famílias de descontinuidades sub-verticais ou com inclinação pronunciada. Todas as medidas levantadas são apresentadas no Anexo I, na forma de tabelas.

O Quadro 2.1 abaixo caracteriza cada um dos sistemas de fraturamento adotados na análise e a Figura 2.1 a seguir exhibe a distribuição estatística dos fraturamentos.

Todas as informações estruturais fornecidas devem ser lidas como rumo do mergulho (azimute) / inclinação do mergulho com a horizontal.

QUADRO 2.1
CARACTERÍSTICAS DAS FRATURAS

| <i>Família</i> | <i>Rumo / Mergulho</i> | <i>Espaçamento</i> | <i>Persistência</i> | <i>Características</i> |
|----------------|------------------------|---|---|---|
| F1 | 80°/80° | 2 a 3 fraturas por metro, dependendo do trecho podem aparecer até 5 fraturas por metro. | em média 8 metros, podendo chegar até mais que 12m | planas, pouco rugosas, muito oxidadas e com película dura oxidada. |
| F2 | 150°/80° | 2 a 3 fraturas por metro. | em média 6 a 7 metros, podendo chegar até mais que 10m. | planas, pouco rugosas, pouco oxidadas com película dura esverdeada. |
| F3 | 10°/80° | 2 a 3 fraturas por metro, dependendo do trecho podem aparecer até 5 fraturas por metro. | em média 3 a 4 metros, mas podem chegar até 10 m. | planas, pouco lisas geralmente com película dura. |
| F4 | 250°/50° | 2 a 3 fraturas por metro, podendo chegar até 6 ou 7 fraturas por metro. | em média 5 a 6 metros. | planas, rugosas, pouco oxidadas. |

Além destas famílias de discontinuidades, há um sistema F5 que considera as fraturas sub-horizontais, com mergulhos de até 20°, originadas por alívio de carga, fraturas essas geralmente com abertura significativa e preenchimento centimétrico de material de alteração.

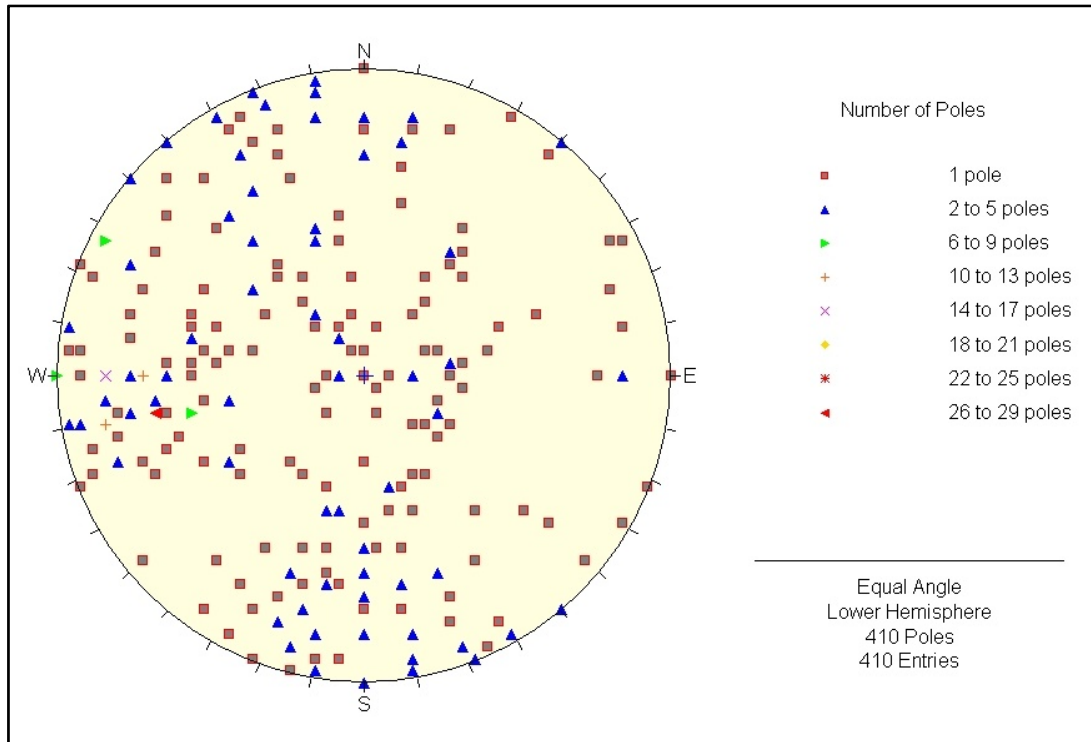


Figura 2.1 – Distribuição Estatística dos Fraturamentos

O canal foi subdividido em 5 trechos e ainda 3 sub-trechos, dada a variação de direção do traçado, com implicação direta na relação dos sistemas de fraturamento com as paredes dos taludes de corte.

A seguir é apresentada uma descrição pormenorizada de cada trecho, com a caracterização das litologias, levantamento das discontinuidades e documentação fotográfica simplificada.

O relatório fotográfico detalhado encontra-se apresentado no Anexo II.

2.1 TRECHO 1

Está compreendido entre as estacas 3875 e 3890 e é caracterizado por granito róseo, de textura média.



Foto 1: E-3870 LE – Taludes definidos pela fratura 160/55 (uma variação da F2). São visíveis fraturas sub-horizontais, mas não foi possível medir atitude devido à grande quantidade de água.

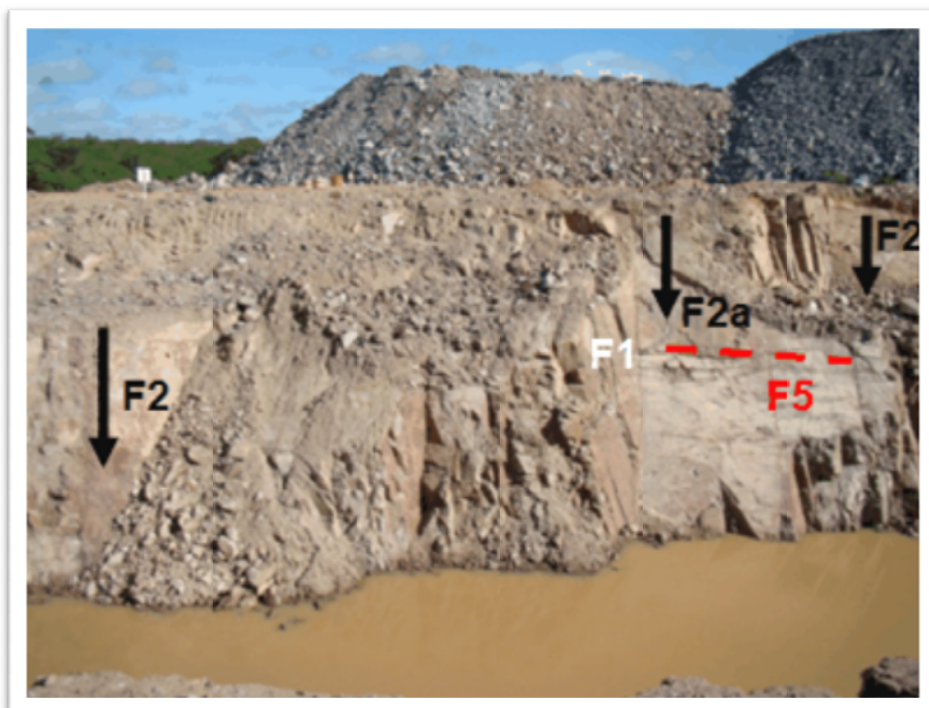


Foto 2: E-3883 LE – Taludes definidos pelas fraturas F2=160/80 e F2a=160/55, F1=90/80 e F5=125/25 com espaçamento de menos de 1 fratura por metro e persistência de mais de 8 metros.

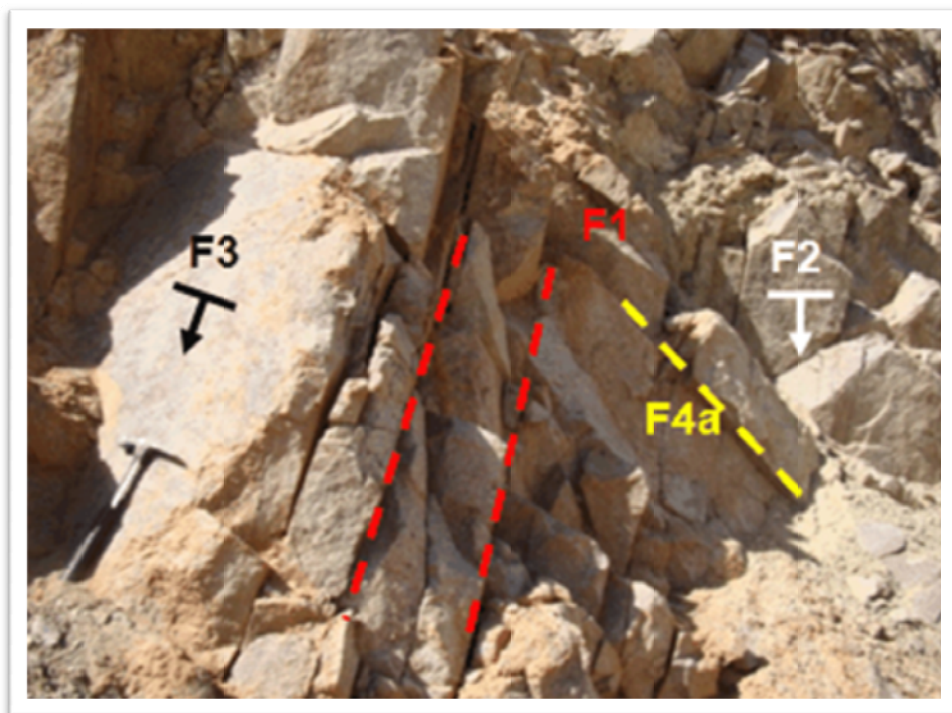


Foto 3: E-3883 LD – Fraturas $F1=85/70$, $F2=160/80$, $F3=10/60$ e $F4a=215/50$.

2.2 TRECHO 2

Está compreendido entre as estacas 3897 e 3912 e é caracterizado por migmatitos intercalados em porções de granitos, gnaisses biotíticos e/ou bandados.

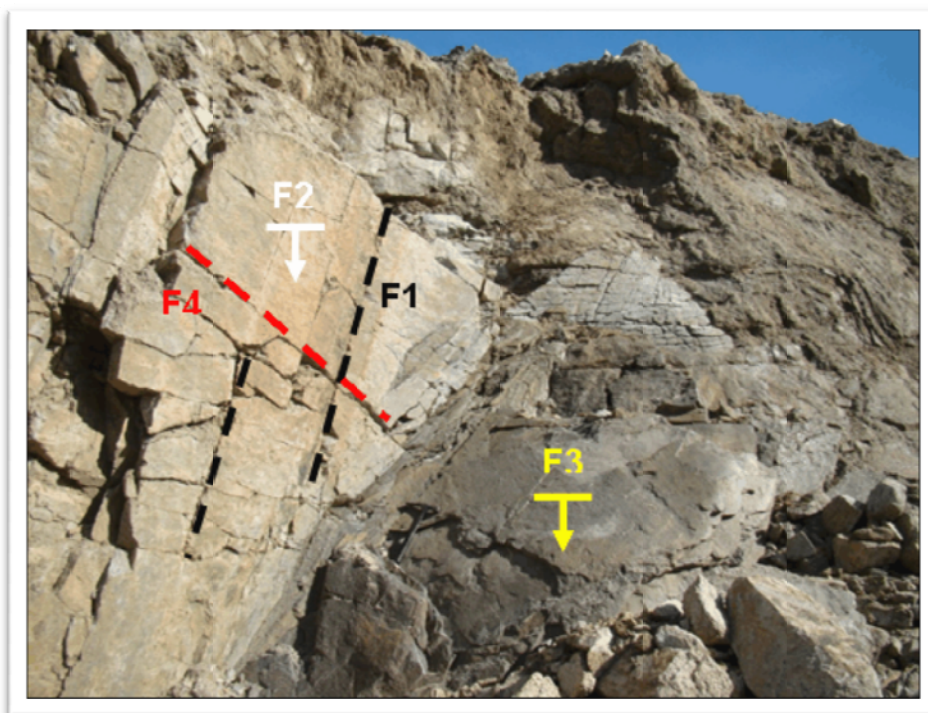


Foto 4: E-3903 LD – Plano formado pela família $F2= 150/90$, $F1=80/80$, $F3=15/60$ e $F4= 260/30$.

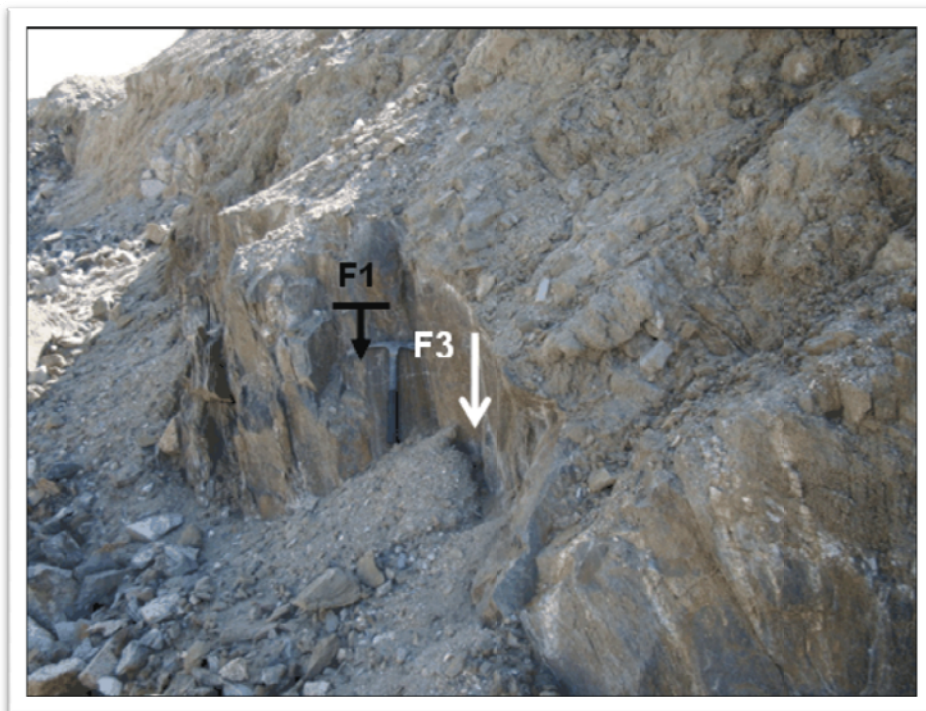


Foto 5: E-3901 LE – Fraturas $F1=80/80$ e $F3=10/80$.

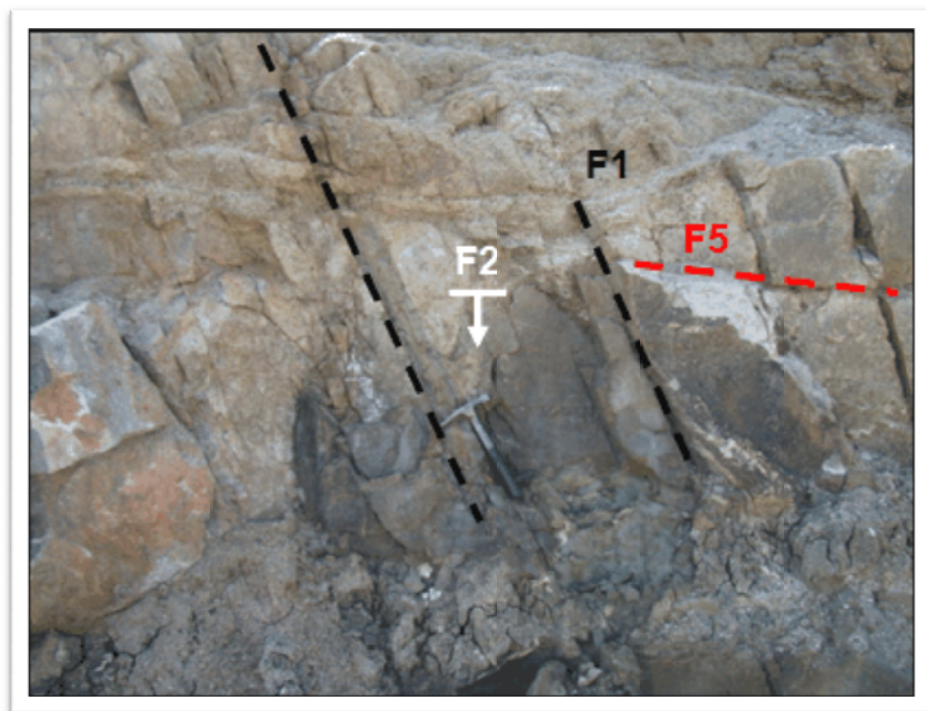


Foto 6: E-3902 LE - Plano formado pela família $F2= 160/90$, $F1=80/75$, $F5=90/15$, com espaçamento de 1 por metro e persistência de aproximadamente 1 metro.

2.3 TRECHO 3

Está compreendido entre as estacas 3912 a 3945 e é caracterizado por migmatitos, com porções gnáissicas e graníticas intercaladas.

Os gnaisses encontrados neste trecho possuem foliação dobrada, de direções e mergulhos muito variados, variando de sub-vertical a sub-horizontal (Fotos 7 e 8).

As intercalações de porções gnáissicas e graníticas são muito variáveis, dificultando a separação de cada trecho.



Foto 7: E- 3912 – Foliação dobrada LE (0/90 e 350/15).



Foto 8: Detalhe da foto anterior.

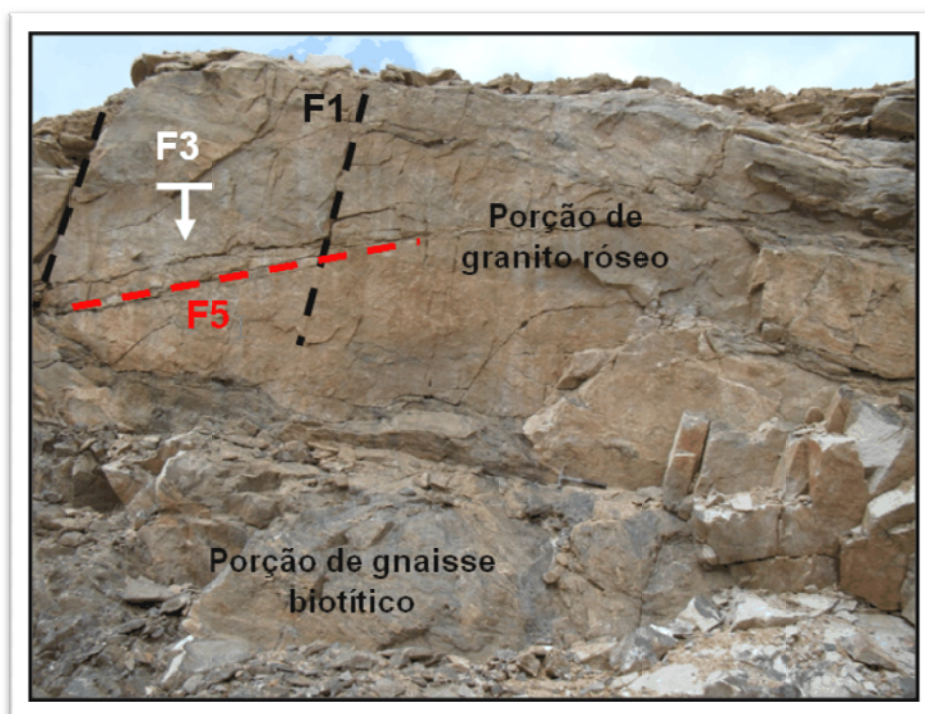


Foto 9: E3914 LD - Plano formado pela família F3 190/80, F1=80/80 e F5=90/10 com espaçamento de 2 a 3 por metro e persistência de mais de 2 metros.



Foto 10: E - 3919 LD - Plano formado pela família F3 190/80 e a predominância da família F1=80/80.

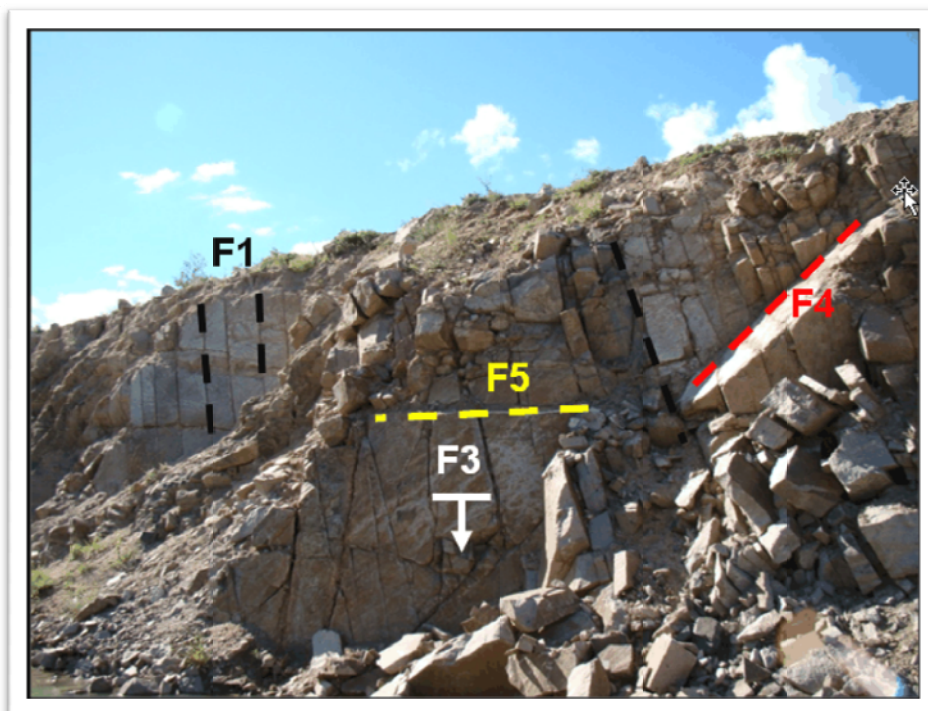


Foto 11: E – 3923 LE – Fraturas $F1=80/80$ e $80/90$. As paredes vistas de frente são $F3 = 10/80$, $F4 = 250/50$ e as sub-horizontais são $F5=NS/sub\text{-}horizontal$, com espaçamento de mais de 3 fraturas por metro e persistência de mais de 5 metros.

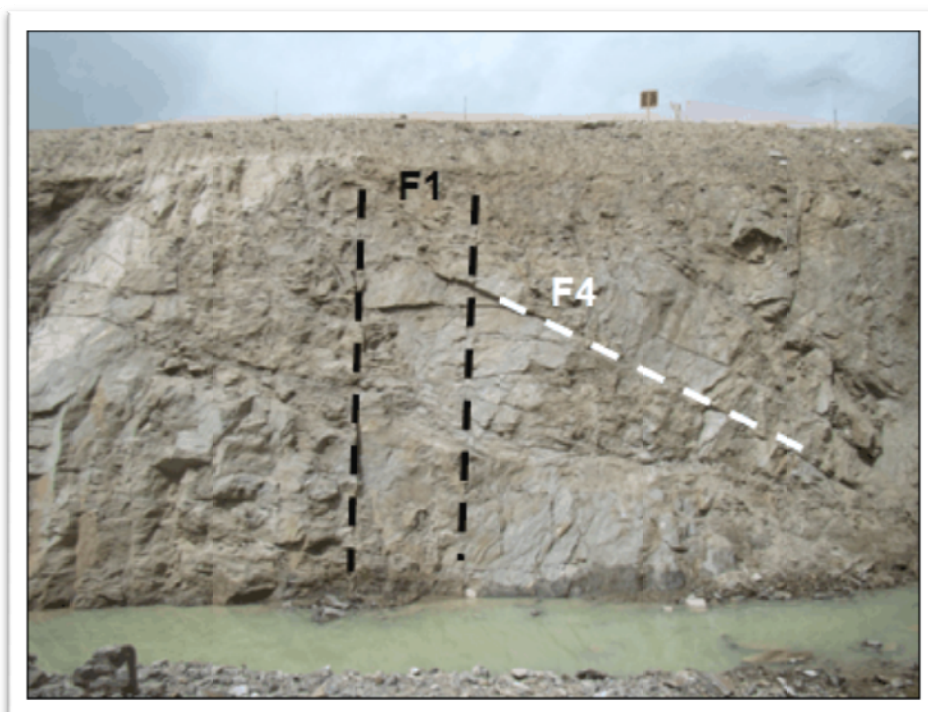


Foto 12: E – 3935 LD – Taludes $0/90$, $F1=80/90$ e $F4=260/30$.

2.4 TRECHO 4

Está compreendido entre as estacas 3945 a 3974 e é caracterizado por migmatitos, predominância de gnaisses bandados com porções micáceas (biotita e muscovita) e com granada. A foliação neste trecho, como nos outros, é muito variável em direção e em mergulho.



Foto 13: E 3962 LE - Gnaiss bandado.

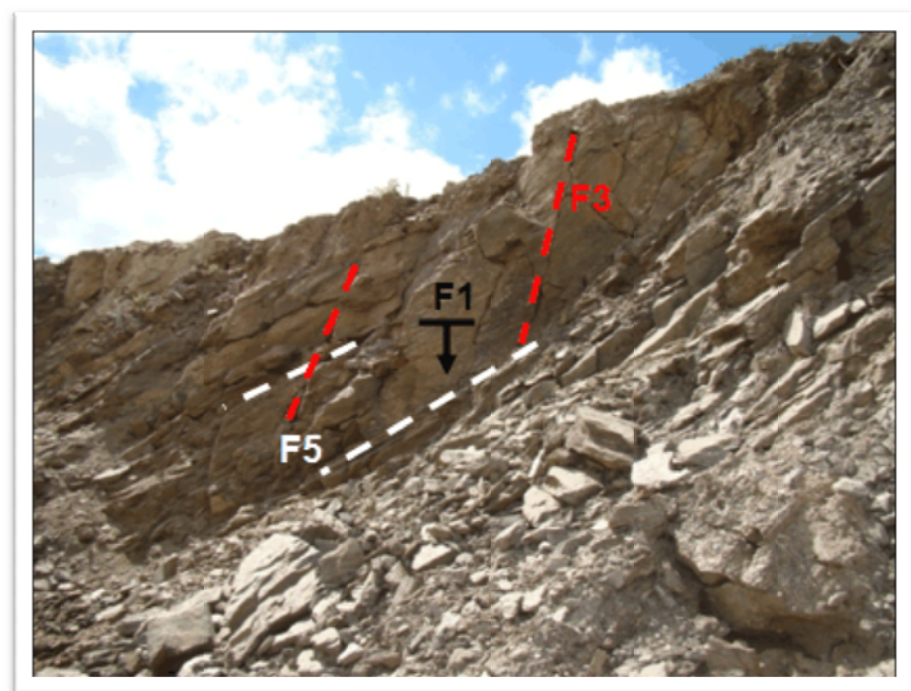


Foto 14: E 3968 LD - Plano formado pela família F1 80/80, F3=10/80 ou 10/70. Os planos de foliação coincidem com a F5=0/30, com espaçamento de até 10 fraturas por metro e persistência de mais de 5 metros.

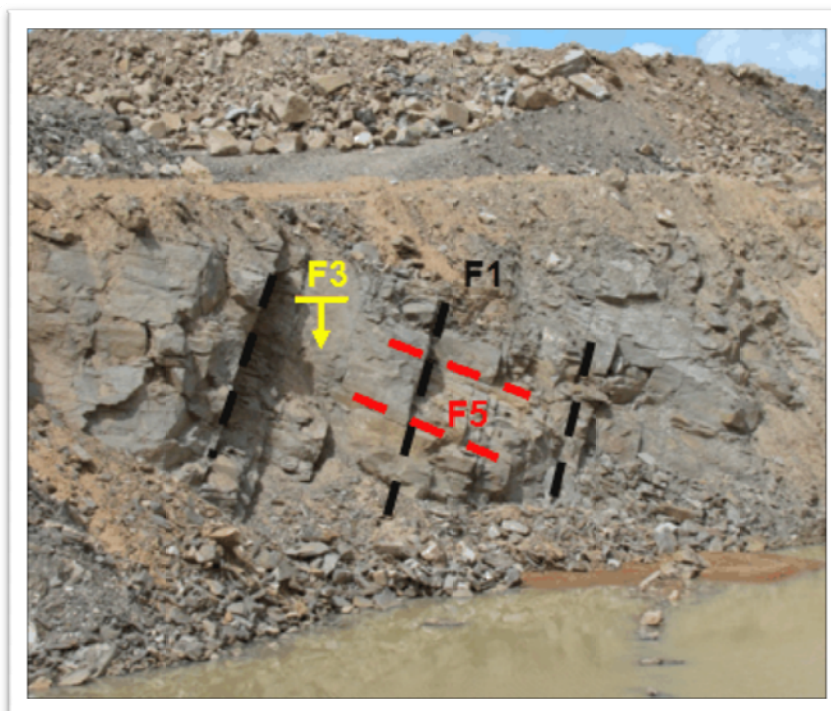


Foto 15: E 3974 LD – O plano formado pela família F1 80/80, F3=10/80 e os planos de foliação coincidentes com F5=0/30 com espaçamento de até 10 fraturas por metro e persistência de mais de 5 metros.



Foto 16: E 3964 LE – Talude 115/80 e uma família de fratura definida pela foliação Sn=350/40.

2.5 TRECHO 5

Está compreendido entre as estacas 3974 a 4009 e é caracterizado por migmatitos, predominância de porções graníticas e porções gnáissicas subordinadas. Também é possível observar intrusões máficas por vezes cortando os migmatitos por vezes em xenólitos.



Foto 17: E 3984 LD – Injeção máfica.

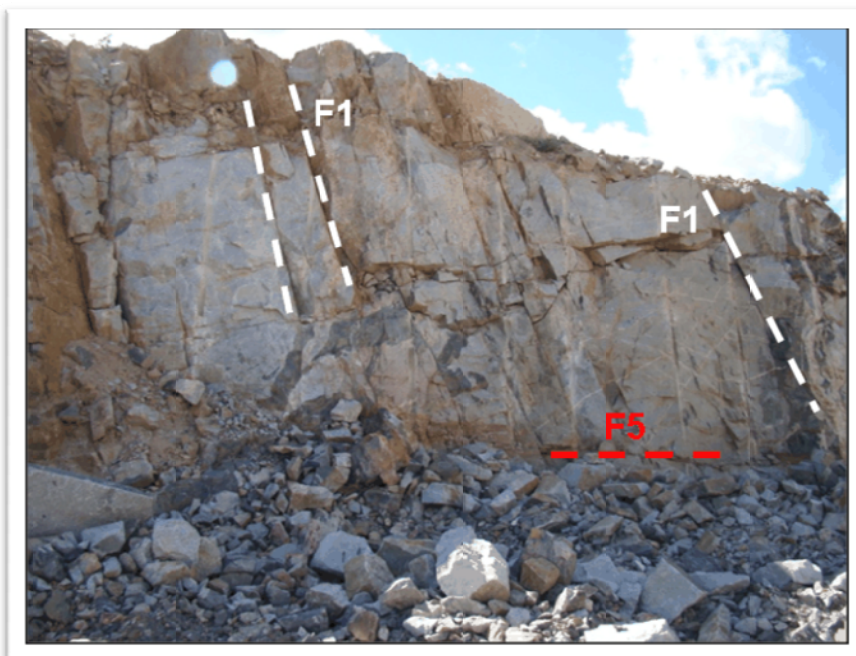


Foto 18: E 3983 LE – Taludes bem conformados em paredes de direção preferencial 140/80 (variação da F2= 150/80), F1=80/80 com persistência de todo o talude que neste ponto tem aproximadamente 14 m de altura e uma fratura sub-horizontal de 140/sub-hor com espaçamento de 1 a 2 fraturas por metro e persistência de mais de 5 metros. A fratura observada no meio do talude não foi medida diretamente por estar muito alta, mas tem direção aproximada N20W, provavelmente F4.



Foto 19: E 3979 LD – Fraturas $F1= 80/70$, $F4= 250/50$ e $F5= 340/80$ que é a fratura que define o plano do talude.

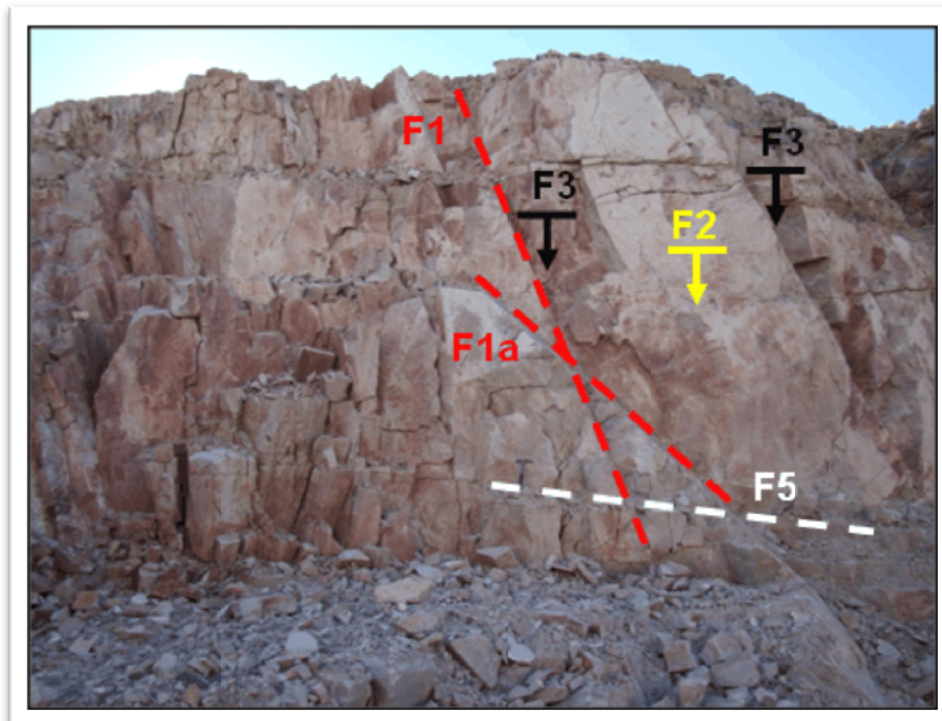


Foto 20: E 3993 LE – Talude definido pela $F2=140/90$, $F1=80/70$ $F1a= 80/50$, $F3=10/90$ e $F5=150/20$ com espaçamento de 1 a 2 fraturas por metro e persistência de mais de 5 metros.



Foto 21: E 4008 LE – Taludes com inclinação variável de 76 a 80 graus exibem algumas meias canas preservadas.

3. ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Para as análises estatísticas de fraturas e de estabilidade foram utilizados os programas Dips, Rocklab, RockPlane e Swedge, da RockScience.

3.1 ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL DOS TALUDES

O maciço rochoso envolvido na abertura do canal 1216 (CN-12) foi classificado como maciço classe III na classificação de Bieniawski. Em muito poucos locais (veios máficos, gnaisses muito dobrados) foi verificada a ocorrência de maciço classe IV, se tanto, em 10% da área e em nenhum local maciço classe V. Esta verificação é feita sem considerar os efeitos danosos do desmonte a fogo nos taludes remanescentes.

Nas verificações de estabilidade, foram considerados 2 casos:

- a) No 1º trecho, onde ocorre o granito, maciço rochoso de alta rigidez, rocha sã ou muito pouco alterada, famílias de diaclases bem definidas, maciço muito perturbado pelo desmonte a fogo, foram considerados os seguintes índices do programa Rockplan para análise segundo o critério de Hoek e Brown:
 - ✧ Altura do talude = 6,0 m
 - ✧ GSI = 50
 - ✧ MI = 30

- ✧ $D = 1,0$ (estrago máximo causado pelo desmonte)
- ✧ $MR = 350$
- ✧ $\text{Sigma C} = 250 \text{ MPa}$
- ✧ O que confere ao maciço valor de coesão $= 0.361 \text{ MPa}$ e ângulo de atrito de 66°

O Fator de segurança (FS) obtido para talude seco é de 11,04 e para talude 50% saturado $FS = 9,26$

Pelo critério Mohr-Coulomb, resultam: $FS = 12,18$ para talude seco e $FS = 10,84$ para saturação de 50%, que são muito próximos aos valores obtidos pelo critério Hoek e Brown.

b) A maior parte dos taludes encontra-se em gnaisses e migmatitos, que apresentam um padrão de fraturamento mais irregular e um grau de alteração parcialmente um pouco mais elevado, e para os quais foram adotados os seguintes índices:

- ✧ Altura do talude $= 9,0 \text{ m}$
- ✧ $\text{Sigma C do gnaiss} = 150 \text{ MPa}$
- ✧ $GSI = 46$
- ✧ $M_i = 28$
- ✧ $D = 1,0$ (valor máximo para talude sob efeito do desmonte a fogo)
- ✧ $MR = 350$
- ✧ O que confere ao maciço rochoso valores de coesão $= 0.2 \text{ MPa}$ e ângulo de atrito de 60°

O FS obtido para talude seco pelo critério Hoek-Brown é 4,85 e para o talude 50% saturado é de 3,05

No critério Mohr-Coulomb os índices são pouco mais elevados, respectivamente 5,27 e 4,27.

3.2 ANÁLISES DE ESTABILIDADE PARA OS SISTEMAS DE FRATURAS EM RELAÇÃO AOS TRECHOS DOS TALUDES COM DIREÇÕES DIVERSAS

Em função das características dos planos de diaclasamento, foi adotado conservativamente o ângulo de atrito de 30° e sem coesão, supondo que a fratura se estenda por toda a altura do talude, sem interrupção. Em outro caso, admitiu-se o mesmo valor para o atrito e uma coesão $= 5 \text{ t/m}^2$, ou seja, 50 kPa . Este valor é considerado baixo, levando-se em conta que a tabela de Bieniawski considera para maciços classe III valores de 20,0 a 30,0 t/m^2 e mesmo para maciço classe IV é admitida coesão de 10,0 a 20,0 t/m^2 .

As tabelas ainda consideram para esta 2ª hipótese a ocorrência de 50% de água nas fraturas, o que parece ser um valor máximo para contabilizar os eventuais esforços hidrostáticos.

3.2.1 Estabilidade Planar

Nas análises de estabilidade planar foi considerado um afastamento de até 30° entre as direções do talude e do plano da descontinuidade, conforme apresentado no Quadro 3.1.

QUADRO 3.1
INCIDÊNCIA DOS SISTEMAS DAS FRATURAS

| TRECHOS | POSSIBILIDADE CINEMÁTICA | |
|---------|--------------------------|----------------------|
| | Fratura lado esquerdo | Fratura lado direito |
| 1A | F2 | - |
| 1B | F2 | - |
| 2 | F2 | - |
| 3A | - | F3 |
| 3B | F2 | - |
| 4 | F1 | - |
| 5A | F2 | - |
| 5B | F1 | - |

As análises não levam em conta o constrangimento lateral. Foram anotadas as seguintes hipóteses:

- ✧ Inclinação talude: 76°
- ✧ Inclinação fratura: 50° e 60° (crítica)
- ✧ Ângulo de atrito: 30°
- ✧ Coesão: 0,0 e 5 t/m²
- ✧ Água: seco e 50%
- ✧ Altura do talude: 6 e 9 m

Os resultados indicam $FS < 1,0$ quando só atua o atrito = 30°, mesmo com o talude seco. Quando é considerada coesão = 5 t/m² o FS resulta sempre $> 2,0$ em fraturas com mergulho de 50° ou 60°. A consideração de 50% de água reduz o FS em cerca de 5% apenas.

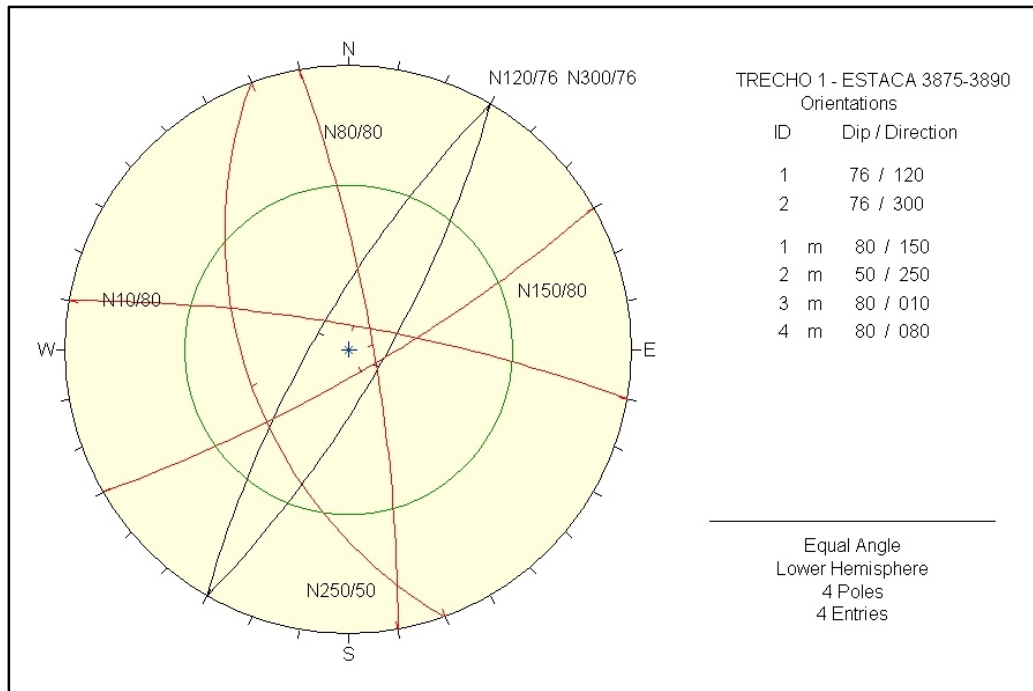


Figura 3.1 – Estereograma para o Trecho 1A

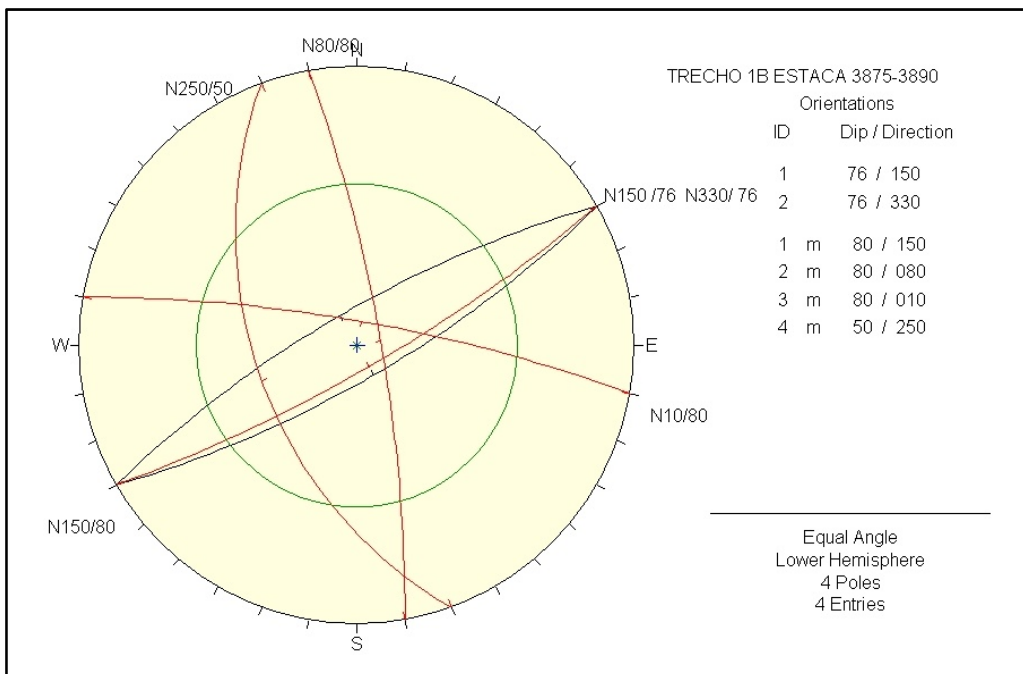


Figura 3.2 – Estereograma para o Trecho 1B

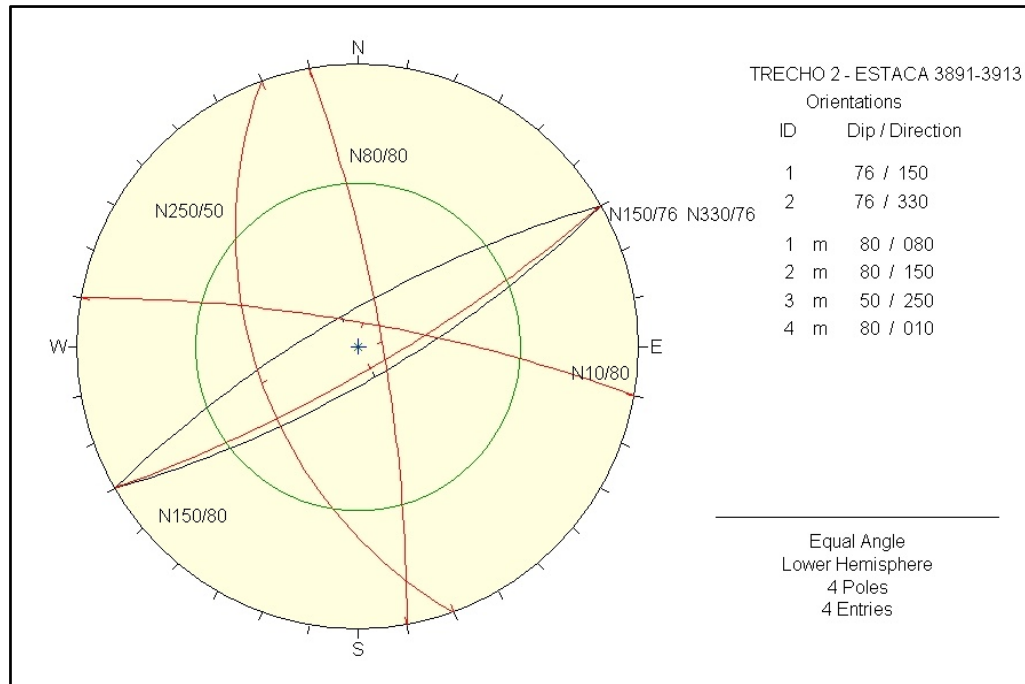


Figura 3.3 – Estereograma para o Trecho 2

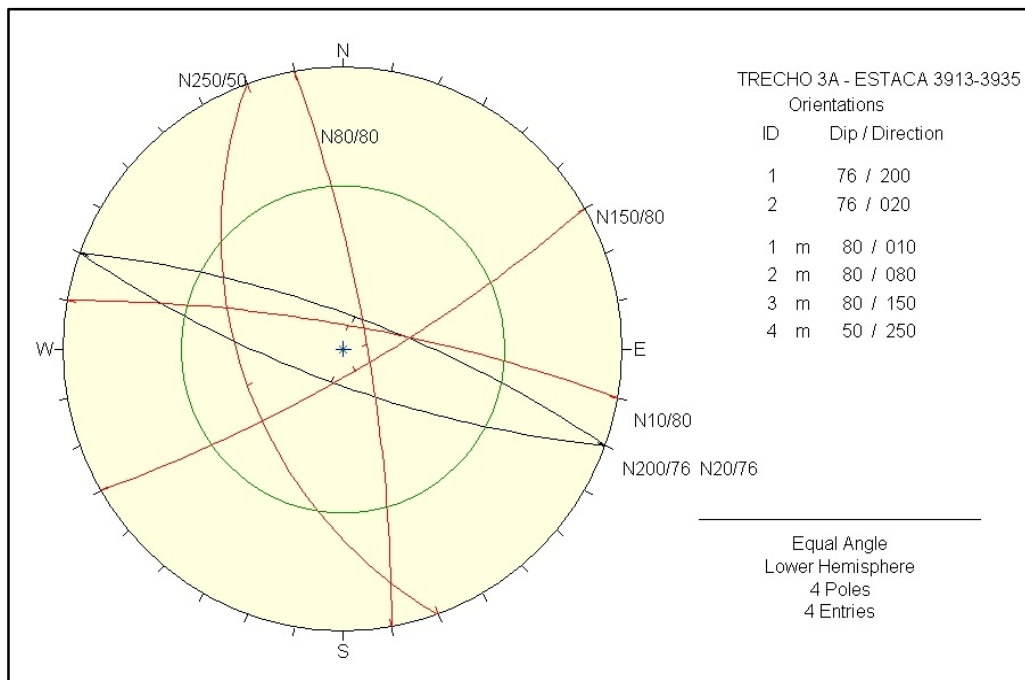


Figura 3.4 – Estereograma para o Trecho 3A

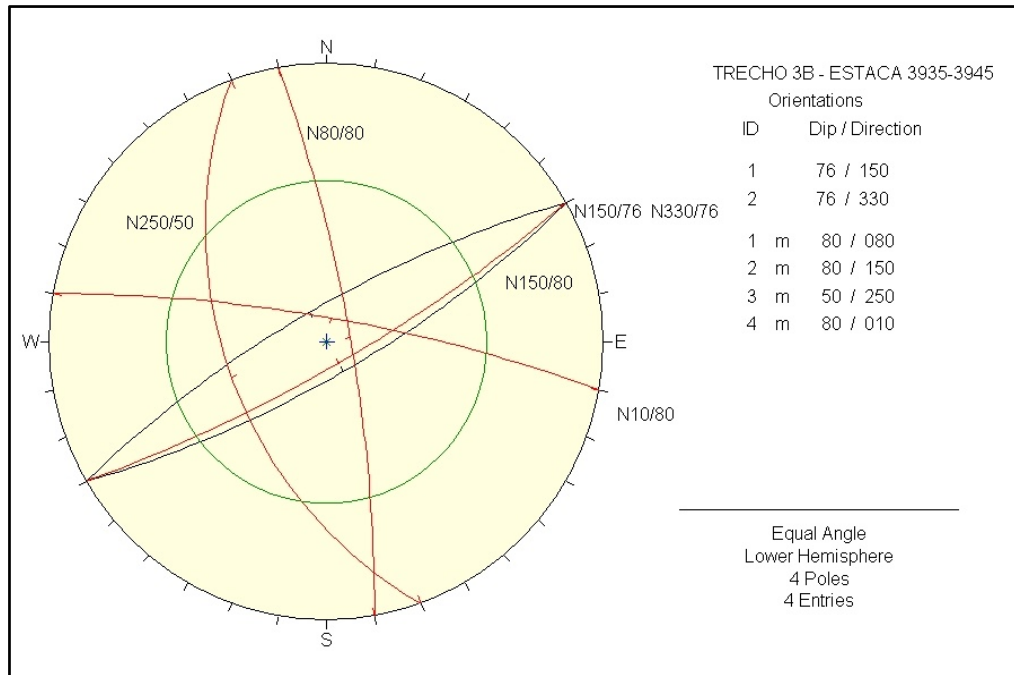


Figura 3.5 – Estereograma para o Trecho 3B

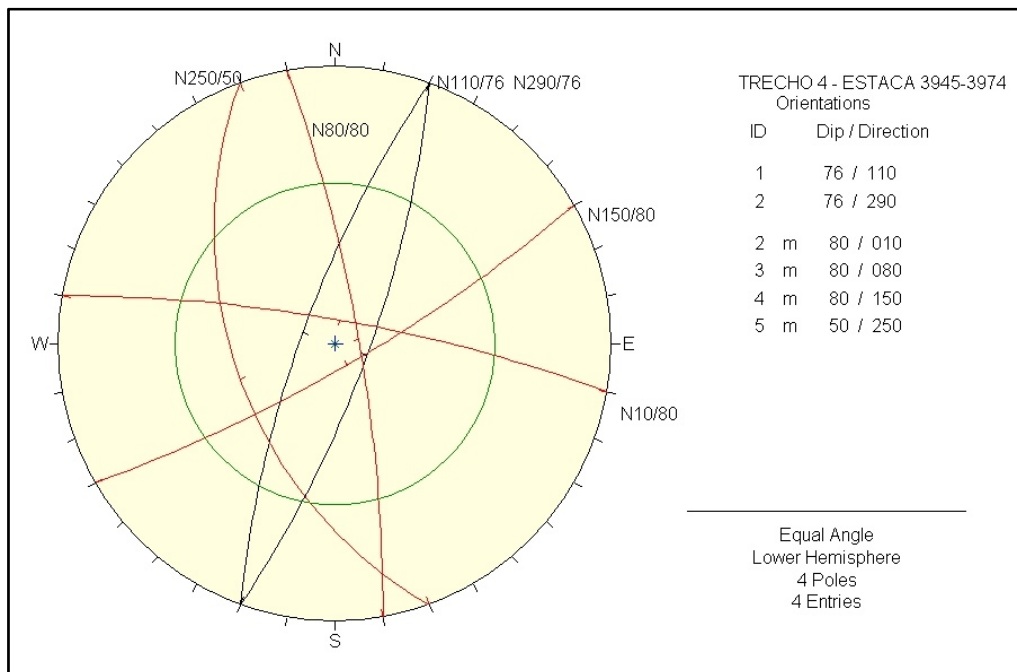


Figura 3.6 – Estereograma para o Trecho 4

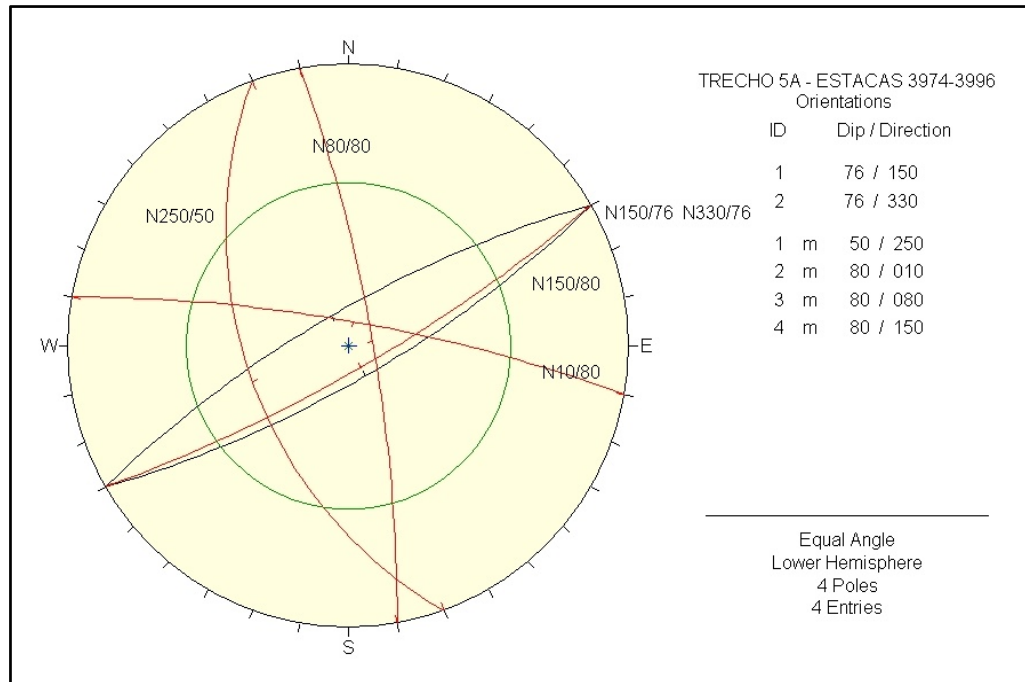


Figura 3.7 – Estereograma para o Trecho 5A

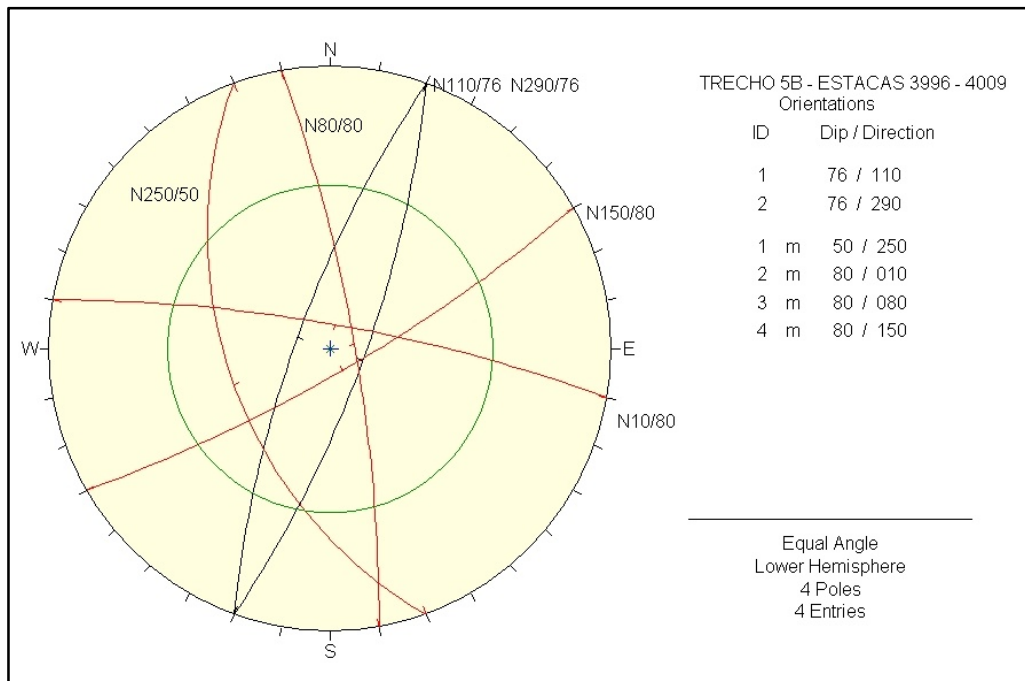


Figura 3.8 – Estereograma para o Trecho 5B

3.2.2 Análise de Cunhas

Uma síntese da análise de estabilidade por cunhas é apresentada nos Quadros 3.2 a 3.9, a seguir.

QUADRO 3.2
ANÁLISE DE CUNHAS PARA O TRECHO 1A

| TRECHO 1A ESTACA 3875-3890 | | | | |
|----------------------------|-------------|--|----------|-------------------------|
| CUNHAS POSSÍVEIS | | FATOR DE SEGURANÇA | | |
| L.D. (N300) | L.E. (N120) | c = 5 t/m ² $\Phi = 30^\circ$ | | c = 0 $\Phi = 30^\circ$ |
| | | seco | 50% água | seco |
| | F1 X F4 | 22,15 | 21,94 | 7,57 |
| | F2 X F3 | 17,68 | 17,44 | 0,79 |
| F2 X F4 | | 21,53 | 16,28 | 0,48 |
| F3 X F4 | | 4,97 | 4,91 | 0,95 |

QUADRO 3.3
ANÁLISE DE CUNHAS PARA O TRECHO 1B

| TRECHO 1B ESTACA 3875-3890 | | | | |
|----------------------------|-------------|--|----------|-------------------------|
| CUNHAS POSSÍVEIS | | FATOR DE SEGURANÇA | | |
| L.D. (N330) | L.E. (N150) | c = 5 t/m ² $\Phi = 30^\circ$ | | c = 0 $\Phi = 30^\circ$ |
| | | seco | 50% água | seco |
| | F1 X F4 | 21,36 | 21,16 | 7,57 |
| F3 X F4 | | 6,19 | 6,12 | 0,95 |

QUADRO 3.4
ANÁLISE DE CUNHAS PARA O TRECHO 2

| TRECHO 2 ESTACA 3891-3913 | | | | |
|---------------------------|-------------|--|----------|-------------------------|
| CUNHAS POSSÍVEIS | | FATOR DE SEGURANÇA | | |
| L.D. (N330) | L.E. (N150) | c = 5 t/m ² $\Phi = 30^\circ$ | | c = 0 $\Phi = 30^\circ$ |
| | | seco | 50% água | seco |
| | F1 X F4 | 21,36 | 21,16 | 7,57 |
| F3 X F4 | | 6,19 | 6,12 | 0,95 |

QUADRO 3.5
ANÁLISE DE CUNHAS PARA O TRECHO 3A

| TRECHO 3A ESTACA 3913-3935 | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| | | | | |
| CUNHAS POSSÍVEIS | | FATOR DE SEGURANÇA | | |
| L.D. (N20) | L.E. (N200) | c= 5 t/m² Φ =30° | | c= 0 Φ =30° |
| | | seco | 50% água | seco |
| | F1 X F4 | 20,84 | 20,65 | 7,57 |
| F2 X F3 | | 100 | 14,81 | 0,78 |
| | F2 X F4 | 4,97 | 4,95 | 0,65 |

QUADRO 3.6
ANÁLISE DE CUNHAS PARA O TRECHO 3B

| TRECHO 3B ESTACA 3935-3945 | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| | | | | |
| CUNHAS POSSÍVEIS | | FATOR DE SEGURANÇA | | |
| L.D. (N330) | L.E. (N150) | c= 5 t/m² Φ =30° | | c= 0 Φ =30° |
| | | seco | 50% água | seco |
| | F1 X F4 | 21,36 | 21,16 | 7,57 |
| F3 X F4 | | 6,19 | 6,12 | 0,95 |

QUADRO 3.7
ANÁLISE DE CUNHAS PARA O TRECHO 4

| TRECHO 4 ESTACA 3945-3974 | | | | |
|----------------------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| | | | | |
| CUNHAS POSSÍVEIS | | FATOR DE SEGURANÇA | | |
| L.D. (N290) | L.E. (N110) | c= 5 t/m² Φ =30° | | c= 0 Φ =30° |
| | | seco | 50% água | seco |
| | F1 X F4 | 17,69 | 17,47 | 7,57 |
| | F2 X F3 | 10,19 | 9,99 | 0,78 |
| F2 X F4 | | 4,37 | 4,15 | 0,48 |
| F3 X F4 | | 3,48 | 3,42 | 0,95 |

QUADRO 3.8
ANÁLISE DE CUNHAS PARA O TRECHO 5A

| TRECHO 5A ESTACA 3974-3996 | | | | |
|----------------------------|-------------|--|----------|-------------------------|
| CUNHAS POSSÍVEIS | | FATOR DE SEGURANÇA | | |
| L.D. (N330) | L.E. (N150) | c = 5 t/m ² $\Phi = 30^\circ$ | | c = 0 $\Phi = 30^\circ$ |
| | | seco | 50% água | seco |
| | F1 X F4 | 16,76 | 16,57 | 7,57 |
| F3 X F4 | | 4,45 | 4,37 | 0,95 |

QUADRO 3.9
ANÁLISE DE CUNHAS PARA O TRECHO 5B

| TRECHO 5B ESTACA 3996-4009 | | | | |
|----------------------------|-------------|--|----------|-------------------------|
| CUNHAS POSSÍVEIS | | FATOR DE SEGURANÇA | | |
| L.D. (N290) | L.E. (N110) | c = 5 t/m ² $\Phi = 30^\circ$ | | c = 0 $\Phi = 30^\circ$ |
| | | seco | 50% água | seco |
| | F1 X F4 | 17,69 | 17,47 | 7,57 |
| | F2 X F3 | 10,19 | 9,99 | 0,78 |
| F2 X F4 | | 4,37 | 4,15 | 0,48 |
| F3 X F4 | | 3,48 | 3,42 | 0,95 |

3.3 COMENTÁRIOS GERAIS

As verificações de estabilidade realizadas conduzem às seguintes considerações:

- ✓ Em alguns trechos das escavações do canal, onde o plano de um sistema de descontinuidade, com mergulho entre 50° e 70°, tem direção próxima à do plano do talude (admite-se até 30° de desvio), e onde não mais se verifica um mínimo de coesão na descontinuidade, a ruptura é inevitável. Quando a coesão é considerada nos cálculos, todos os planos de descontinuidades apresentam FS adequados, que correspondem a situações estáveis.
- ✓ O mesmo acontece com as cunhas com inclinação desfavorável ao talude. Quando a coesão é computada, os coeficientes de segurança são bastante confortáveis. Quando não é considerada a coesão, as famílias de fraturas com mergulho desfavorável tendem a se instabilizar. A estabilidade é pouco afetada pela presença de água, conforme pode ser verificado nas tabelas, que registram um pequeno decréscimo nos valores do fator de segurança.

- ✓ A perda de coesão é então o fator determinante na estabilidade das escavações. A verificação da abertura das fraturas após o fogo de desmonte, o deslocamento dos planos nos cruzamentos das fraturas e o relaxamento do maciço proporcionaram, sem dúvida, o incremento dos escorregamentos, os overbreaks pronunciados, e o tombamento dos blocos (toppling) delimitados pelas fraturas subverticais e pelas fraturas subhorizontais (relief joints). Muito raramente são observadas as meias-canais nas paredes de escavação.
- ✓ O prosseguimento das escavações abaixo da berma da cota 407 m implicará em piora progressiva dos taludes já escavados, sem a tomada de medidas acautelatórias, com a sucessão de instabilidades que se prolongarão para o patamar inferior, que, ao que consta, será escavado em bancada única. O desmonte confinado no patamar inferior, se executado com os mesmos critérios, deverá trazer mais prejuízos ao maciço rochoso, tanto para os taludes superiores quanto para a bancada inferior.

4. VERIFICAÇÃO DE CAMPO

4.1 TRECHO ENTRE ESTACAS 3875 E 3902

A berma localizada na cota 407 m, esta prevista com 4,0 metros de largura em cada lado, porém, no único trecho em que as escavações encontram-se abaixo da cota 407 m (3875 a 3902), a berma foi parcial ou totalmente perdida devido ao overbreak.

Em todo o trecho são observadas cunhas instáveis penduradas no talude.

a) Estacas 3875 a 3879

- ✧ LE = 1,0 m de berma (lado esquerdo).
- ✧ LD = 1 a 2,0 m de berma (lado direito).

b) Estacas 3879 a 3889

- ✧ LE = berma totalmente perdida em quase todo o trecho, com pontos isolados em que se observa berma de no máximo 1,0 m de largura.
- ✧ LD = permanece a berma com 1 a 2 m e pontos isolados com até 3 m.

c) Estacas 3889 a 3902

- ✧ LE = observa-se 1,0 m de berma e pontos isolados de até 2,0 m de largura de berma. Nas proximidades da estaca 3896 não se vê mais a berma.
- ✧ LD = berma com 1,0 m de largura e pontos isolados de até 2,0 m. Nas proximidades da estaca 3896 não se vê a berma.

4.2 TRECHO ENTRE ESTACAS 3902 E 4009

Neste trecho as escavações encontram-se acima da cota 407 m (berma) ou coincidentes com ela e as paredes encontram-se próximas da largura do projeto, faltando em média cerca de 0,5 m para a geometria final.

As áreas mais críticas com relação à ocorrência de blocos soltos ou com taludes negativos a serem removidos ou tratados estão entre as seguintes estacas:

- ✧ 3902 a 3924
- ✧ 3942 a 3955
- ✧ 4006 a 4009

5. CONSIDERAÇÕES SOBRE O RELATÓRIO DA VECTOR PROJETOS

O relatório faz uma avaliação consistente da geologia local e dos taludes rochosos do canal 1216 (CN-12).

No entanto, a caracterização das discontinuidades e dos maciços rochosos, em geral, foi feita considerando o fraturamento do maciço resultante das detonações, como se esta fosse a condição original do maciço rochoso. Este fato acarreta uma grande diferença na conceituação do maciço, nas características das fraturas, sua abertura, seu embricamento e até sua persistência.

O maciço rochoso é constituído por granito são a pouco alterado, com 4 a 5 famílias de discontinuidades subverticais ou com mergulho acima de 45°, com contato rocha x rocha ou película rígida de até 1,0 mm de espessura. Em princípio admite-se alguma coesão à fratura, apesar da oxidação das paredes informarem da ocorrência de percolação de água. Maciço com estas características deve ser em qualquer hipótese considerado como classe III na classificação de Bieniawski.

O maciço em gnaiss e migmatito, apesar de inferior ao granito quanto à resistência da rocha e um pouco mais elevado grau de intemperismo, por outro lado, apresenta uma maior dispersão dos sistemas de fraturamento e, como consequência, uma menor persistência. Ainda assim, deve ser majoritariamente considerado como maciço classe III, quando não classe II.

A existência de 4 planos de fraturas que configuram 6 cruzamentos constituindo cunhas, somam 10 possibilidades de instabilidade no maciço. Em todas as situações analisadas, apenas 1, 2 ou no máximo 3 desses cruzamentos indicam planos desfavoráveis à estabilidade, o que definitivamente não deve ser imputado como francamente desfavorável à estabilidade.

As simulações de estabilidade feitas no relatório em referência adotam condições muito pessimistas para os taludes e não indicam os valores de resistência que foram adotados nas verificações, apesar de citar que foram seguidos os valores propostos por Bieniawski.

O relatório sugere um possível abatimento do talude para melhorar as condições de estabilidade, o que não parece ser a solução mais adequada. Conclui finalmente que a metodologia de escavação pouco interfere para diminuir ou evitar as instabilizações e os overbreaks, o que parece altamente duvidoso.

6. CONSIDERAÇÕES SOBRE O RELATÓRIO DA TORRES GERALDI

O relatório em referência indica expressamente que as descontinuidades com mergulho de 60° para o interior da escavação foram a grande responsável pelos escorregamentos e overbreaks excessivos das escavações e que nem mesmo a utilização de planos de fogo criteriosos e desmonte escultural não foram adequados para eliminar o problema.

Designa o maciço de extremamente fraturado, o que não corresponde em nenhum local à qualquer tabela de fraturamento de maciço rochoso reconhecido como tal.

Cita 3 planos de fogo utilizados em 6 detonações seqüenciais, mas não se tem conhecimento destes planos, nem das tentativas com pré-fissuramento.

Parece claro que o fogo foi prioritariamente dirigido para favorecer a produção, a fragmentação e a remoção da rocha, em detrimento de um maior cuidado com a proteção dos taludes remanescentes.

As escavações não obedeceram à sequência construtiva estabelecida pelo projeto (desenho 1210-DEP-1216-04-02-001), que previa uma parcialização do corte e o tratamento progressivo dos taludes.

O mesmo se pode dizer da proteção e tratamento dos taludes, previstos no desenho 1210-DEP-1216-04-57-001, cujas orientações não foram obedecidas.

Apesar da citação de que foram utilizados planos de fogo “ultra rigorosos”, tem-se conhecimento que o plano de fogo estabeleceu detonação em uma única etapa, utilizando apenas um retardo para os furos das 2 últimas linhas junto ao alinhamento dos taludes finais. Estas 2 linhas com carga específica menor tinham afastamento de 1,0 m. As meia canas, difícil e raramente observadas, e a verificação do deslocamento dos blocos rochosos bem como a abertura das fraturas compõem um quadro de pouca preocupação com os taludes remanescentes.

A proposição de retaludamento com a ampliação da berma na cota 407 m não deve ser considerada, porque , além de aumentar muito a seção de escavação, não trará benefícios sensíveis à melhoria da qualidade dos taludes.

As conclusões do relatório, com a manutenção dos planos de fogo adotados na primeira etapa para o aprofundamento dos taludes, não é aceitável, porque além de piorar a condição dos taludes já escavados e com precária estabilidade, vai causar os mesmos ou ainda maiores danos no talude inferior.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O maciço rochoso deve ser considerado como classe III (segundo Bieniawski) em praticamente toda a extensão do CN-12.

A inspeção feita demonstra que o maciço rochoso é são a pouco alterado, com padrão de fraturamento convencional para estes maciços graníticos e gnáissicos. As escavações a fogo não obedeceram às diretrizes de projeto e prejudicaram sensivelmente os taludes rochosos remanescentes.

Os testes e os planos de fogo cuidadosos citados no relatório Torres Giraldi devem ser enviados para conhecimento da Projetista para análise.

Não há registros apresentados pela Fiscalização / Supervisora a respeito de quaisquer alterações que tenham sido feitas em relação aos procedimentos executivos empregados pelo Consórcio Construtor.

Recomenda-se a paralisação dos trabalhos de escavações do canal CN-12. Para o prosseguimento das escavações, as seguintes providências devem ser adotadas:

- a) Remoção de blocos soltos, cunhas instáveis e limpeza dos taludes.
- b) Levantamento das seções transversais dos taludes já escavados.
- c) Definição dos tratamentos a serem propostos para os taludes já escavados.
- d) Retomada das escavações obedecendo aos preceitos e métodos indicados no projeto e após a execução de testes para a determinação dos fogos de acabamento (pré ou pós fissuramento).

ANEXO I

LEVANTAMENTO DE CAMPO

Trecho 1 - Estacas 3875 a 3890

Lado Esquerdo

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 50 | 140 |
| 50 | 130 |
| 50 | 130 |
| 40 | 150 |
| 35 | 140 |
| 50 | 160 |
| 35 | 170 |
| 60 | 140 |
| 70 | 150 |
| 85 | 155 |
| 80 | 150 |
| 80 | 155 |
| 70 | 150 |
| 80 | 150 |
| 70 | 140 |
| 55 | 170 |
| 60 | 95 |
| 75 | 80 |
| 50 | 95 |
| 65 | 95 |
| 80 | 85 |
| 75 | 90 |
| 70 | 85 |
| 70 | 85 |
| 70 | 80 |
| 80 | 90 |
| 80 | 90 |
| 80 | 25 |
| 70 | 20 |
| 80 | 10 |
| 80 | 10 |
| 25 | 165 |
| 70 | 135 |
| 60 | 120 |

Lado Direito

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 85 | 160 |
| 90 | 335 |
| 90 | 160 |
| 70 | 150 |
| 70 | 140 |
| 85 | 160 |
| 70 | 85 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 76 | 80 |
| 70 | 80 |
| 50 | 80 |
| 60 | 10 |
| 70 | 10 |
| 50 | 225 |
| 90 | 240 |
| 90 | 220 |
| 50 | 215 |
| 50 | 220 |
| 60 | 215 |
| 50 | 215 |
| 50 | 215 |

Trecho 2 - Estacas 3897 a 3912

Lado Esquerdo

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 80 | 20 |
| 85 | 10 |
| 85 | 5 |
| 80 | 10 |
| 90 | 140 |
| 90 | 130 |
| 80 | 150 |
| 85 | 170 |
| 75 | 190 |
| 80 | 350 |
| 60 | 320 |
| 80 | 190 |
| 90 | 95 |
| 80 | 80 |
| 80 | 70 |
| 15 | 90 |
| 80 | 85 |
| 85 | 80 |
| 90 | 120 |
| 75 | 120 |
| 80 | 350 |
| 70 | 0 |
| 75 | 65 |
| 70 | 90 |
| 30 | 140 |
| 90 | 180 |
| 80 | 0 |
| 75 | 0 |
| 90 | 0 |
| 90 | 120 |
| 25 | 140 |
| 75 | 30 |
| 75 | 20 |
| 90 | 120 |
| 80 | 90 |
| 90 | 90 |
| 90 | 160 |
| 90 | 170 |
| 45 | 140 |
| 85 | 80 |
| 30 | 140 |

Lado Direito

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 50 | 15 |
| 50 | 15 |
| 50 | 350 |
| 87 | 330 |
| 90 | 330 |
| 90 | 90 |
| 70 | 90 |
| 80 | 260 |
| 30 | 260 |
| 30 | 90 |
| 70 | 140 |
| 30 | 70 |
| 85 | 160 |
| 75 | 100 |
| 90 | 140 |
| 15 | 90 |
| 70 | 100 |
| 75 | 100 |

Trecho 3 - Estacas 3912 a 3945

Lado Esquerdo

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 90 | 0 |
| 15 | 350 |
| 15 | 150 |
| 80 | 180 |
| 90 | 100 |
| 70 | 90 |
| 40 | 330 |
| 80 | 190 |
| 50 | 80 |
| 78 | 190 |
| 60 | 80 |
| 10 | 90 |
| 85 | 15 |
| 75 | 190 |
| 75 | 190 |
| 80 | 190 |
| 55 | 80 |
| 50 | 250 |
| 10 | 100 |
| 85 | 350 |
| 10 | 100 |
| 80 | 80 |
| 85 | 35 |
| 70 | 90 |
| 70 | 90 |
| 75 | 190 |
| 10 | 90 |
| 35 | 260 |
| 90 | 170 |
| 80 | 0 |
| 77 | 80 |
| 80 | 260 |
| 70 | 80 |
| 20 | 40 |
| 80 | 90 |
| 60 | 110 |
| 70 | 90 |
| 75 | 110 |
| 80 | 90 |
| 50 | 15 |
| 70 | 15 |
| 65 | 0 |
| 70 | 350 |
| 75 | 340 |
| 90 | 350 |
| 70 | 80 |

Lado Esquerdo

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 30 | 260 |
| 70 | 350 |
| 70 | 80 |
| 10 | 270 |
| 70 | 340 |
| 90 | 90 |
| 90 | 350 |
| 80 | 0 |
| 85 | 340 |
| 90 | 340 |
| 80 | 90 |
| 85 | 95 |
| 80 | 90 |
| 70 | 80 |
| 10 | 170 |
| 75 | 80 |
| 80 | 90 |
| 80 | 90 |
| 80 | 90 |
| 90 | 340 |
| 90 | 350 |
| 60 | 190 |
| 50 | 170 |

Lado Direito

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 70 | 90 |
| 80 | 90 |
| 70 | 180 |
| 70 | 190 |
| 77 | 180 |
| 8 | 90 |
| 70 | 90 |
| 60 | 20 |
| 70 | 350 |
| 60 | 355 |
| 70 | 330 |
| 60 | 0 |
| 90 | 80 |
| 70 | 80 |
| 90 | 30 |
| 40 | 120 |
| 20 | 190 |
| 50 | 100 |
| 50 | 10 |
| 80 | 80 |
| 80 | 80 |
| 85 | 75 |
| 70 | 80 |
| 70 | 90 |
| 85 | 350 |
| 80 | 350 |
| 90 | 330 |
| 80 | 350 |
| 90 | 320 |
| 50 | 0 |
| 65 | 30 |
| 70 | 5 |
| 80 | 75 |
| 80 | 90 |
| 80 | 70 |
| 30 | 270 |
| 90 | 270 |
| 70 | 80 |
| 75 | 40 |
| 85 | 240 |

Trecho 4 - Estacas 3945 a 3974

Lado Esquerdo

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 80 | 70 |
| 80 | 90 |
| 80 | 80 |
| 80 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 60 | 100 |
| 60 | 100 |
| 60 | 60 |
| 80 | 170 |
| 60 | 140 |
| 50 | 160 |
| 75 | 15 |
| 75 | 15 |
| 40 | 20 |
| 85 | 135 |
| 50 | 160 |
| 65 | 0 |
| 65 | 10 |
| 20 | 80 |
| 70 | 80 |
| 75 | 90 |
| 70 | 80 |
| 90 | 90 |
| 85 | 50 |
| 80 | 80 |
| 80 | 90 |
| 80 | 90 |
| 75 | 80 |
| 40 | 350 |
| 40 | 335 |
| 60 | 0 |
| 50 | 15 |
| 80 | 115 |
| 80 | 115 |
| 87 | 110 |
| 55 | 110 |
| 75 | 105 |
| 80 | 130 |
| 40 | 30 |
| 5 | 330 |

Lado Direito

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|---------------------|
| 90 | 130 |
| 60 | 0 |
| 70 | 80 |
| 70 | 140 |
| 80 | 0 |
| 60 | 90 |
| 90 | 10 |
| 90 | 90 |
| 90 | 90 |
| 75 | 350 |
| 60 | 350 |
| 35 | 220 |
| 20 | 270 |
| 55 | 60 |
| 90 | 290 |
| 30 | 310 |
| 70 | 20 |
| 90 | 10 |
| 60 | 0 |
| 75 | 80 |
| 90 | 80 |
| 70 | 160 |
| 85 | 90 |
| 65 | 90 |
| 80 | 270 |
| 90 | 100 |
| 65 | 90 |
| 50 | 350 |
| 50 | 340 |
| 40 | 350 |
| 40 | 340 |
| 40 | 210 |
| 90 | 300 |
| 90 | 330 |
| 80 | 80 |
| 80 | 80 |
| 30 | 0 |
| 70 | 10 |
| 70 | 0 |
| 70 | 180 |

Trecho 5 - Estacas 3974 a 4009**Lado Esquerdo**

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|------------------|
| 70 | 0 |
| 70 | 0 |
| 90 | 10 |
| 90 | 10 |
| 90 | 15 |
| 85 | 15 |
| 40 | 40 |
| 55 | 50 |
| 55 | 60 |
| 50 | 60 |
| 90 | 70 |
| 80 | 70 |
| 70 | 70 |
| 65 | 70 |
| 90 | 80 |
| 90 | 80 |
| 90 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 60 | 80 |
| 60 | 80 |
| 50 | 80 |
| 70 | 90 |

Lado Esquerdo

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|------------------|
| 80 | 180 |
| 80 | 180 |
| 80 | 180 |
| 80 | 200 |
| 90 | 210 |
| 90 | 220 |
| 85 | 220 |
| 55 | 220 |
| 25 | 250 |
| 80 | 270 |
| 75 | 270 |
| 35 | 305 |
| 25 | 315 |
| 75 | 310 |
| 40 | 100 |
| 60 | 105 |
| 90 | 120 |
| 90 | 120 |
| 90 | 120 |
| 0 | 130 |
| 90 | 140 |
| 80 | 140 |
| 10 | 140 |
| 20 | 150 |
| 80 | 160 |
| 90 | 170 |
| 85 | 170 |

Lado Direito

| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|------------------|
| 80 | 20 |
| 80 | 20 |
| 90 | 20 |
| 75 | 70 |
| 60 | 80 |
| 60 | 80 |
| 60 | 80 |
| 65 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 70 | 80 |
| 80 | 80 |
| 70 | 90 |
| 75 | 90 |
| 80 | 90 |
| 90 | 90 |
| 90 | 110 |
| 90 | 140 |
| 85 | 150 |
| 90 | 150 |
| 90 | 150 |
| 90 | 150 |
| 55 | 160 |
| 55 | 160 |
| 80 | 170 |
| 30 | 220 |

Lado Direito

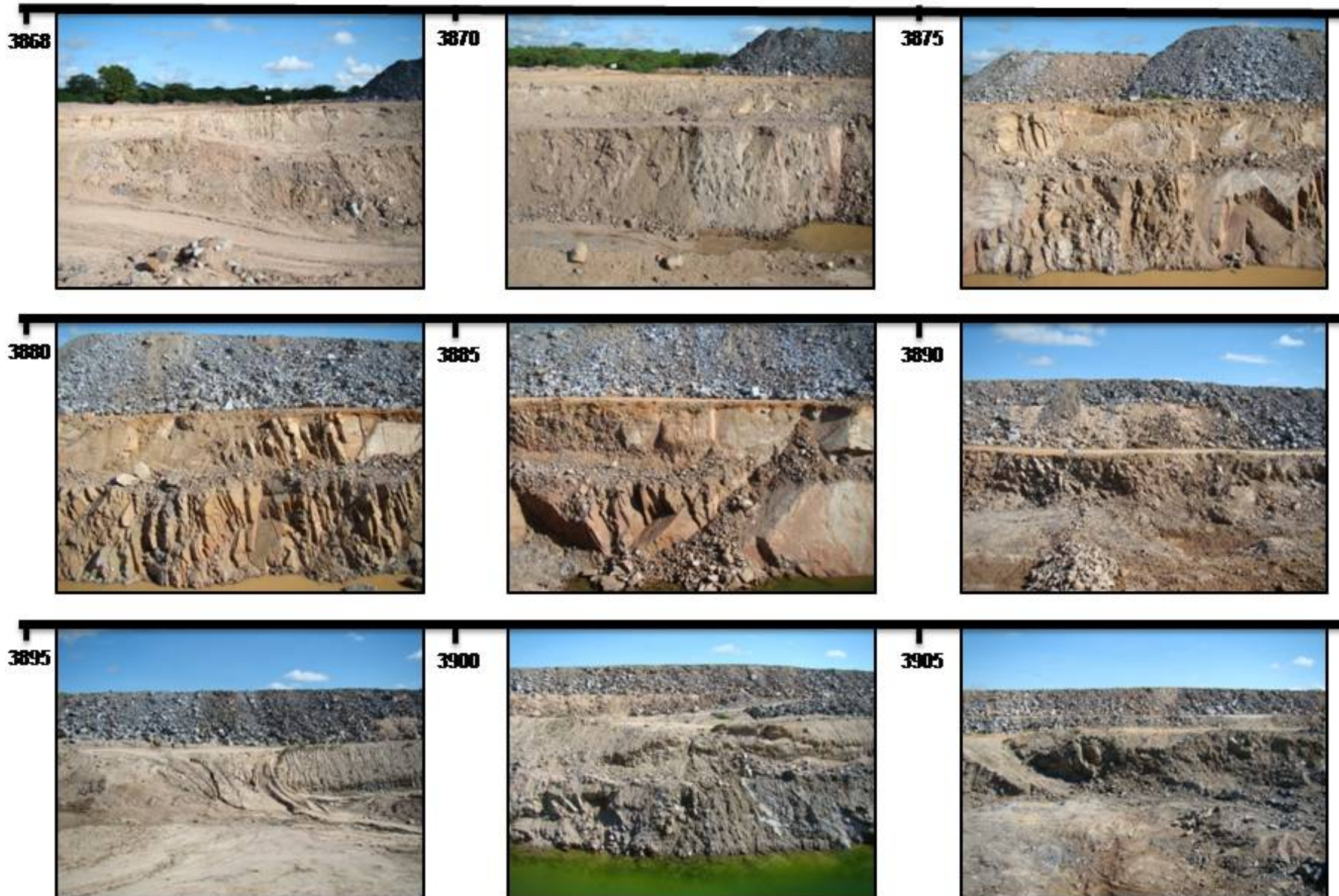
| MERGULHO | RUMO DO MERGULHO |
|----------|------------------|
| 30 | 250 |
| 60 | 250 |
| 80 | 250 |
| 45 | 260 |
| 20 | 265 |
| 35 | 280 |
| 30 | 290 |
| 30 | 300 |
| 30 | 300 |
| 35 | 300 |
| 70 | 310 |
| 85 | 310 |
| 90 | 320 |

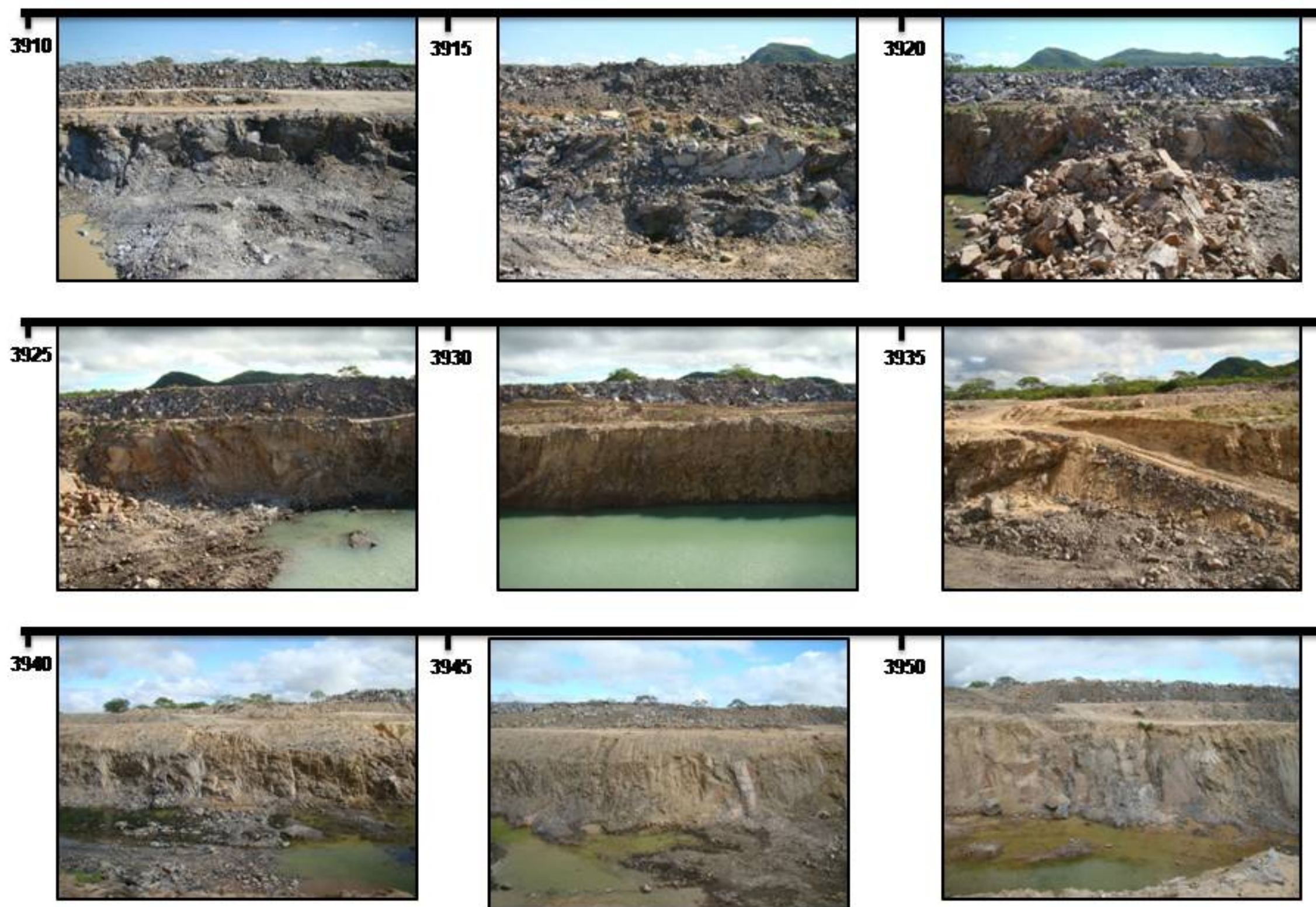
ANEXO II

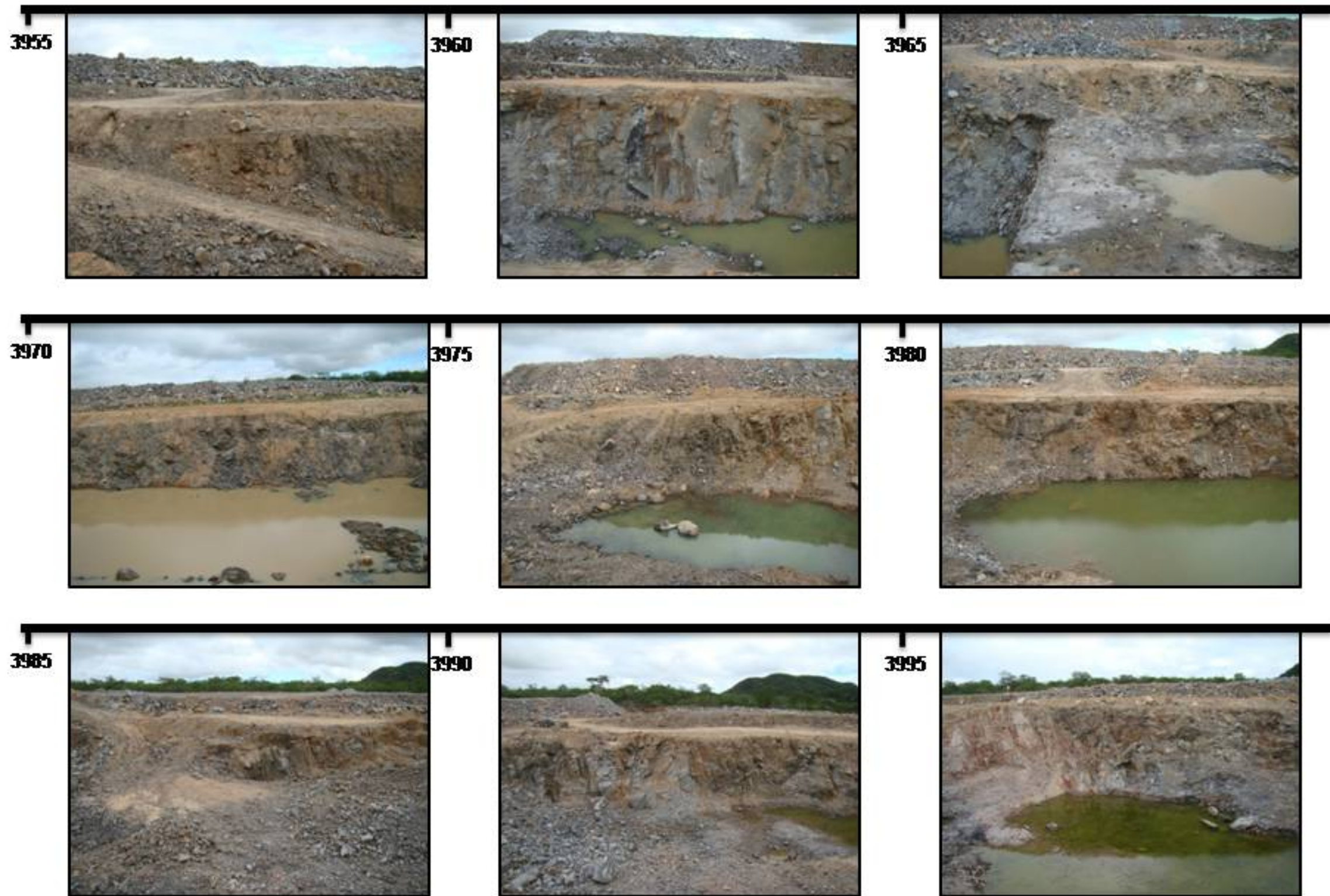
RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DETALHADO

Lado esquerdo

Início das escavações









Lado direito



