

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE GEOLÓGICO- GEOTÉCNICA DO TÚNEL CACIMBA CERCADA,
ALAGOAS**

CAMILA MANSUR ALMEIDA

Orientador: Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ FERRARI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra

Niterói, 2019

A447a Almeida, Camila Mansur
Análise Geológico- Geotécnica do Túnel Cacimba Cercada,
Alagoas / Camila Mansur Almeida ; André Luiz Ferrari,
orientador. Niterói, 2019.
105 p. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Niterói, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2019.m.11575430738>

1. *Mapeamento geológico-geotécnico. 2. *Túnel, Alagoas
(AL). 3. *Classificação geotécnica. 4. *Análise
Estrutural. 5. Produção intelectual. I. Ferrari, André
Luiz, orientador. II. Universidade Federal Fluminense.
Instituto de Geociências. III. Título.

CDD -

AGRADECIMENTO

Agradeço a todas as pessoas que tem contribuído para minha evolução, equilíbrio e despertar nesta jornada chamada Vida.

Em especial:

Ao meu marido Marcelo por todo carinho e paciência; ao meu filho Santiago por toda alegria e inocência.

Aos meus queridos pais por tamanha dedicação e amor, principalmente quando precisei me ausentar para acompanhar essa obra.

Ao professor e orientador André Luiz Ferrari por todos os aprendizados e oportunidade de participar do mestrado- DOT.

A todas as pessoas incríveis que tive oportunidade de conviver na obra do Sertão, em especial ao técnico em geologia Messias Gomes, por todos os “paraquedas” que ele preparou para mim, e ao Engenheiro Lúcio Rosa por toda oportunidade e apoio para que eu fizesse essa dissertação baseado no acompanhamento realizado no túnel.

A toda equipe da obra OEC e também toda equipe da Núcleo Projetos e Engenharia, meus profundos agradecimentos.

“O mundo inteiro foi criado porque havia amor. Caso contrário, qual seria a necessidade de gastar a energia em todos esses continentes e em todos esses diferentes países? Não foi para brigar, não foi para pensar que não há limites para si mesmo, mas para amarem-se uns aos outros e para terem mais irmãos e irmãs...”

S.S.Shri Mataji Nirmala Devi, 2007.

SUMÁRIO

RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO	01
1.1 Localização da Área de Estudo	01
1.2 Apresentação do Problema	03
1.3 Objetivos.....	05
2. REVISÃO DOS ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS DO ESTADO DE ALAGOAS.....	06
2.1 Geologia Regional.....	06
2.2 Geologia Local	08
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1 Classificação Geológica/Geotécnica	12
3.2 Tratamento Previsto Para As Diferentes Classes Do Maciço	20
3.3 Monitoramento da Obra	26
3.3.1 Dados de Instrumentação no Túnel Cacimba Cercada	27
3.4 Ciclo de Escavação em Rocha.....	33
4. RESULTADOS	34
4.1 Aspectos Geológico da Região escavada.....	34
4.1.1 Desemboque (lado Leste)	42
4.1.2 Emboque (lado Oeste)	49
4.2 Análise Estrutural.....	60
4.2.1 Geologia Estrutural lado leste- Desemboque	62
4.2.2 Geologia Estrutural lado Oeste- Emboque.....	68
5. DISCUSSÃO.....	77
6. CONCLUSÕES.....	78
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Localização geográfica do Estado de Alagoas.....	01
Figura 1.2 – Mapa do Estado de Alagoas, trajeto do Canal do Sertão.....	02
Figura 1.3- Imagem de satélite, com a localização do Túnel Cacimba Cercada.....	02
Figura 1.3.1- Região do Emboque (lado oeste).....	02
Figura 1.3.2- Região do Desemboque (lado leste).....	02
Figura 1.4 – Foto aérea do Canal trapezoidal do Sertão alagoano.....	04
Figura 1.5– Região do Emboque do túnel Cacimba Cercada.....	05
Figura 2.1 – Mapa Geológico do Estado de Alagoas.....	07
Figura 2.1.1 –Mapa Geológico do Estado de Alagoas.....	08
Figura 2.2– Mapa geológico simplificado do magmatismo Ediacarano/Brasiliano.....	09
Figura 3.1.1- Correlação entre RQD e espaçamento das descontinuidades.....	14
Figura 3.1.2- Folha do mapeamento geológico.....	18
Figura 3.1.3- Frente mapeada- classe II.....	18
Figura 3.1.4- Frente mapeada- classe II.....	19
Figura 3.1.5- Frente mapeada- classe II.....	19
Figura 3.1.6- Frente mapeada- classe III.....	19
Figura 3.1.7- Frente mapeada- classe IV.....	19
Figura 3.1.8- Frente mapeada- classe IV.....	19
Figura 3.1.9- Frente mapeada- classe V.....	19
Figura 3.2.1- Desenhos esquemáticos com os principais tipos de tratamentos.....	23
Figura 3.2.2- Aplicação de concreto projetado na viga portal do Emboque.....	24
Figura 3.2.3- Execução da campanha de enfilagem, perfuração com o jumbo.....	24
Figura 3.2.4- Instalação das cambotas.....	25
Figura 3.2.5- Aplicação de concreto projetado.....	25
Figura 3.2.6- instalação de tirantes.....	25
Figura 3.2.7- Aplicação de concreto projetado secundário.....	25
Figura 3.3.1- Seção típica de instrumentação interna (Seção de Convergência).....	27
Figura 3.3.2- Seção típica de instrumentação externa.....	28
Figura 3.3.3- Leitura da seção de convergência, na região do Desemboque.....	28
Figura 3.3.4- Seção longitudinal, monitoramento Emboque.....	30
Figura 3.3.5- Seção longitudinal, monitoramento Desemboque.....	30
Figura 3.3.6- Seção de convergência S-49.....	31
Figura 3.3.7- Seção eterna S-49.....	31

Figura 3.3.8- Seção externa S-49.....	31
Figura 3.3.9- Seção de convergência S-14.....	32
Figura 3.3.10- Seção externa S-14.....	32
Figura 3.3.11- Seção externa S-13.....	32
Figura 3.4- Desenho esquemático com as fases principais escavação pelo do método D&B.....	33
Figura 4.1.1- Foto do testemunho de sondagem.....	34
Figura 4.1.2- Seção longitudinal com o Imageamento Geolétrico e a Sismica de Refração.....	36
Figura 4.1.3- Seção Geológica/ Geotécnica com a compartimentação das classes previstas.....	37
Figura 4.1.4- Frente mapeada- classe II.....	38
Figura 4.1.5- Frente mapeada rocha sã, granito rosado.....	38
Figura 4.1.6- Frente mapeada detalhe enclaves, minerais máficos.....	38
Figura 4.1.7- Frente mapeada com enclaves, minerais máficos.....	38
Figura 4.1.8- Frente mapeada- classe IV.....	39
Figura 4.1.9- Detalhe frente mapeada- classe IV.....	39
Figura 4.1.10- Fraturas preenchidas por leucogranitoides róseos equigranulares,	39
Figura 4.1.11- Fraturas preenchidas por leucogranitoides róseos equigranulares,	39
Figura 4.1.12- Frente mapeada- classe III.....	40
Figura 4.1.13- Frente mapeada- classe III, detalhe preenchimento argiloso.....	40
Figura 4.1.15- Pontos de água umidade/gotejamento leve na parede direita.....	41
Figura 4.1.16- Pontos de água umidade/gotejamento no trecho IV.....	41
Figura 4.1.17- Detalhe pontos de água umidade/gotejamento.....	41
Figura 4.1.18- Região do Desemboque- tratamento dos taludes	42
Figura 4.1.19- Perfuratriz PW, execução enfilagem.....	43
Figura 4.1.20- Conclusão campanha de enfilagem Desemboque.....	43
Figura 4.1.21- Primeira detonação no Desemboque.....	43
Figura 4.1.22- Aplicação de concreto projetado na Viga Portal Desemboque.....	43
Figura 4.1.23- Perfuração com jumbo.....	44
Figura 4.1.24- Perfuração com jumbo.....	44
Figura 4.1.25- Aplicação de concreto projetado	44
Figura 4.1.26- Bate choco mecanizado.....	44
Figura 4.1.27- Perfuração campanha de enfilagem auto-perfurante no desemboque.....	45
Figura 4.1.28- Instalação de cambotas no desemboque.....	45
Figura 4.1.29- Após detonação no desemboque.....	45
Figura 4.1.30- Região do desemboque.....	45
Figura 4.1.31- Frente desemboque conclusão do tratamento conforme recomendações técnicas.....	46
Figura 4.1.32- Túnel desemboque conclusão do tratamento conforme recomendações técnicas.....	46
Figura 4.1.33- Região do desemboque com barreira física.....	46

Figura 4.1.34- Perfil longitudinal da região do Desemboque, com o registro do tratamento.....	48
Figura 4.1.35- Região do Emboque-tratamento para estabilidade dos taludes.....	49
Figura 4.1.36- Região do Emboque-tratamento para estabilidade dos taludes.....	49
Figura 4.1.37- Região do Emboque-tratamento para estabilidade dos taludes.....	49
Figura 4.1.38- Região do Emboque- execução da primeira campanha de enfilagem injetada.....	50
Figura 4.1.39- Região do Emboque-durante execução da viga portal.....	50
Figura 4.1.40- Aplicação de concreto projetado viga portal.....	50
Figura 4.1.41- Limite do tratamento S5 com o S3.....	51
Figura 4.1.42- Aproximadamente 73 metros de túnel escavado.....	51
Figura 4.1.43- Perfuração da frente com jumbo.....	52
Figura 4.1.44- Marcação do plano de fogo e dos tirantes pela equipe topográfica.....	52
Figura 4.1.45- Tratamento S4, classe IV.....	53
Figura 4.1.46- Perfuração com 3,0m para instalação dos tirantes.....	53
Figura 4.1.47- Após aplicação de concreto projetado no tratamento secundário.....	55
Figura 4.1.48- Túnel com 213,52 metros escavados pelo lado do Emboque, sentido (N120°).....	55
Figura 4.1.49- Conclusão do tratamento para paralisação do túnel - lado emboque.....	55
Figura 4.1.50- Perfil longitudinal do tratamento realizado na região do Emboque.....	56
Figura 4.1.51- Perfil longitudinal do tratamento realizado na região do Emboque.....	57
Figura 4.1.51- Perfil longitudinal do tratamento realizado na região do Emboque.....	58
Figura 4.2.1.- Identificação das principais estruturas nos taludes na região do desemboque.....	60
Figura 4.2.2- Identificação das principais estruturas nos taludes na região do desemboque.....	60
Figura 4.2.3- – Mapa Geológico com as províncias tectônicas do Estado de Alagoas.....	61
Figura 4.2.4- Mapeamento geológico com os principais fraturamentos.....	62
Figura 4.2.5- Rocha alterada mole/ RAD, predominando no teto F5.....	63
Figura 4.2.6- Mapeamento Geológico/Geotécnico, em planta no desemboque.....	64
Figura 4.2.7- Detalhe do mapeamento Geológico/Geotécnico, em planta no desemboque.....	65
Figura 4.2.8- Diagramas das principais Fraturas mapeadas no Desemboque.....	66
Figura 4.2.9- Mapeamento Geológico em planta com os principais fraturamentos-desemboque.....	67
Figura 4.2.10- Frente do Emboque - contato geotécnico, classe III/ classe IV.....	68
Figura 4.2.11- Mapeamento Geológico/Geotécnico em planta no emboque.....	69
Figura 4.2.12- Mapeamento Geológico/Geotécnico em planta no emboque.....	70
Figura 4.2.13- Diagramas das principais Fraturas mapeadas no emboque.....	71
Figura 4.2.13.1- Frente do Emboque, classe III- trecho camboteado.....	71
Figura 4.2.14- Diagramas das principais Fraturas mapeadas no emboque.....	72
Figura 4.2.14.1- Frente do Emboque, classe II-	72
Figura 4.2.15- Diagramas das principais Fraturas mapeadas no emboque.....	73
Figura 4.2.15.1- Frente do Emboque, classe IV-	73

Figura 4.2.16- Mapeamento Geológico em planta com os principais fraturamentos- emboque.....	74
Figura 4.2.17- Frente emboque- classe IV- overbreak geológico.....	75
Figura 4.2.18- Folha do mapeamento geológico - classe IV.....	75
Figura 4.2.19- Frente emboque- classe IV- overbreak geológico.....	76
Figura 4.2.20- Folha do mapeamento geológico.....	76
Figura 6.1- Perfil geológico- geotécnico elaborado na fase II da obra.....	79
Figura 6.2- Conclusão do tratamento, conforme recomendações para paralisação do túnel.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classificação geomecânica de Bieniawski (1973).....	13
Tabela 3.1.1 – Classificação de campo da resistência dos materiais rochosos.....	14
Tabela 3.1.2- Classificação geomecânica de Bieniawski (1989).....	15
Tabela 3.3- Classes de suporte definidas para o sistema Q.....	17
Tabela 3.4- Relação entre Seção tipo, classe de maciço e tratamento definido em Projeto.....	21
Tabela 4.1.1- Drenos instalados ao longo do túnel, no lado emboque.....	41
Tabela 4.1.2- Resumo do acompanhamento da escavação realizada na região do desemboque.....	47
Tabela 4.1.3- Resumo do acompanhamento realizado em maio na região do emboque.....	51
Tabela 4.1.4- Resumo do acompanhamento realizado em junho na região do emboque.....	52
Tabela 4.1.5- Resumo do acompanhamento realizado em julho na região do emboque.....	54
Tabela 4.1.6- Resumo do acompanhamento realizado em agosto na região do emboque.....	55
Tabela 4.1.7- Controle de escavação mensal.....	59
Tabela 4.1.8- Controle com a classe mapeada ao longo do túnel.....	59
Tabela 5.1- Efeito da orientação das descontinuidades, RMR (1989).....	77

ANEXOS

Anexo 1- Mapa rodoviário do Estado de Alagoas, município de Senador Rui Palmeiras.....	85
Anexo 2- Registro estruturas do mapeadas no lado Desemboque.....	86
Anexo 3- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	87
Anexo 4- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	88
Anexo 5- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	89
Anexo 6- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	90
Anexo 7- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	91
Anexo 8- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	92

LISTA DE SIGLAS

ATO	Acompanhamento Técnico de Obra)
D&B	Drill and Blaster (perfurar e detonar)
Km	Quilômetro
M	Metros
Mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
m ³	Metro cúbico
NATM	New Austrian Tunnelling Method
RMR	Rock Mass Rating
RQD	Rock Quality Designation
SRF	Estado de tensão do maciço
TLD	Talude
Q	Tunneling Quality Index

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Ja</i>	Grau de alteração das descontinuidades
<i>Jn</i>	Número de famílias de descontinuidades
<i>Jr</i>	Índice de rugosidade das descontinuidades
<i>Jv</i>	Índice volumétrico
<i>Jw</i>	Fator de redução de água

RESUMO

O presente trabalho destaca o mapeamento geológico realizado na fase II de acompanhamento técnico da obra do túnel Cacimba Cercada, referente aos 232 metros de escavação do Trecho IV do projeto Canal Adutor do Sertão Alagoano. A obra, na sua totalidade prevê o beneficiamento para aproximadamente um milhão de pessoas com água potável provinda do Rio São Francisco, que se inicia no município de Delmiro Gouveia e finaliza no município de Arapiraca totalizando 250km de percurso. A área de estudo está inserida na Província Borborema e associada a Suíte Intrusiva Itaporanga (Plúton Carneiros). O maciço que apresenta predomínio absoluto de composição granítica apresentando textura equigranular média a grossa a inequigranular porfírica, matriz equigranular média a grossa, de cor cinza clara a rosa esbranquiçada, compostos essencialmente por quartzo, plagioclásio, microclina, biotita e anfibólio revelou, também uma grande alternância de rocha sã com rocha alterada relacionada a zonas de falha. De modo geral, o maciço rochoso, apresenta passagens com alto grau de fraturamento, variando entre F5/F4, onde foram identificados pontos críticos com intenso fraturamento, alteração e incoerência da rocha, por vezes comportando-se como solos, as descontinuidades e alinhamentos do maciço rochoso se distribuem de forma heterogênea, com espaçamento e persistência variáveis onde predominam faixas de maciço F3/F2.

Palavras Chaves: Aspectos geológicos; túnel, Alagoas, fraturamento, Suíte intrusiva Itaporanga

ABSTRACT

This work aims to highlight the geological mapping done on the second phase of the Cacimba Cercada Tunnel, in Alagoas, Brazil. More specifically, on the excavation of the 232 meters of part IV section of Cacimba Cercada tunnel operations as a part of the Adductor Channel Project which will be used by the arid areas in Alagoas. Such project aims to benefit approximately 1 million citizens with potable water from the São Francisco River. The construction starts on Delmiro Gouveia municipality and ends on Arapiraca summing up to 250 km length. This study is located in the Borborema province area and is associated to the Itaporanga intrusive suite (Carneiros Pluton). The massif has absolute domain on the granite composition presenting medium equigranular texture and coarse inequigranular porphyritic, equigranular medium to coarse matrix, color light grey and whitish pink, essentially composed by quartz, plagioclase, microcline, biotite and amphibole revealing, not only, wide alternation between non-altered and altered rocks associated to the faults zone. It is notable the high level of fractures, varying between F5/F4 grades, identified by critical points, with altered and inconsistent, sometimes responding as a soil to the stress tests. Also, unconformities and alignments of the rocky massif spread heterogeneously, with spacing and persistency varying where the F3/F2 type of massif areas are predominant.

Keywords: geological aspects, tunnel, Alagoas, fracturing, Itaporanga Intrusive Suite.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE GEOLÓGICO- GEOTÉCNICA DO TÚNEL CACIMBA CERCADA,
ALAGOAS**

CAMILA MANSUR ALMEIDA

Orientador: Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ FERRARI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra

Niterói, 2019

A447a Almeida, Camila Mansur
Análise Geológico- Geotécnica do Túnel Cacimba Cercada,
Alagoas / Camila Mansur Almeida ; André Luiz Ferrari,
orientador. Niterói, 2019.
105 p. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Niterói, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2019.m.11575430738>

1. *Mapeamento geológico-geotécnico. 2. *Túnel, Alagoas
(AL). 3. *Classificação geotécnica. 4. *Análise
Estrutural. 5. Produção intelectual. I. Ferrari, André
Luiz, orientador. II. Universidade Federal Fluminense.
Instituto de Geociências. III. Título.

CDD -

AGRADECIMENTO

Agradeço a todas as pessoas que tem contribuído para minha evolução, equilíbrio e despertar nesta jornada chamada Vida.

Em especial:

Ao meu marido Marcelo por todo carinho e paciência; ao meu filho Santiago por toda alegria e inocência.

Aos meus queridos pais por tamanha dedicação e amor, principalmente quando precisei me ausentar para acompanhar essa obra.

Ao professor e orientador André Luiz Ferrari por todos os aprendizados e oportunidade de participar do mestrado- DOT.

A todas as pessoas incríveis que tive oportunidade de conviver na obra do Sertão, em especial ao técnico em geologia Messias Gomes, por todos os “paraquedas” que ele preparou para mim, e ao Engenheiro Lúcio Rosa por toda oportunidade e apoio para que eu fizesse essa dissertação baseado no acompanhamento realizado no túnel.

A toda equipe da obra OEC e também toda equipe da Núcleo Projetos e Engenharia, meus profundos agradecimentos.

“O mundo inteiro foi criado porque havia amor. Caso contrário, qual seria a necessidade de gastar a energia em todos esses continentes e em todos esses diferentes países? Não foi para brigar, não foi para pensar que não há limites para si mesmo, mas para amarem-se uns aos outros e para terem mais irmãos e irmãs...”

S.S.Shri Mataji Nirmala Devi, 2007.

SUMÁRIO

RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO	01
1.1 Localização da Área de Estudo	01
1.2 Apresentação do Problema	03
1.3 Objetivos.....	05
2. REVISÃO DOS ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS DO ESTADO DE ALAGOAS.....	06
2.1 Geologia Regional.....	06
2.2 Geologia Local	08
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1 Classificação Geológica/Geotécnica	12
3.2 Tratamento Previsto Para As Diferentes Classes Do Maciço	20
3.3 Monitoramento da Obra	26
3.3.1 Dados de Instrumentação no Túnel Cacimba Cercada	27
3.4 Ciclo de Escavação em Rocha.....	33
4. RESULTADOS	34
4.1 Aspectos Geológico da Região escavada.....	34
4.1.1 Desemboque (lado Leste)	42
4.1.2 Emboque (lado Oeste)	49
4.2 Análise Estrutural.....	60
4.2.1 Geologia Estrutural lado leste- Desemboque	62
4.2.2 Geologia Estrutural lado Oeste- Emboque.....	68
5. DISCUSSÃO.....	77
6. CONCLUSÕES.....	78
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Localização geográfica do Estado de Alagoas.....	01
Figura 1.2 – Mapa do Estado de Alagoas, trajeto do Canal do Sertão.....	02
Figura 1.3- Imagem de satélite, com a localização do Túnel Cacimba Cercada.....	02
Figura 1.3.1- Região do Emboque (lado oeste).....	02
Figura 1.3.2- Região do Desemboque (lado leste).....	02
Figura 1.4 – Foto aérea do Canal trapezoidal do Sertão alagoano.....	04
Figura 1.5– Região do Emboque do túnel Cacimba Cercada.....	05
Figura 2.1 – Mapa Geológico do Estado de Alagoas.....	07
Figura 2.1.1 –Mapa Geológico do Estado de Alagoas.....	08
Figura 2.2– Mapa geológico simplificado do magmatismo Ediacarano/Brasiliano.....	09
Figura 3.1.1- Correlação entre RQD e espaçamento das descontinuidades.....	14
Figura 3.1.2- Folha do mapeamento geológico.....	18
Figura 3.1.3- Frente mapeada- classe II.....	18
Figura 3.1.4- Frente mapeada- classe II.....	19
Figura 3.1.5- Frente mapeada- classe II.....	19
Figura 3.1.6- Frente mapeada- classe III.....	19
Figura 3.1.7- Frente mapeada- classe IV.....	19
Figura 3.1.8- Frente mapeada- classe IV.....	19
Figura 3.1.9- Frente mapeada- classe V.....	19
Figura 3.2.1- Desenhos esquemáticos com os principais tipos de tratamentos.....	23
Figura 3.2.2- Aplicação de concreto projetado na viga portal do Emboque.....	24
Figura 3.2.3- Execução da campanha de enfilagem, perfuração com o jumbo.....	24
Figura 3.2.4- Instalação das cambotas.....	25
Figura 3.2.5- Aplicação de concreto projetado.....	25
Figura 3.2.6- instalação de tirantes.....	25
Figura 3.2.7- Aplicação de concreto projetado secundário.....	25
Figura 3.3.1- Seção típica de instrumentação interna (Seção de Convergência).....	27
Figura 3.3.2- Seção típica de instrumentação externa.....	28
Figura 3.3.3- Leitura da seção de convergência, na região do Desemboque.....	28
Figura 3.3.4- Seção longitudinal, monitoramento Emboque.....	30
Figura 3.3.5- Seção longitudinal, monitoramento Desemboque.....	30
Figura 3.3.6- Seção de convergência S-49.....	31
Figura 3.3.7- Seção eterna S-49.....	31

Figura 3.3.8- Seção externa S-49.....	31
Figura 3.3.9- Seção de convergência S-14.....	32
Figura 3.3.10- Seção externa S-14.....	32
Figura 3.3.11- Seção externa S-13.....	32
Figura 3.4- Desenho esquemático com as fases principais escavação pelo do método D&B.....	33
Figura 4.1.1- Foto do testemunho de sondagem.....	34
Figura 4.1.2- Seção longitudinal com o Imageamento Geolétrico e a Sismica de Refração.....	36
Figura 4.1.3- Seção Geológica/ Geotécnica com a compartimentação das classes previstas.....	37
Figura 4.1.4- Frente mapeada- classe II.....	38
Figura 4.1.5- Frente mapeada rocha sã, granito rosado.....	38
Figura 4.1.6- Frente mapeada detalhe enclaves, minerais máficos.....	38
Figura 4.1.7- Frente mapeada com enclaves, minerais máficos.....	38
Figura 4.1.8- Frente mapeada- classe IV.....	39
Figura 4.1.9- Detalhe frente mapeada- classe IV.....	39
Figura 4.1.10- Fraturas preenchidas por leucogranitoides róseos equigranulares,	39
Figura 4.1.11- Fraturas preenchidas por leucogranitoides róseos equigranulares,	39
Figura 4.1.12- Frente mapeada- classe III.....	40
Figura 4.1.13- Frente mapeada- classe III, detalhe preenchimento argiloso.....	40
Figura 4.1.15- Pontos de água umidade/gotejamento leve na parede direita.....	41
Figura 4.1.16- Pontos de água umidade/gotejamento no trecho IV.....	41
Figura 4.1.17- Detalhe pontos de água umidade/gotejamento.....	41
Figura 4.1.18- Região do Desemboque- tratamento dos taludes	42
Figura 4.1.19- Perfuratriz PW, execução enfilagem.....	43
Figura 4.1.20- Conclusão campanha de enfilagem Desemboque.....	43
Figura 4.1.21- Primeira detonação no Desemboque.....	43
Figura 4.1.22- Aplicação de concreto projetado na Viga Portal Desemboque.....	43
Figura 4.1.23- Perfuração com jumbo.....	44
Figura 4.1.24- Perfuração com jumbo.....	44
Figura 4.1.25- Aplicação de concreto projetado	44
Figura 4.1.26- Bate choco mecanizado.....	44
Figura 4.1.27- Perfuração campanha de enfilagem auto-perfurante no desemboque.....	45
Figura 4.1.28- Instalação de cambotas no desemboque.....	45
Figura 4.1.29- Após detonação no desemboque.....	45
Figura 4.1.30- Região do desemboque.....	45
Figura 4.1.31- Frente desemboque conclusão do tratamento conforme recomendações técnicas.....	46
Figura 4.1.32- Túnel desemboque conclusão do tratamento conforme recomendações técnicas.....	46
Figura 4.1.33- Região do desemboque com barreira física.....	46

Figura 4.1.34- Perfil longitudinal da região do Desemboque, com o registro do tratamento.....	48
Figura 4.1.35- Região do Emboque-tratamento para estabilidade dos taludes.....	49
Figura 4.1.36- Região do Emboque-tratamento para estabilidade dos taludes.....	49
Figura 4.1.37- Região do Emboque-tratamento para estabilidade dos taludes.....	49
Figura 4.1.38- Região do Emboque- execução da primeira campanha de enfilagem injetada.....	50
Figura 4.1.39- Região do Emboque-durante execução da viga portal.....	50
Figura 4.1.40- Aplicação de concreto projetado viga portal.....	50
Figura 4.1.41- Limite do tratamento S5 com o S3.....	51
Figura 4.1.42- Aproximadamente 73 metros de túnel escavado.....	51
Figura 4.1.43- Perfuração da frente com jumbo.....	52
Figura 4.1.44- Marcação do plano de fogo e dos tirantes pela equipe topográfica.....	52
Figura 4.1.45- Tratamento S4, classe IV.....	53
Figura 4.1.46- Perfuração com 3,0m para instalação dos tirantes.....	53
Figura 4.1.47- Após aplicação de concreto projetado no tratamento secundário.....	55
Figura 4.1.48- Túnel com 213,52 metros escavados pelo lado do Emboque, sentido (N120°).....	55
Figura 4.1.49- Conclusão do tratamento para paralisação do túnel - lado emboque.....	55
Figura 4.1.50- Perfil longitudinal do tratamento realizado na região do Emboque.....	56
Figura 4.1.51- Perfil longitudinal do tratamento realizado na região do Emboque.....	57
Figura 4.1.51- Perfil longitudinal do tratamento realizado na região do Emboque.....	58
Figura 4.2.1.- Identificação das principais estruturas nos taludes na região do desemboque.....	60
Figura 4.2.2- Identificação das principais estruturas nos taludes na região do desemboque.....	60
Figura 4.2.3- – Mapa Geológico com as províncias tectônicas do Estado de Alagoas.....	61
Figura 4.2.4- Mapeamento geológico com os principais fraturamentos.....	62
Figura 4.2.5- Rocha alterada mole/ RAD, predominando no teto F5.....	63
Figura 4.2.6- Mapeamento Geológico/Geotécnico, em planta no desemboque.....	64
Figura 4.2.7- Detalhe do mapeamento Geológico/Geotécnico, em planta no desemboque.....	65
Figura 4.2.8- Diagramas das principais Fraturas mapeadas no Desemboque.....	66
Figura 4.2.9- Mapeamento Geológico em planta com os principais fraturamentos-desemboque.....	67
Figura 4.2.10- Frente do Emboque - contato geotécnico, classe III/ classe IV.....	68
Figura 4.2.11- Mapeamento Geológico/Geotécnico em planta no emboque.....	69
Figura 4.2.12- Mapeamento Geológico/Geotécnico em planta no emboque.....	70
Figura 4.2.13- Diagramas das principais Fraturas mapeadas no emboque.....	71
Figura 4.2.13.1- Frente do Emboque, classe III- trecho camboteado.....	71
Figura 4.2.14- Diagramas das principais Fraturas mapeadas no emboque.....	72
Figura 4.2.14.1- Frente do Emboque, classe II-	72
Figura 4.2.15- Diagramas das principais Fraturas mapeadas no emboque.....	73
Figura 4.2.15.1- Frente do Emboque, classe IV-	73

Figura 4.2.16- Mapeamento Geológico em planta com os principais fraturamentos- emboque.....	74
Figura 4.2.17- Frente emboque- classe IV- overbreak geológico.....	75
Figura 4.2.18- Folha do mapeamento geológico - classe IV.....	75
Figura 4.2.19- Frente emboque- classe IV- overbreak geológico.....	76
Figura 4.2.20- Folha do mapeamento geológico.....	76
Figura 6.1- Perfil geológico- geotécnico elaborado na fase II da obra.....	79
Figura 6.2- Conclusão do tratamento, conforme recomendações para paralisação do túnel.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classificação geomecânica de Bieniawski (1973).....	13
Tabela 3.1.1 – Classificação de campo da resistência dos materiais rochosos.....	14
Tabela 3.1.2- Classificação geomecânica de Bieniawski (1989).....	15
Tabela 3.3- Classes de suporte definidas para o sistema Q.....	17
Tabela 3.4- Relação entre Seção tipo, classe de maciço e tratamento definido em Projeto.....	21
Tabela 4.1.1- Drenos instalados ao longo do túnel, no lado emboque.....	41
Tabela 4.1.2- Resumo do acompanhamento da escavação realizada na região do desemboque.....	47
Tabela 4.1.3- Resumo do acompanhamento realizado em maio na região do emboque.....	51
Tabela 4.1.4- Resumo do acompanhamento realizado em junho na região do emboque.....	52
Tabela 4.1.5- Resumo do acompanhamento realizado em julho na região do emboque.....	54
Tabela 4.1.6- Resumo do acompanhamento realizado em agosto na região do emboque.....	55
Tabela 4.1.7- Controle de escavação mensal.....	59
Tabela 4.1.8- Controle com a classe mapeada ao longo do túnel.....	59
Tabela 5.1- Efeito da orientação das descontinuidades, RMR (1989).....	77

ANEXOS

Anexo 1- Mapa rodoviário do Estado de Alagoas, município de Senador Rui Palmeiras.....	85
Anexo 2- Registro estruturas do mapeadas no lado Desemboque.....	86
Anexo 3- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	87
Anexo 4- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	88
Anexo 5- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	89
Anexo 6- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	90
Anexo 7- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	91
Anexo 8- Registro estruturas do mapeadas no lado Emboque.....	92

LISTA DE SIGLAS

ATO	Acompanhamento Técnico de Obra)
D&B	Drill and Blaster (perfurar e detonar)
Km	Quilômetro
M	Metros
Mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
m ³	Metro cúbico
NATM	New Austrian Tunnelling Method
RMR	Rock Mass Rating
RQD	Rock Quality Designation
SRF	Estado de tensão do maciço
TLD	Talude
Q	Tunneling Quality Index

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Ja</i>	Grau de alteração das descontinuidades
<i>Jn</i>	Número de famílias de descontinuidades
<i>Jr</i>	Índice de rugosidade das descontinuidades
<i>Jv</i>	Índice volumétrico
<i>Jw</i>	Fator de redução de água

RESUMO

O presente trabalho destaca o mapeamento geológico realizado na fase II de acompanhamento técnico da obra do túnel Cacimba Cercada, referente aos 232 metros de escavação do Trecho IV do projeto Canal Adutor do Sertão Alagoano. A obra, na sua totalidade prevê o beneficiamento para aproximadamente um milhão de pessoas com água potável provinda do Rio São Francisco, que se inicia no município de Delmiro Gouveia e finaliza no município de Arapiraca totalizando 250km de percurso. A área de estudo está inserida na Província Borborema e associada a Suíte Intrusiva Itaporanga (Plúton Carneiros). O maciço que apresenta predomínio absoluto de composição granítica apresentando textura equigranular média a grossa a inequigranular porfírica, matriz equigranular média a grossa, de cor cinza clara a rosa esbranquiçada, compostos essencialmente por quartzo, plagioclásio, microclina, biotita e anfibólio revelou, também uma grande alternância de rocha sã com rocha alterada relacionada a zonas de falha. De modo geral, o maciço rochoso, apresenta passagens com alto grau de fraturamento, variando entre F5/F4, onde foram identificados pontos críticos com intenso fraturamento, alteração e incoerência da rocha, por vezes comportando-se como solos, as descontinuidades e alinhamentos do maciço rochoso se distribuem de forma heterogênea, com espaçamento e persistência variáveis onde predominam faixas de maciço F3/F2.

Palavras Chaves: Aspectos geológicos; túnel, Alagoas, fraturamento, Suíte intrusiva Itaporanga

ABSTRACT

This work aims to highlight the geological mapping done on the second phase of the Cacimba Cercada Tunnel, in Alagoas, Brazil. More specifically, on the excavation of the 232 meters of part IV section of Cacimba Cercada tunnel operations as a part of the Adductor Channel Project which will be used by the arid areas in Alagoas. Such project aims to benefit approximately 1 million citizens with potable water from the São Francisco River. The construction starts on Delmiro Gouveia municipality and ends on Arapiraca summing up to 250 km length. This study is located in the Borborema province area and is associated to the Itaporanga intrusive suite (Carneiros Pluton). The massif has absolute domain on the granite composition presenting medium equigranular texture and coarse inequigranular porphyritic, equigranular medium to coarse matrix, color light grey and whitish pink, essentially composed by quartz, plagioclase, microcline, biotite and amphibole revealing, not only, wide alternation between non-altered and altered rocks associated to the faults zone. It is notable the high level of fractures, varying between F5/F4 grades, identified by critical points, with altered and inconsistent, sometimes responding as a soil to the stress tests. Also, unconformities and alignments of the rocky massif spread heterogeneously, with spacing and persistency varying where the F3/F2 type of massif areas are predominant.

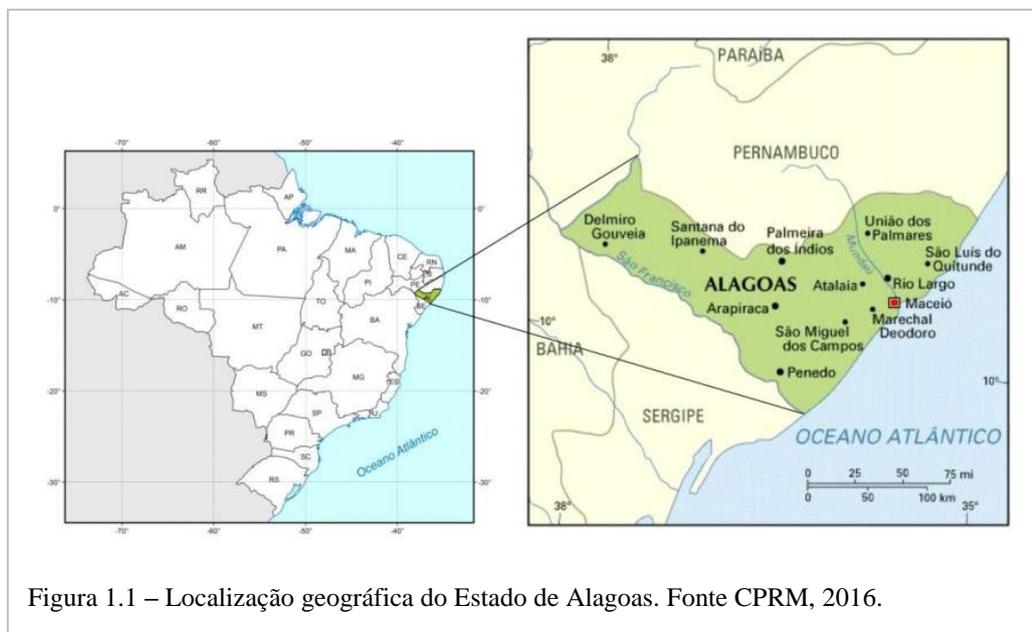
Keywords: geological aspects, tunnel, Alagoas, fracturing, Itaporanga Intrusive Suite.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização e classificação dos aspectos geológicos do maciço rochoso interferem diretamente na escolha do traçado, do método de escavação e do revestimento e tratamento necessário à sua estabilidade a serem aplicados durante as distintas fases do projeto e execução dos túneis. O presente trabalho apresenta o registro do mapeamento geológico- geotécnico realizado na fase II, durante a escavação do túnel Cacimba Cercada, que está inserido no Trecho IV do projeto Canal Adutor do Sertão Alagoano, que ocorreu entre fevereiro e agosto de 2018, e compreende os primeiros 230 metros de escavação do túnel, que envolveu níveis de desmonte em rocha com aplicação de revestimento e tratamentos necessários à sua estabilidade.

1.1. Localização da Área de Estudo

O túnel Cacimba Cercada está localizado no município de Senador Rui Palmeira na região do Sertão alagoano, no oeste do Estado de Alagoas, limitando-se a norte pelo município Senador Rui Palmeira, a sul pelo município de São José da Tapera e a leste pelo município de Carneiros. O acesso a partir de Maceió é feito através das rodovias pavimentadas BR-316, BR-101 e AL- 220, com percurso em torno de 220 km.



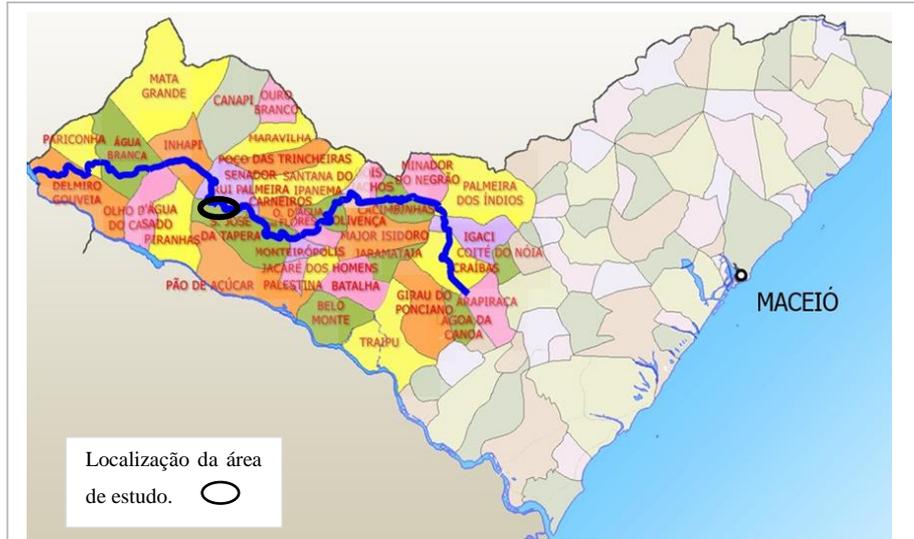


Figura 1.2 – Mapa do Estado de Alagoas, com destaque para o trajeto do Canal Adutor do Sertão (250km), passando pela cidade de Senador Rui Palmeira (em destaque). Fonte: OEC, 2018.



Figura 1.3- Imagem de satélite, com destaque para a localização do Túnel Cacimba Cercada (de 750m de extensão). Emboque (lado oeste) e Desemboque (lado leste). Fonte: Google Earth (2019).



Figura 1.3.1- Região do Emboque (lado Oeste), tirada em 30/07/2018.



Figura 1.3.2- Região do Desemboque (lado Leste), tirada em 30/07/2018.

1.2 Apresentação do Problema

O projeto Canal do Sertão Alagoano foi pensado e para ser a intervenção pública que amenizaria os problemas enfrentados pela região semiárida do estado. PEDROSA *et.al* (2008) apontam que o objetivo central do canal é o de promover um desenvolvimento socioeconômico local sustentável, que consiga garantir maior qualidade de vida, renda e nível de emprego. Embora a finalidade do canal seja considerada para múltiplo uso, as demandas mais importantes destacadas no Estudo de Sustentabilidade do Projeto Canal do Sertão Alagoano, desenvolvido pela HYDROS/TECNOSOLO (2002), são: aproveitamento hidroagrícola (perímetros de irrigação), demanda rural difusa (perímetros de sequeiro), abastecimento de água rural e urbano e desenvolvimento de piscicultura em tanques. A região é formada por solos rasos sobre embasamento cristalino com baixa capacidade de infiltração, dificultando o armazenamento de água no solo no período de chuva (SUASSUNA, 2007). De modo geral, o Sertão alagoano é caracterizado por um clima quente, com chuvas restritas a poucos meses durante o ano, (pluviosidade de 300-500 mm/ano), o bioma presente na região do Semiárido é a Caatinga, que apresenta uma vegetação formada por árvores baixas, arbustos e, em sua maioria, as plantas da região possuem espinhos, como os cactos. O baixo volume de chuvas, incluindo a má distribuição ao longo do ano, em solos com baixa capacidade de armazenamento de água o alto índice de evaporação e a baixa qualidade das águas subterrâneas, em função do elevado grau de salinidade, formam um conjunto de fatores que proporcionam a seca na região. A finalidade do Canal é prover água de forma contínua para as mesorregiões do Sertão e Agreste, buscando reverter o quadro de vulnerabilidade econômica e social local, que se aprofunda ainda mais nos períodos marcados por longas estiagens. Sendo assim, o Canal do Sertão foi projetado para atender, de forma direta e indireta, a 42 municípios do Sertão e do Agreste alagoano, tendo início no município de Delmiro Gouveia (Km0) com a captação de água feita no reservatório da usina hidrelétrica Apolônio Sales (Moxotó) e seguindo até Arapiraca (Km250), onde finda o Canal. Em sua construção, o Canal é predominantemente do tipo trapezoidal com trechos em estruturas especiais como túneis, pontes canal, travessias sobre o canal, sifões e comportas, depois que a água é captada no reservatório de Moxotó e recalçada até o início do Canal, com auxílio de um conjunto de 12 moto-bombas, segue totalmente por gravidade até seu final.

A aplicação dos estudos geológicos nos projetos de engenharia de túnel engloba o reconhecimento da tipologia básica das principais rochas e das feições geológicas que

constituem os elementos estruturais do maciço, através da análise geomecânica das suas características físicas como morfologia e da cinemática do potencial de instabilidade de blocos que representam as propriedades fundamentais de engenharia dos maciços geológicos para aplicação dos estudos geomecânicos. O túnel Cacimba Cercada se inicia no quilômetro Km121,5 da obra do Canal e apresenta 750m de extensão com cobertura de rocha/ solo na ordem de 20m, está inserido no trecho IV do projeto, onde as obras do canal trapezoidal estão em fase de andamento, se desenvolve do quilômetro 93 ao Km123, e está sendo executado pela empresa OEC. O granito rosado predominou nos 230m de escavação, que representam cerca de 30% do seu comprimento total. O túnel foi executado pelo método NATM, com classificações geomecânicas de BIENIAWSKI, 1989 e BARTON, 1995 variando entre I a V. A estabilização dos dois emboques foi obtida através da execução de bermas de equilíbrio, execução de solo grampeado e tirantes, e a escavação do túnel envolveu níveis de desmonte em rocha com aplicação de revestimentos como concreto projetado, tela metálica, tirantes e cambotas para estabilização do túnel conforme tratamentos previstos no projeto.



Figura 1.4 – Foto aérea do canal trapezoidal localizado no Sertão alagoano. Fonte: Lula Castelo Branco (2017).

A primeira etapa de investigação e estudo- Fase I, realizada em 2014, compreendeu a fase de análise do projeto através da interpretação dos testemunhos de sondagens, do resultado da sísmica de refração e do imageamento geolétrico. O presente trabalho tratou da Fase II que se refere a execução da obra nos 230m de escavação do túnel, tendo sido realizada no período de fevereiro a agosto de 2018. A Fase III tem a previsão de concluir o comprimento dos 520m restantes do túnel.

1.3 –Objetivos

O acompanhamento de obras subterrâneas tem contribuído significativamente para o conhecimento geocientífico no que tange a qualidade e segurança deste tipo de obra, e neste contexto o objetivo principal deste trabalho consiste em caracterizar os aspectos geológicos e geotécnicos da escavação do Túnel Cacimba Cercada, assim como ampliar os fatores de segurança para continuação da execução desta obra. Dentre os objetivos específicos propõem-se:

- Caracterizar as famílias de fraturas mapeadas ao longo do túnel.
- Analisar a tectônica Rúptil e sua influência na classificação Geotécnica do maciço rochoso pelo parâmetro geomecânico, através do índice RMR de Bieniawski;
- Caracterizar os principais lineamentos estruturais e zonas de falhas mapeadas.
- Identificar os principais tipos litológicos encontrados ao longo da escavação do túnel.

A partir dessas atividades pretende-se propor um modelo com o perfil geológico/geotécnico, com as principais classes e estruturas geológicas mapeadas, assim como os trechos críticos com as zonas de falhas na área de escavação do túnel.



Figura 1.5– Região do Emboque do túnel Cacimba Cercada, foto tirada em 24 de maio de 2018.

2. REVISÃO DOS ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS DO ESTADO DE ALAGOAS

2.1 Geologia Regional

De acordo com dados da CPRM (2017), o Estado de Alagoas localiza-se em termos tectônicos na Província Borborema, mais precisamente na sua Subprovíncia Meridional. Seu substrato é formado por rochas cristalinas de idade pré-cambriana, que ocupam cerca de 80% de sua área territorial, e por rochas sedimentares fanerozóicas que recobrem a sua porção restante. O embasamento cristalino compreende cinco domínios tectono-estruturais distintos: Jirau do Ponciano, Rio Coruripe, Pernambuco-Alagoas, Canindé e Macururé. O Domínio Jirau do Ponciano, de idade arqueana, congrega os metassedimentos e metavulcânicas do Complexo Nicolau-Campo Grande, os ortognaisses do Complexo Jirau do Ponciano e ortognaisses Serra das Cabaças. O Domínio Rio Coruripe compreende a sequência vulcanossedimentar paleoproterozoica do Complexo Arapiraca, enquanto o Domínio Pernambuco-Alagoas engloba os metamorfitos e metamáficas do Complexo Cabrobó, além dos ortognaisses graníticos e migmatíticos do Complexo Belém do São Francisco. O Domínio Canindé engloba as litologias dos Complexos Canindé e Araticum. O primeiro constituído por metamáficas e metaultramáficas e o segundo por biotita gnaisses, biotita xistos granatíferos, incluindo rochas metamáficas e metaultramáficas, além de lentes de quartzitos, mármore e calciossilicáticas. O Domínio Macururé compreende os biotita xistos metamorfisados na fácies xisto verde do Grupo Macururé. Plutonismo granítico, de idade Neoproterozóica de composição variada incluindo granito, granodiorito, monzonitos, monzogranitos, sienitos e sienogranitos agrupados nas suítes intrusivas: Itaporanga, Xingó, Propriá e Serra do Catu, além dos granitóides indiscriminados. Têm-se também os plutonitos da Suíte Intrusiva Águas Belas de colocação pós-tectônica ao ciclo Brasileiro. Superpostos a este embasamento cristalino tem-se a cobertura sedimentar fanerozóica aflorante nas porções sudoeste e noroeste do estado, representada pelos sedimentos das formações Inajá e Tacaratu. (SILVA FILHO, A. F., GUIMARÃES, I. P.; VAN SCHMUS. W. R., 2002).

Na porção leste do Estado ocorrem os sedimentos da Bacia Sergipe-Alagoas, inicialmente que tem na base uma sequência pré-rifte constituído pelas formações Batinga e Aracaré de idade paleozoica, seguida das formações Bananeiras e Serraria, datadas do Jurássico. Este conjunto é sotoposta às formações Barra de Itiúba, Penedo, Morro do Chaves, Coqueiro Seco, Poção, Maceió e Algodois, de idade cretácea.

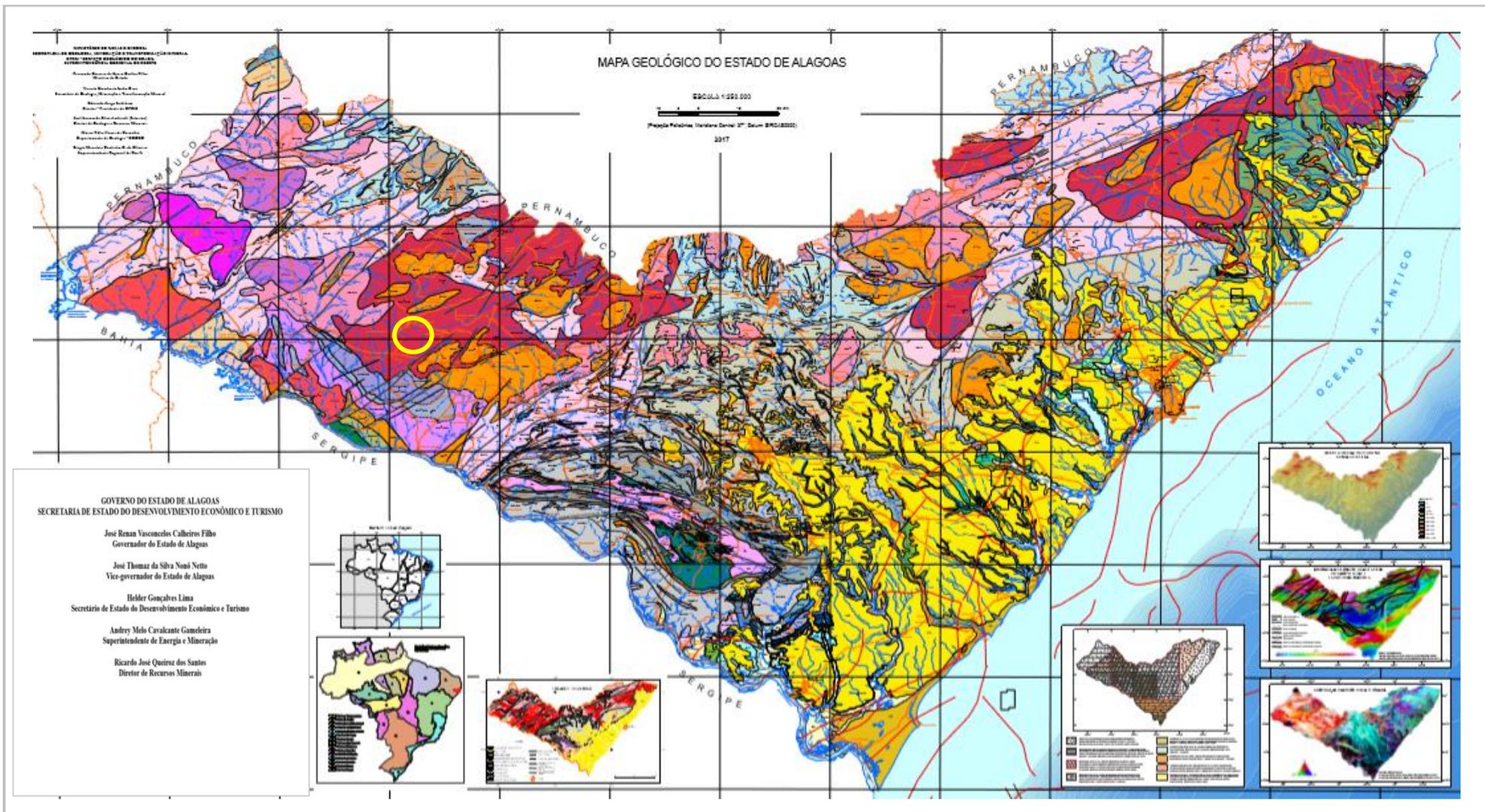


Figura 2.1- Mapa Geológico do Estado de Alagoas, círculo amarelo destacando a área de estudo. Fonte CPRM, 2017.

2.2 Geologia Local

A região que compreende o túnel está contida na Suíte Intrusiva Itaporanga (NP3/2it) do Pré-Cambriano, especificamente do Neoproterozóico e que corresponde ao Plúton de Carneiros. O magmatismo Ediacarano / Brasiliano é constituído por granitoides que ocorrem intrudidos nos domínios Canindé, Marancó, Poço Redondo, Macururé, Rio Coruripe e tem a sua maior área de distribuição no Domínio Pernambuco-Alagoas, onde constituem corpos alongados, orientados paralelamente à estruturação regional.

SUÍTE INTRUSIVA ITAPORANGA

NP3 γ 2it (41) Plúton Santana de Ipanema, (47) Plúton Tanquinho, (48) Plúton Carneiro, (49) Plúton Munguba: granodioritos, monzogranitos e sienogranititos, equigranulares médios a grossos a inequigranulares porfíricos, com fenocristais subédricos a euédricos de K-feldspatos (1 cm a 7 cm) e plagioclásio (0,5 cm a 1 cm). Possuem enclaves dioríticos e fácies intermediárias de mistura. Suíte metaluminosa a levemente peraluminosa, calcioalcalina de alto potássio a levemente shoshonítica. **632 \pm 13 Ma e 612 Ma U-Pb.**

SUÍTE INTRUSIVA XINGÓ

NP3 γ 3x Plúton Xingó: leucogranitoides róseos esbranquiçados, equigranulares finos a médios, às vezes com diferenciações pegmatíticas e, em geral, isotrópicas. Peraluminosos. **600 Ma Rb - Sr.**

NP3 γ i Granitoides Indiscriminados: monzogranitos, sienogranitos, granodioritos, tonalitos e sienitos predominantemente equigranulares finos a médios, às vezes grossos e, localmente, porfíricos, isotrópicos, em alguns pontos exibem foliação magmática.

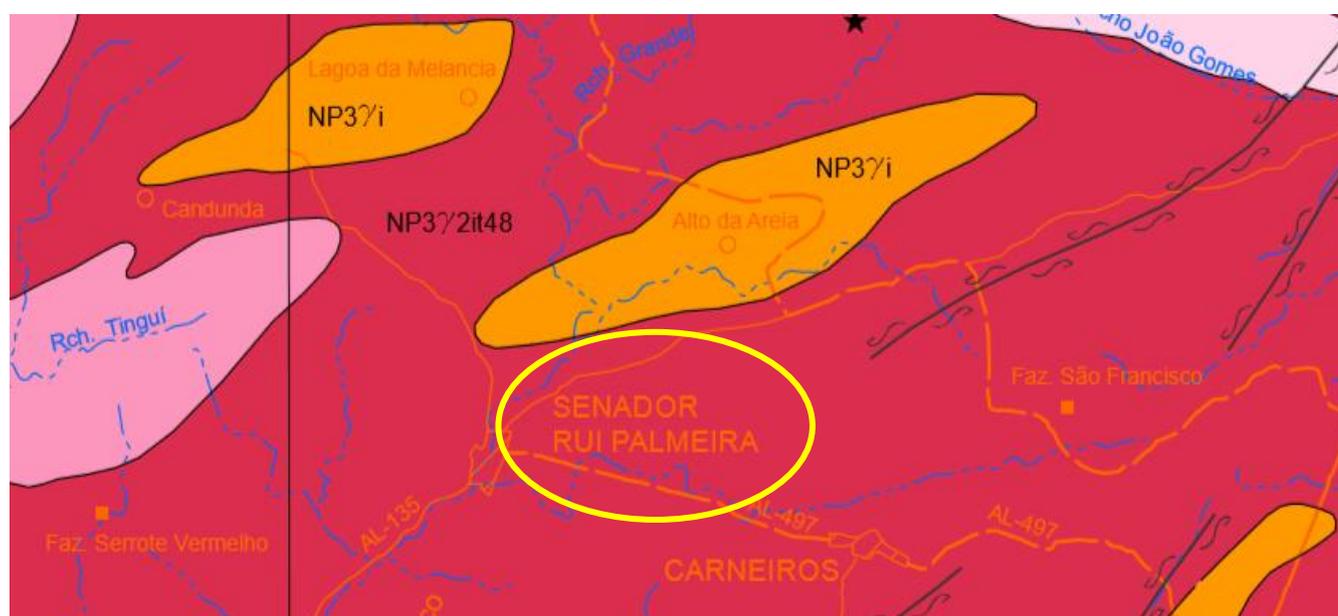


Figura 2.1.1 –Mapa Geológico do Estado de Alagoas, com destaque para o município de Senador Rui Palmeiras. Fonte CPRM, 2017.

No Estado de Alagoas o plutonismo ocorre como uma sucessão de pulsos magmáticos, onde são individualizados como sin a tardi, tardi a pós e pós-orogênicos (Figura 2.3), foram cartografadas, com base nos dados geológicos, petrográficos e litogeoquímicos em suítes cuja classificação e nomenclatura já está consagrada na literatura geológica (ALMEIDA et al., 1977).

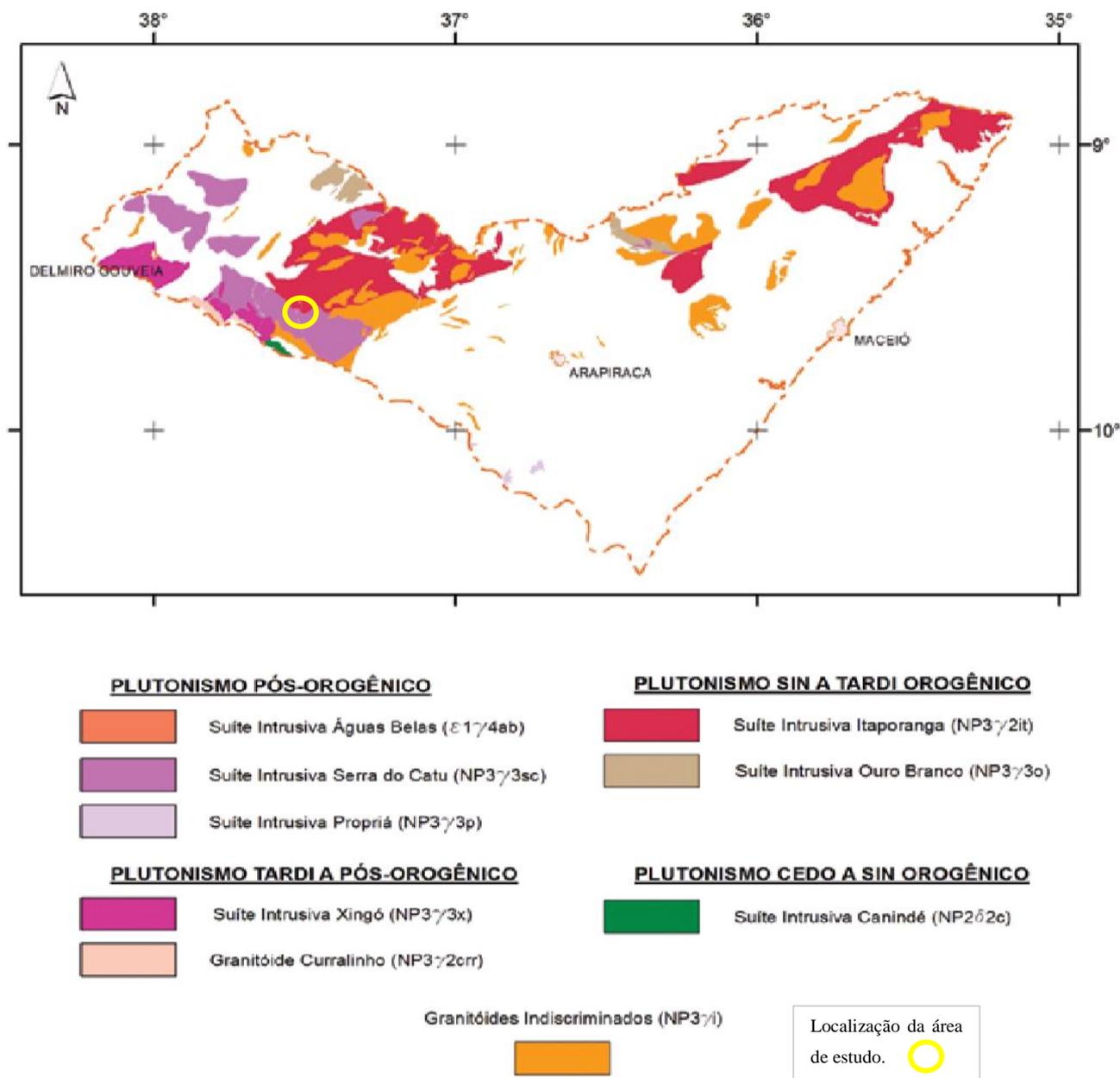


Figura 2.2 – Mapa Geológico simplificado do magmatismo Ediacarano/Brasiliano no contexto do Mapa Geológico do Estado de Alagoas, individualizados como suítes intrusivas e plutonitos EO a sin, sin a tardi, tardi a pós-orogênicos e granitóides indiscriminados. Fonte: CPRM, 2017.

A Suíte Intrusiva Itaporanga (NP3γ2it) é representada pelos plútons Tanquinho, Santana do Ipanema, **Carneiros**, Munguba e alguns stocks e batólitos ainda sem denominação. Com base nas determinações isotópicas realizadas por Silva Filho et al. (2002), os representantes desta suíte distribuem-se no Domínio Pernambuco-Alagoas, constituindo parte dos batólitos Correntes-Marimbondo e Águas Belas – Canindé, cujas idades modelo TDM (Sm-Nd) variam de 1,5 Ga a 1,0 Ga. A Suíte Intrusiva Itaporanga está representada por granitoides, com textura equigranular média a grossa a inequigranular porfirítica, com fenocristais esparsos de álcali-feldspato (variando de 1cm a 3cm, ocasionalmente com 5cm a 7cm) e raramente de plagioclásio (0,5cm a 1cm), distribuídos esparsamente numa matriz equigranular média a grossa. São predominantemente isotrópicos, mas podem mostrar orientação dos fenocristais euédricos de álcali-feldspato, dos minerais máficos e de enclaves microgranulares máficos com estruturas de fluxo e/ou acamadamento. Sobrepostas às estruturas primárias, localmente, observa-se deformação plástica no estado sólido, marcada pelo estiramento de quartzo, por augens de feldspatos e restritos ultramilonitos. Evidências de deformação rúptil, também estão presentes, como fraturas, algumas vezes preenchidas por leucogranitoides róseos equigranulares, finos, pegmatitos ou por monzogabros.

O Plúton Carneiros (NP3□2it48) apresenta dimensões batolíticas, distribui-se amplamente na porção centro-oeste do território alagoano, abrangendo as cidades de Cacimbinhas, Major Isidoro, Carneiros e **Senador Rui Palmeiras**. Segundo (SIAL, 1984 e 1986) ocorre com formato irregular exibindo um alongamento maior na direção ENE-WSW. Neste plúton ocorrem xenólitos do Complexo Belém do São Francisco (metagranitoides migmatíticos), de metagranitoides mesoproterozoicos e de anfíbolitos, (Complexo Cabrobó), diques sinplutônicos e enclaves microgranulares máficos (10 cm – 20 cm) de composição diorítica, e diques e stocks tardios de granitoides indiferenciados. São constituídos por granodioritos a monzogranitos inequigranulares grossos a porfiríticos. Inclui fácies sienograníticas, a granodioríticas inequigranulares de cor cinza esbranquiçada a rosa clara. Tem-se ainda a fácies Rui Palmeira, de ocorrência restrita, e que abrange sienogranitos inequigranulares médios a grossos, de cor cinza clara a rosa esbranquiçada, equigranulares médios a porfiríticos, com fenocristais euédricos de álcali-feldspato. Foram realizadas determinações geocronológicas em dois representantes da Suíte Intrusiva

Itaporanga: o Plúton Carneiros que forneceu idade de ~612Ma e no Plúton Pindoba que apresentou idade de $\sim 632 \pm 13$ Ma, pelo método U-Pb.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho envolveu três etapas, assim especificadas:

- I. Etapa de campo: acompanhamento técnico de campo realizado durante as escavações do túnel, o mapeamento geológico foi realizado com auxílio de bússola, martelo, registros fotográficos, referentes a Fase II supracitada, e a comparação com os dados disponíveis de projeto, levantamento topográfico, mapas geológicos existentes, levantamentos geofísicos e resultados de sondagens rotativa e mista da área de estudo disponíveis nos perfis longitudinais realizados na Fase I;
- II. Tratamento dos dados: Os dados adquiridos foram organizados e atualizados em planilhas eletrônicas com o auxílio do Excell (Office 2010). Posteriormente, as planilhas foram utilizadas para o tratamento espacial dos dados em softwares de projeção estereográfica (Programa Dips Unweighted Contour Plot). Por meio do programa AutoCad foi possível confeccionar um perfil longitudinal geológico-geotécnico com as principais estruturas geológicas mapeadas em campo;
- III. Elaboração da dissertação: Nessa etapa, os processos de aquisição e tratamento de dados foram contextualizados, visando a compreensão das estruturas rúpteis com a evolução da escavação da obra no contexto da tectônica regional.

3.1 Classificação Geológica/Geotécnica

Os critérios de classificação utilizados para a caracterização geológica do maciço escavado foram baseados na classificação geomecânica de BIENIAWSKI (sistema RMR, 1973) e de BARTON (Sistema Q, 1974).

Sistema RMR

A classificação geomecânica utilizada por Bieniawski é baseada no princípio da atribuição de pesos aos seis parâmetros que o autor considerou contribuir mais significativamente para o comportamento dos maciços rochosos, com atenção especial o caso das obras subterrâneas. O

somatório dos pesos atribuídos a cada um destes parâmetros constitui um índice, usualmente designado por RMR (“Rock Mass Rating”), ao qual corresponde uma das cinco classes de qualidade de maciços consideradas. Os parâmetros utilizados são os seguintes:

1. Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
2. RQD (“Rock Quality Designation”);
3. Espaçamento das descontinuidades;
4. Condição das descontinuidades;
5. Influência da água;
6. Orientação das descontinuidades.

A Classificação Geomecânica tem por objetivo determinar a relação entre o vão livre do túnel e o tempo de sustentação sem suporte e estima a coesão e o ângulo de atrito para cada classe de maciço. Ao final do cálculo do RMR, como detalhado na Tabela 3.1, maciço rochoso pode ser classificado segundo cinco classes. Cada classe possui um conjunto de 20 valores, sendo que o RMR varia entre 0-100 (BIENIAWSKI, 1989).

Peso Global	100- 80	80- 61	60- 41	40- 21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrição	Maciço rochoso muito bom	Maciço rochoso bom	Maciço rochoso razoável	Maciço rochoso fraco	Maciço rochoso muito fraco
Tempo médio para aguentar sem suporte	20 anos para 15m de vão	1 ano para 10m de vão	1 semana para 5 m de vão	10 horas para 2,5m de vão	30 minutos para 1 m de vão
Coesão da massa rochoso (KPa)	>400	300- 400	200- 300	100- 200	<100
Ângulo de atrito da massa rochosa (°)	>45	35- 45	35- 25	15- 25	<15

Tabela 3.1 – Classificação geomecânica de BIENIAWSKI (1973) - relação entre o vão livre do túnel e o tempo de sustentação sem suporte e estima a coesão e o ângulo de atrito para cada classe de maciço.

As classes RMR são calculadas conforme os critérios estabelecidos por BIENIAWSKI (1989). A pontuação atribuída segue os pesos inteiros definido para cada grupo de valores, conforme Tabela 3.2 a seguir.

A resistência a compressão uniaxial foi estimada a partir da correlação definida na Tabela 3.1.1, no caso da obra do túnel para o granito mapeado, foi adotado o parâmetro de 100-250 MPa. As condições das descontinuidades devem seguir, preferencialmente, o detalhamento do item 4 da Tabela 3.2. O valor de RMR será obtido pela soma dos pesos dos itens 1 a 6 da Tabela 3.2 e correlacionado as classes I, II, III, IV e V da Tabela 3.1.

Identificação de campo	Resistência (MPa)
Marcada pela unha	0,25-1,00
Esmigalha-se sob o impacto do martelo de geólogo / pode ser raspada por canivete	1,0-5,0
Pode ser raspada por canivete com dificuldade / marcada por firme pancada com a ponta do martelo	5-25
Não pode ser raspada por canivete / amostras podem ser fraturadas com um único golpe do martelo	25-50
Amostras requerem mais de um golpe de martelo para fraturar-se	50-100
Amostras requerem muitos golpes de martelo para fraturar-se	100-250
Amostras podem somente ser lascadas com o martelo de geólogo	>250

Tabela 3.1.1 – Classificação de campo da resistência dos materiais rochosos e correlação com a resistência a compressão uniaxial, com destaque para o valor de MPa utilizado no granito em questão. RCU. Fonte: ISRM (1981).

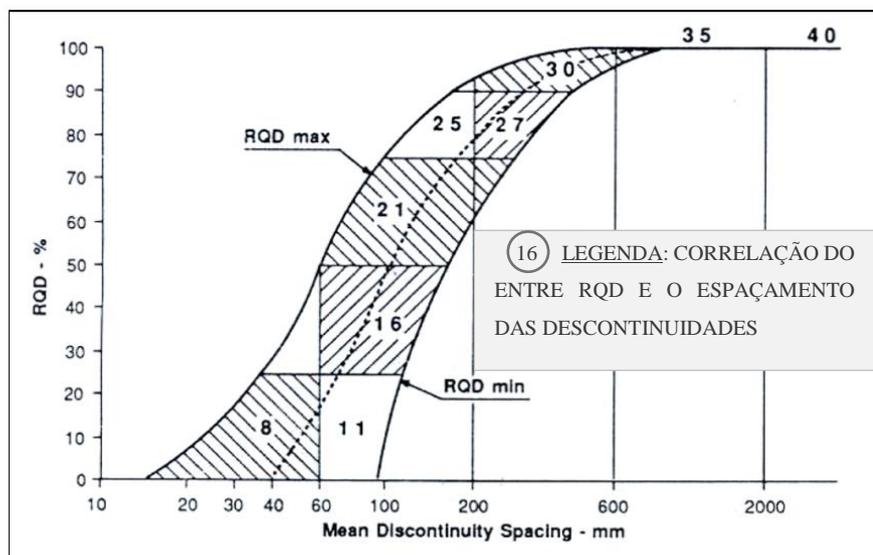


Figura 3.1.1- Correlação entre RQD e espaçamento das descontinuidades. Fonte: BIENIAWSKI, (1989).

Parâmetros			Coeficientes						
1	Resistência da rocha intacta	Point Load	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Ver compressão uniaxial		
		Compressão uniaxial	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Pesos		15	12	7	4	2	1	0
2	R.Q.D.		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	< 25 %		
	Pesos		20	17	13	8	3		
3	Espaçamento das descontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Pesos		20	15	10	8	5		
4	Condição das descontinuidades (ver Tabela 3)		Superfícies muito rugosas, não contínuas, sem separação, paredes de rocha não alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, separação < 1 mm, paredes ligeiramente alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, separação < 1 mm, paredes muito alteradas	Superfícies polidas ou enchimento com espessura < 5 mm ou juntas contínuas com separação 1-5 mm	Enchimento mole com espessura > 5 mm ou juntas contínuas com separação > 5 mm		
	Pesos		30	25	20	10	0		
5	Presença de água	Caudal por 10 m de comprimento do túnel	nenhum	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min		
		Relação pressão da água vs tensão principal máxima	0	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condições gerais	Completamente seco	Água intersticial	Húmido	Escorrimentos	Entrada de água		
	Pesos		15	10	7	4	0		

Tabela 3.1.2 – Classificação geomecânica de Bieniawski (1989) - "Rock Mass Rating - RMR".

A aplicação da classificação a um maciço rochoso implica a divisão deste em várias regiões litoestruturais (zonas) a serem classificadas separadamente. As fronteiras destas regiões coincidem usualmente com as estruturas geológicas principais, tais como falhas, diques, zonas de cisalhamento ou mudanças do tipo de rocha. Ainda dentro dessas zonas, em regiões de mesma litologia, podem ocorrer casos que seja necessária uma nova subdivisão devido a mudanças significativas no espaçamento das descontinuidades ou características dessas (HOEK, 2000).

Estas ferramentas são usadas para caracterizar os maciços rochosos com base em observações de campo, em ensaios in situ ou em amostras coletadas. Por fim, o resultado é uma sistematização dos elementos geotécnicos em classes que segue determinado critério comportamental. As classificações não são a última solução para os problemas geotécnicos, mas sim o caminho para a solução deles (BIENIAWSKI, 1989). A caracterização geomecânica de maciços rochosos pode ser entendida como o ato de se categorizar as características do maciço, organizando-as em grupos ou classes que consideram os diferentes comportamentos do meio rochoso nas condições de solicitações consideradas (MESQUITA, 2008).

Segundo BIENIAWSKI (1989), o sistema Q ou “Tunnelling Quality Index” foi desenvolvido por BARTON et al. (1974) e pode ser considerado a principal contribuição em relação a classificação de maciços rochosos pelo seguinte motivo: o sistema foi proposto com base na análise de 212 casos históricos de túneis na Escandinávia, é um sistema de classificação quantitativo e facilita a projeção de suportes para túneis. Assim como o sistema RMR, o sistema Q também leva em consideração o RQD, porém diferentemente deste, não inclui a determinação de parâmetros como a resistência da rocha ou espaçamento das descontinuidades.

Sistema Q

O sistema Q, idealizado por BARTON et al. (1974), baseia-se na avaliação do maciço rochoso por meio de seis parâmetros geomecânicos principais que estão agrupados em três quocientes multiplicados entre si e o resultado pode variar numa escala logarítmica de 0,001 a 1000, quanto mais alto for o valor encontrado, melhor será a qualidade do maciço, tais como o RQD (*Rock Quality Designation*), número de famílias de descontinuidades, rugosidade das paredes das fraturas, estados de alteração das fraturas, presença de água e finalmente um fator relacionado ao estado de tensão do maciço rochoso. Estes parâmetros se relacionam entre si segundo a equação:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

onde:

- *RQD*: Somatória dos segmentos iguais ou maiores que 10 cm (sondagem Nx) sobre o comprimento da manobra, varia de 10% a 100%;
- *Jn*: Número de famílias de discontinuidades, variando de rocha praticamente sem fraturas a rochas fragmentadas;
- *Jr*: parâmetro relacionado à rugosidade das paredes das fraturas, varia de fraturas polidas a onduladas e ásperas;
- *Ja*: parâmetro vinculado à alteração das paredes da rocha, varia de paredes alteradas com preenchimento argiloso até contato rocha a rocha;
- *Jw*: parâmetro vinculado à presença de água, varia desde fluxos expressivos com pressão de água até locais secos ou com infiltrações modestas;
- *SRF*: “Stress Reduction Factor” Fator de Redução por Tensão, parâmetro ligado ao estado de tensões atuantes ou relacionado à presença de discontinuidades importantes. O primeiro fator reflete, de modo geral, o tamanho dos blocos que serão individualizados na massa rochosa, o segundo fator reflete de forma aproximada as condições de resistência (atrito) entre estes blocos e finalmente o terceiro conjunto de parâmetros reflete as tensões atuantes entre estes blocos.

De todos os parâmetros utilizados no “Sistema Q” BARTON et al. (1974), a determinação das tensões “in situ” é sem dúvida o de maior grau de dificuldade de obtenção, pois implica em ensaio específico e oneroso. Neste projeto, entretanto, as escavações se caracterizam por baixo recobrimento, ou seja, em condições de tensões baixas, próximas a superfície ($SRF = 2,5$).

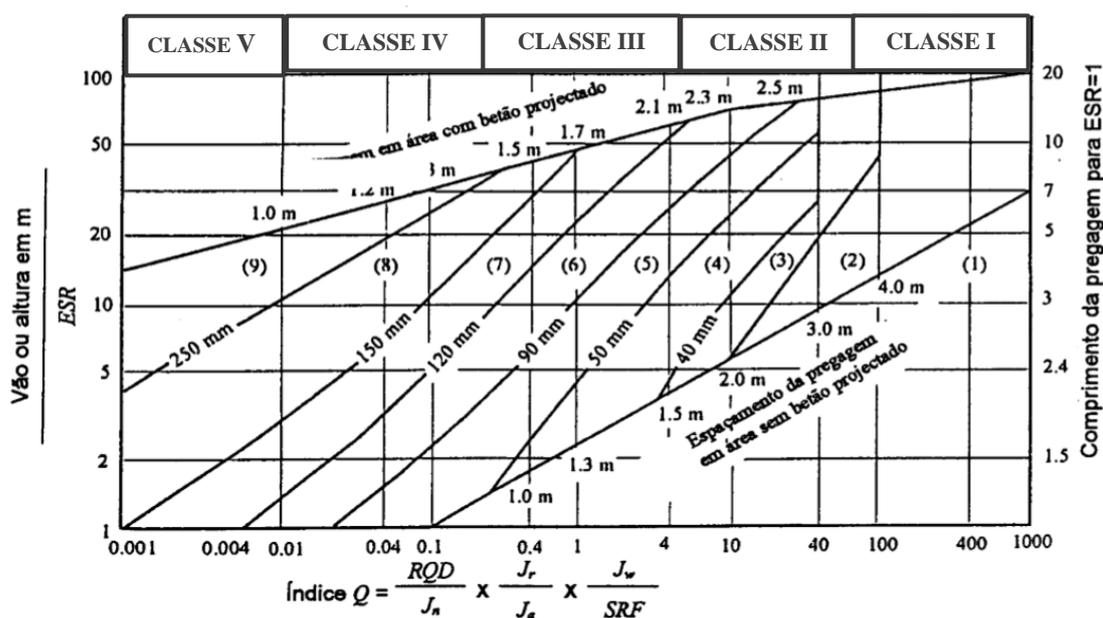


Tabela 3.3- Classes de suporte definidas para o sistema Q (GRIMSTAD E BARTON, 1993).

A Figura 3.1.2 representa a folha do mapeamento com o registro geológico utilizada em campo a cada avanço do túnel, com os parâmetros da classificação geomecânica definidas por BARTON, (1995) e BIENIAWSKI, (1989).

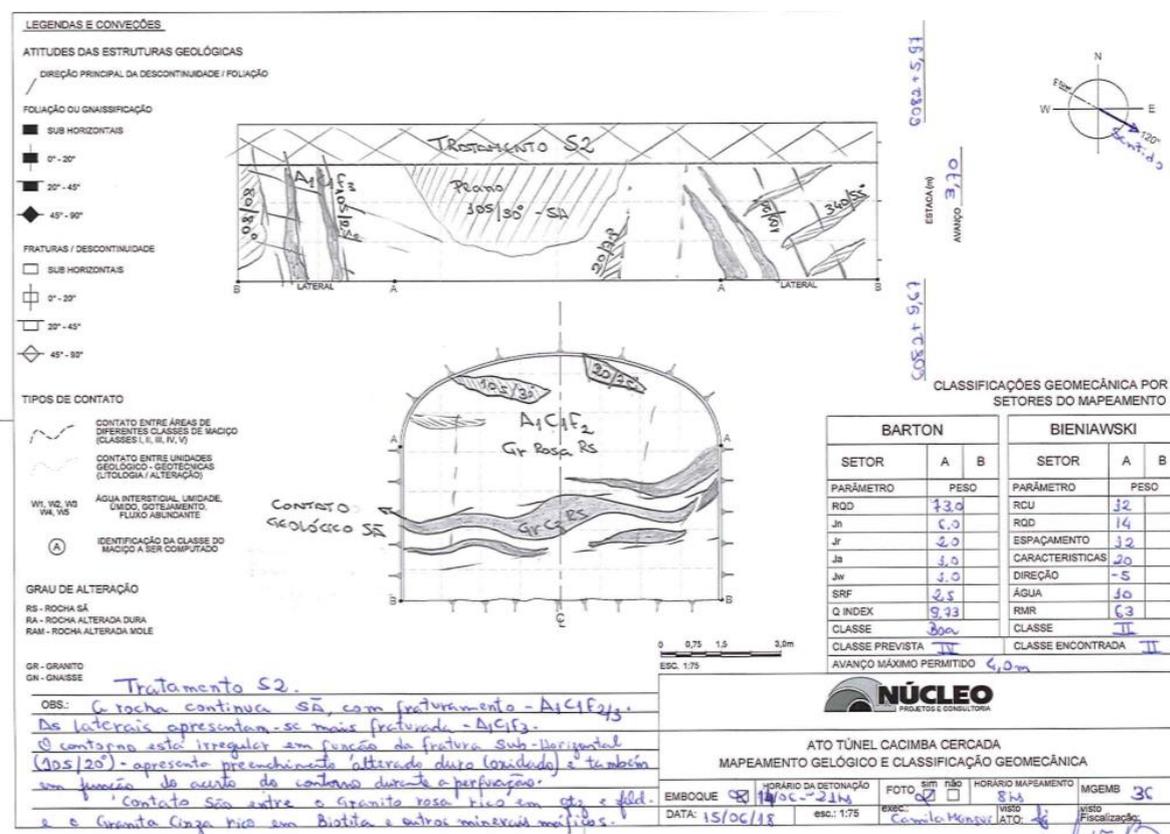


Figura 3.1.2- Detalhe da folha com registro do mapeamento geológico realizado em campo a cada avanço do túnel, incluindo os parâmetros da classificação geomecânica definidas por BARTON, 1995 e BIENIAWSKI, 1989.



Figura 3.1.3- Região do Emboque- referente ao mapeamento detalhado acima, tirada em 15/06/2018.

A seguir resumo fotográfico com os principais tipos de classe mapeados ao longo da escavação do túnel Cacimba Cercada:



Figura 3.1.4- Região do Emboque- classe II, estaca 6080+8,7, contorno em boas condições- tirada em 25/05/2018.



Figura 3.1.5- Região do Emboque- classe II, estaca 6081+9,20, contorno em boas condições tirada em 05/06/2018.

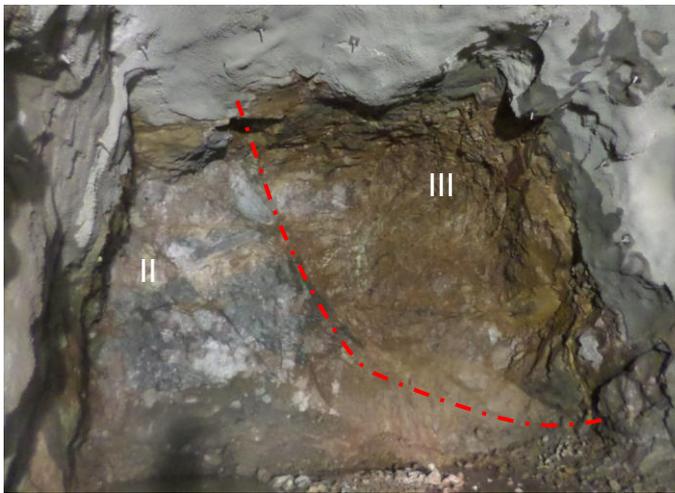


Figura 3.1.6- Região do Emboque- classe III, estaca 6085+15,51, contato geotécnico classes II/III-tirada em 17/07/2018.

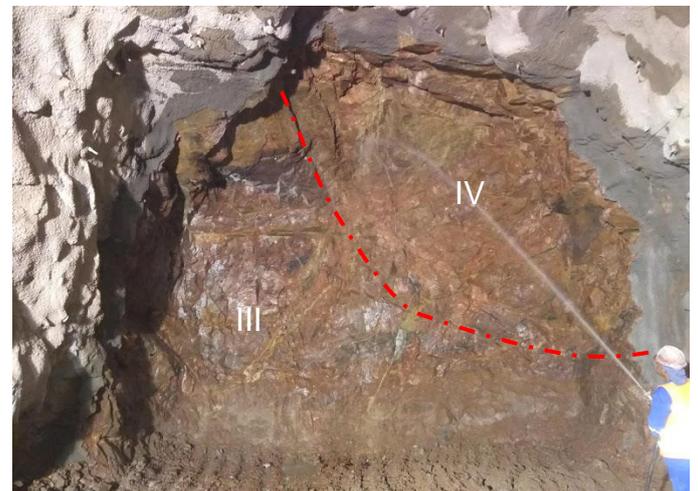


Figura 3.1.7- Região do Emboque- classe IV, estaca 6087+4,39, contato geotécnico classes IV/III tirada em 31/07/2018.



Figura 3.1.8- Região do Desemboque- classe IV, estaca 6014+15,85, tirada em 06/04/2018.



Figura 3.1.9- Região do Desemboque- classe V, estaca 6014+10,74, contato geotécnico classes V/IV tirada em 28/04/2018.

3.2 Tratamento Previsto Para As Diferentes Classes Do Maciço

O túnel foi escavado baseado nas propostas do método N.A.T.M. (New Austrian Tunnelling Method), com avanço/tratamento dependendo da classe de maciço mapeada pela equipe de A.T.O., com os respectivos tratamentos preconizados em projeto executivo. Segundo (CHIOSSI, 1975), a principal vantagem do NATM é que permite que o escoramento seja, aplicado à rocha imediatamente atrás da face em avanço. Esse escoramento aumenta notavelmente a resistência dessa rocha, enfraquecida potencialmente pelo alívio de tensão e pelo desmonte a fogo. O escoramento promove uma vedação imediata que evita a deterioração da rocha pela ação do tempo. Túneis próximos da superfície, como o exemplo da obra em questão, com pouca cobertura, requerem um revestimento mais rígido do que túneis à grande profundidade, isto é, com grande cobertura rochosa.

O tratamento proposto neste projeto, assim como o avanço limitado para cada seção mapeada com base nas classificações geomecânicas serão destacados a seguir:

- Para maciço rochoso **Classe I**, com Q acima de 60 e RMR entre 81 e 100 (Seção Tipo S1), foi adotado pelo projeto executivo um suporte com tirantes de 3,00m de comprimento, aplicados eventualmente e concreto projetado sem fibras com camada de 5 cm de espessura. Avanços superiores a 3,5m.
- Para maciço rochoso **Classe II**, com Q entre 5 e 60 e RMR entre 61 e 80 (Seção Tipo S2), foi adotado um suporte com tirantes de 3,00m de comprimento, aplicados de forma sistemática com malha de 1,5m x 1,5m, e concreto projetado com camada de 10cm de espessura (5+5). Avanços da ordem de 2,0 a 3,5m.
- Para maciço rochoso **Classe III**, com Q entre 0,25 e 5 e RMR entre 41 e 60 (Seção Tipo S3), foi adotado um suporte com tirantes de 3,00m de comprimento, aplicados de forma sistemática com malha de 1,5m x 1,5m, e concreto projetado com camada de espessura de 13cm (8+5). Este tipo de suporte é de uso condicionado à ocorrência de trechos de faturamento intermediário. Avanços da ordem de 2,0 a 3,5m.
- Para maciço rochoso **Classe IV**, com Q entre 0,01 e 0,25 e RMR entre 31 e 40 (Seção Tipo S4), foi adotado um suporte com tirantes de 3,00m de comprimento, aplicados de forma sistemática com malha de 1,0m x 1,0m, e concreto projetado com camada de espessura de 16cm (8+8). Estimam-se avanços da ordem de 1,5 a 2,5m.
- O túnel quando escavado em seção com maciço **Classe V** (Seção Tipo S5) em trechos de ocorrência de solos residuais maduros, o revestimento primário é constituído de cambotas

e telas metálicas e concreto projetado sem fibras com camada de espessura de 38cm (27+17), associado ao tratamento de recomposição do teto, através da execução de campanha de enfilagem. Com passos de avanços da ordem de 0,8m.

SEÇÃO	RMR	Esp. (cm) Concreto Projetado	Tela Metálica	Malha de Tirantes # (espaçamento em m)
S1 (classe I)	81-100	5	-	Eventual
S2 (classe II)	61-80	5+3=8	Q138	#1,5x1,5
S3 (classe III)	41-60	5+8=13	Q246	#1,5x1,5
S4 (classe IV)	21-40	8+8=16	Q246	#1,0x1,0
S5 (classe V)	0-20	21+17=38	Q138	CAMBOTA

Tabela 3.4 – Relação entre Seção tipo, classe de maciço e tratamento definido em Projeto.

Um dos principais elementos responsáveis por suportar as cargas do maciço em uma obra de túnel pelo método NATM é o concreto, mais precisamente o concreto projetado. Porém, até que o concreto atinja resistência suficiente para suportar tais esforços, são necessários alguns elementos de suporte para atuar nos momentos iniciais logo após a projeção do concreto. A aplicação correta e bem sucedida desse método requer bastante experiência e a íntima colaboração entre geólogo e o engenheiro. Para que seja aproveitada ao máximo as possibilidades desse método de execução de túneis, é necessário não somente ter a prática de execução de túneis, mas também é preciso ter um conhecimento profundo das propriedades e do comportamento da rocha.

A seguir serão tratados os principais elementos de suporte utilizados no Túnel Cacimba Cercada.

- **Concreto Projetado**- segundo (SILVA, 1997) entende-se por concreto projetado como sendo o concreto (cimento, areia, pedrisco, água e aditivos) que é transportado por um mangote de borracha desde o equipamento de projeção até um bico, onde por meio de ar comprimido é projetado a grande velocidade contra uma superfície.
- **Cambotas**- As cambotas são perfis metálicos geralmente em forma de arco (Figura 3.8), laminados ou treliçados, aparafusados e soldados. Possuem diversas funções como a de

suportar as cargas iniciais do terreno, servir de gabarito para o revestimento de concreto, guia para o correto alinhamento do túnel, guia para a execução do tratamento do solo e apoio para a colocação de telas de aço ao redor do túnel. A cambota só começa a atuar quando encosta totalmente no maciço, por isso é importante o preenchimento por completo do espaço entre a cambota e o maciço com concreto projetado, (ZANELATO, 2003).

- **Enfilagem tubular injetada**- Neste tipo de enfilagem primeiramente são executados os furos na abóboda do túnel através de uma perfuratriz, logo em seguida é introduzido no furo um tubo de aço. Estes tubos possuem furos onde são instaladas válvulas manchete, esta válvula é composta por borrachas que vedam os furos. Junto ao tubo são amarradas mangueiras por onde será injetada a calda de cimento até que a pressão seja suficiente para que as válvulas manchetes se rompam.

- **Telas Metálicas**- segundo (GERALDI, 2011), as telas metálicas soldadas são elementos de suporte utilizados após a aplicação de uma pequena camada de concreto projetado com aproximadamente três centímetros de espessura, as telas são fixadas com o auxílio de pequenos chumbadores, em seguida é projetada uma nova camada de concreto, incorporando a tela ao maciço. São aplicadas no revestimento secundário de concreto.

- **Tirantes**- Os Tirantes são elementos lineares capazes de transmitir esforços de tração entre suas extremidades. Nas aplicações geotécnicas os tirantes possuem uma extremidade que fica fora do terreno (cabeça de ancoragem), e um trecho enterrado que pode ser classificado como livre ou ancorado. Além disso, os tirantes podem ser classificados como tensionados ou não tensionados. Sua aplicação em obras de túneis tem por objetivo aplicar esforços de compressão no maciço, reduzindo assim os processos de movimentação, deformação e ruptura. A aplicação é feita ao longo do túnel de forma radial, a malha de tirantes terá espaçamentos definidos em projeto em função das características geológicas do maciço. Segundo (GERALDI, 2011) a utilização dos tirantes produz um arco de maciço sob forte compressão, conferindo maior estabilidade à seção escavada. Recomenda-se antes de iniciar a perfuração para instalação dos tirantes a aplicação de uma camada de concreto projetado de 2 a 5 cm de espessura logo após a escavação e remoção dos choccos. Os furos para a instalação dos tirantes são executados pelo jumbo, ou martelos pneumáticos. Para que a carga de trabalho dos tirantes seja atingida, são utilizadas junto a eles resinas químicas.

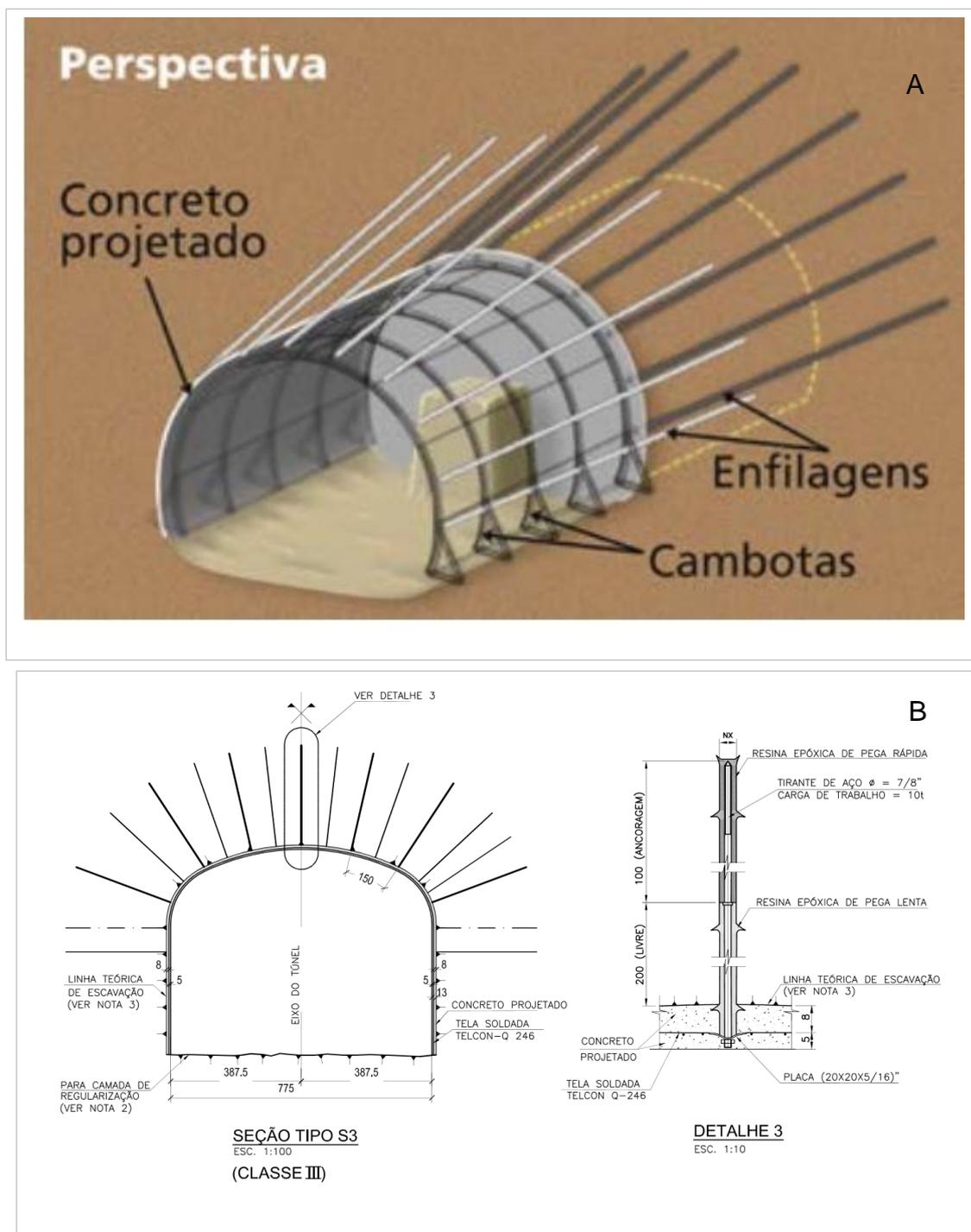


Figura 3.2.1- Desenhos esquemáticos com os principais tipos de tratamento utilizado no Túnel Cacimba cercada, onde a Figura (A) representa as cambotas e enfilagens em conjunto com o concreto projetado e a Figura (B) o detalhe da localização dos tirantes em relação ao tratamento para seção tipo

A seguir resumo fotográfico com os principais tipos de tratamento aplicado ao longo da escavação do túnel Cacimba Cercada:

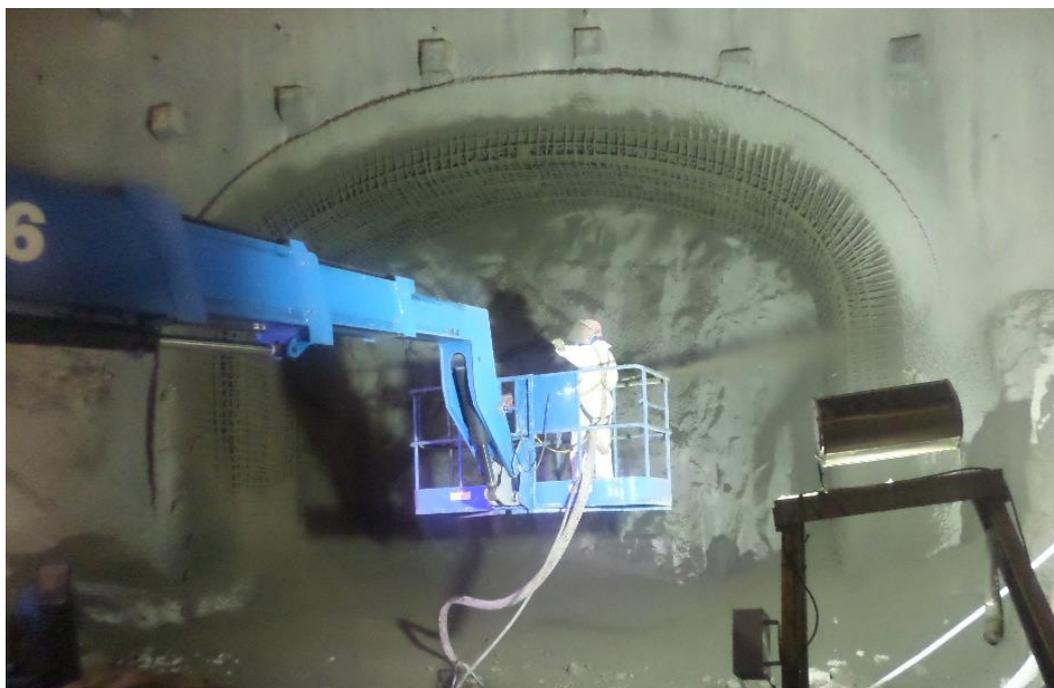


Figura 3.2.2- Região do Emboque- durante aplicação de concreto projetado na viga portal, tirada em 19/04/2018.



Figura 3.2.3- Região do Desemboque- Classe V, durante execução da campanha de enfilagem, perfuração com o jumbo, tirada em 22/05/2018.



Figura 3.2.4- Região do Desemboque- Classe V, durante instalação das cambotas, tirada em 16/05/2018.



Figura 3.2.5- Região do Desemboque- classe V, durante aplicação de concreto projetado no trecho camboteado, tirada em 26/04/2018.



Figura 3.2.6- Região do Emboque- classe IV, durante instalação dos tirantes, tirada em 01/08/2018.



Figura 3.2.7- Durante aplicação de concreto projetado secundário, após aplicação de tela metálica, tirada em 14/06/2018.

3.3 Monitoramento da Obra

A instrumentação geotécnica é um elemento de suma importância nas obras de engenharia de túneis, pois permite, entre outras coisas, avaliar a estabilidade, a segurança e a qualidade da escavação. Durante a fase de construção do túnel, a análise dos dados de instrumentação associada a observações de campo são procedimentos que permitem avaliar a estabilidade e segurança da escavação, refinar premissas de projeto sobre o maciço escavado cujas características geológico-geotécnicas não são totalmente conhecidas a priori, e auxiliar nas medidas de reforço do sistema de suporte nas regiões do túnel que apresentam comportamento tenso- deformacional anômalo. Existem diversos tipos de instrumentos de monitoramento geotécnico de túneis divididos em dois grandes grupos: instrumentação externa e instrumentação interna do maciço.

Usualmente, os dados de instrumentação (interna e externa) são apresentados na forma de gráficos de deslocamento versus tempo, e deslocamento versus o avanço da escavação para cada etapa construtiva. Estes dados são então analisados basicamente sob dois aspectos: comparando-os a limites de referência pré-estabelecidos (projeto executivo); e analisando-os conjuntamente e individualmente quanto ao seu comportamento no tempo e no espaço (PECK, 1969; KOCHEN ET AL. 1992).

Instrumentação Externa:

Tassômetro: possibilita a medição de deslocamentos verticais (recalques profundos) do maciço atravessado, em pontos localizados abaixo da superfície do terreno, em que o recalque é transmitido à superfície. São constituídos por haste galvanizada ancorada em furo de sondagem pré-existente, na parte superior da haste acontece um acabamento em calota esférica de latão, por exemplo, para apoio da mira. As leituras de nivelamento e contranivelamento são apoiadas por meio de referencial instalado (*benchmark*).

Marcos Superficiais: permitem a medição de deslocamentos verticais que ocorrem em determinado ponto da superfície do terreno. São caracterizados por uma haste de diâmetro de 1 ½” e comprimento em torno de 1,1 m, chumbados com um bloco de concreto, em que na extremidade superior é instalada uma semiesfera de 15 mm. A leitura do instrumento é sempre a partir de um ponto referencial conhecido.

Medidor de Nível d'água: permitem o registro da variação do nível d'água existente no maciço.

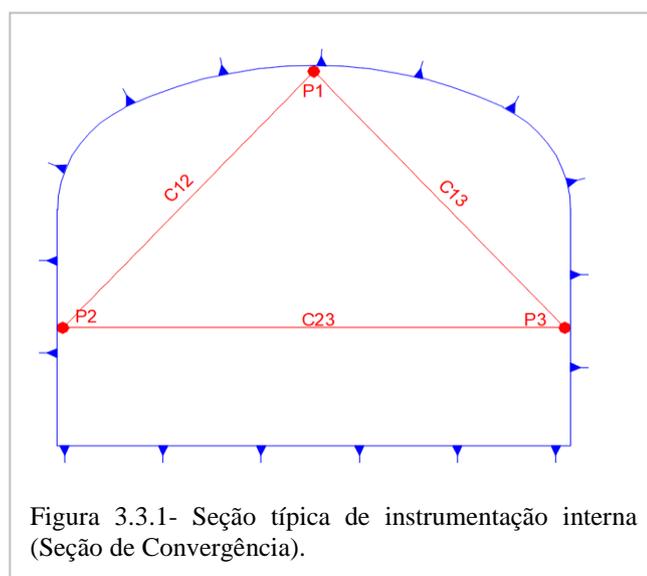
Instrumentação Interna:

Seção de Convergência: registram a variação da distância entre dois pontos no caso, pinos previamente instalados internamente ao túnel, consistindo basicamente de um sistema tensionador, dinamômetro, deflectômetro, com o uso de trena de aço ou fio.

3.3.1 Dados de Instrumentação Túnel Cacimba Cercada

No local da construção do túnel predominam, materiais estruturados que em função do grau de alteração podem se comportar como solos típicos (meio contínuo) ou como meio descontínuo, tendo planos preferenciais condicionando a queda e isolamento de blocos na superfície das escavações. A heterogeneidade da resistência da rocha é sobreposta pela presença praticamente contínua de fraturamento elevado, confirmando a estimativa inicial de baixo RQD a partir das investigações de sondagens. Este elevado grau de fraturamento está condicionado ao intenso cisalhamento da região e se manifesta localmente com maior intensidade, inclusive com evidências de planos estriados.

A instrumentação relacionada à escavação do túnel, segundo projeto é composto por 3 pinos de recalque e convergência (P1, P2 e P3), no interior da seção, 1 tassômetro (TS-01) posicionado no eixo do túnel e 2 metros acima da calota, 5 marcos superficiais simétricos em relação ao eixo nas distâncias de -8.9 (MST-04), -3.9 (MST-02), 0 (MST-01), 3.9 (MST-03) e 8.9 (MST-05).



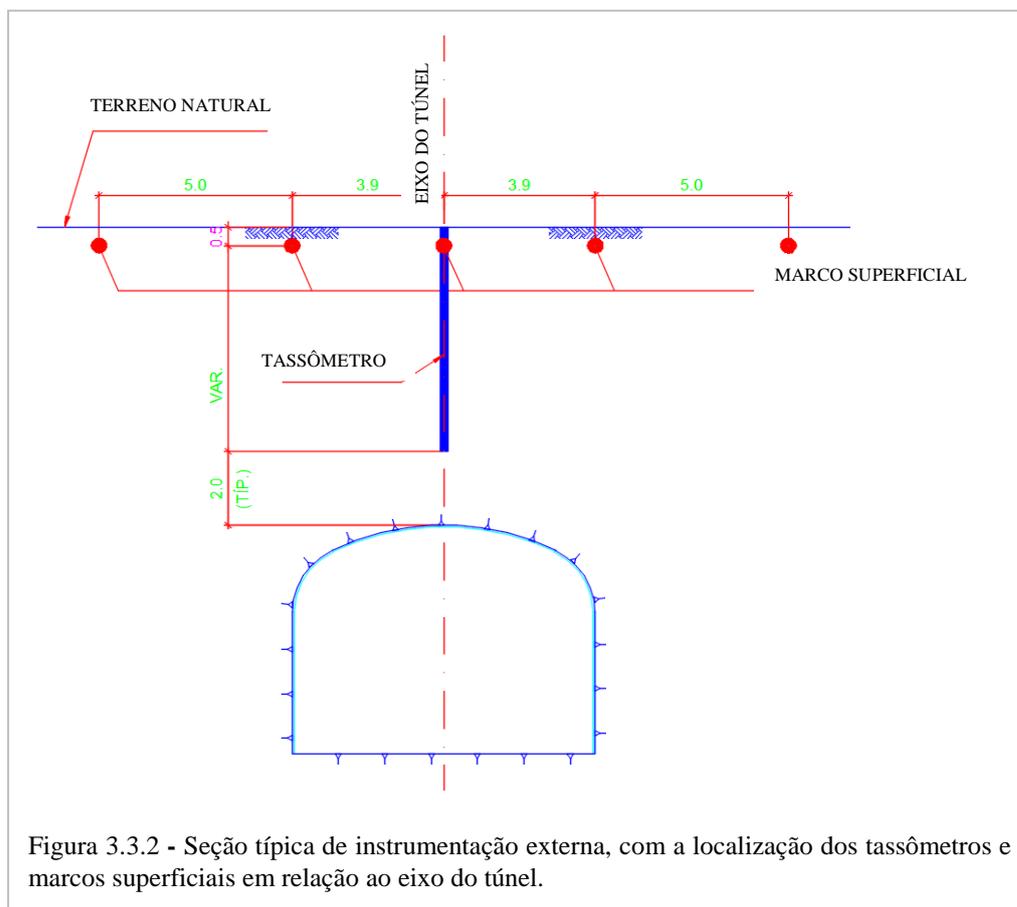


Figura 3.3.2 - Seção típica de instrumentação externa, com a localização dos tassômetros e marcos superficiais em relação ao eixo do túnel.



Figura 3.3.3- Durante leitura da seção de convergência, na região do Desemboque, tirada em 05/07/2018.

A quantidade de seções externas de monitoramento prevista no projeto era de 49 no total, sendo que, cada seção externa completa apresenta um tassômetro no eixo do túnel e cinco marcos superficiais, sendo um sobre o eixo e dois simétricos em relação a eles para cada um dos lados do túnel. A instalação dos tassômetros é realizada em solos ou rochas muito alteradas na região da calota, ou seja, dois metros acima do teto do túnel. A locação dos tassômetros nos prováveis pontos críticos foi realizada com o auxílio do perfil longitudinal (Figura 4.1.2), gerado a partir da interpretação da campanha de sondagem e da análise da geofísica na área do túnel, permitindo com isso a investigação dos 18 tassômetros perfurados. A análise dos 18 tassômetros, indicou a necessidade de instalação dos mesmos em apenas oito das perfurações. A informação advinda das perfurações permitiu a vinculação da informação geofísica e geológica dos dados contribuindo diretamente para a execução da obra do túnel na sua Fase II. Nas seções que não demandaram a instalação de tassômetros, foram instalados três marcos superficiais em relação ao eixo do túnel ao que se denomina seção simples. Pelo lado do emboque foram instaladas 14 seções externas simples, sendo que somente uma seção é completa, constituída por um tassômetro. Pelo lado desemboque foram instaladas quatro seções completas com tassômetro, como indicado nas (Figuras 3.3.4 e 3.3.5).

Instrumentação na Região do Desemboque

A presença de material alterado com comportamento de solo (classe V), presente na calota do túnel na região do desemboque, como registrado na Figura 4.1.3, exigiu a instalação quatro seções externas completas (S-46; S-47; S-48 e S-49), compostas por um tassômetro (TS-01) posicionado no eixo do túnel e dois metros acima da calota e cinco marcos superficiais simétricos em relação ao eixo do túnel. Na área de desemboque foram instalados quatro medidores de nível d'água no talude de corte frontal. Foram ainda, instaladas três seções de convergência (S-D; S-C; S-49) nos 18,70m de túnel escavado (Figura 3.3.5).

Através do monitoramento diário realizado pela empresa LcLacrose, foi possível destacar que as leituras dos instrumentos não apresentaram mudanças significativas, ou seja, apresentaram estabilidade, desde a última detonação, realizada em maio de 2018 até a paralisação da obra em agosto de 2018 (Figuras 3.3.6, 3.3.7 e 3.3.8).

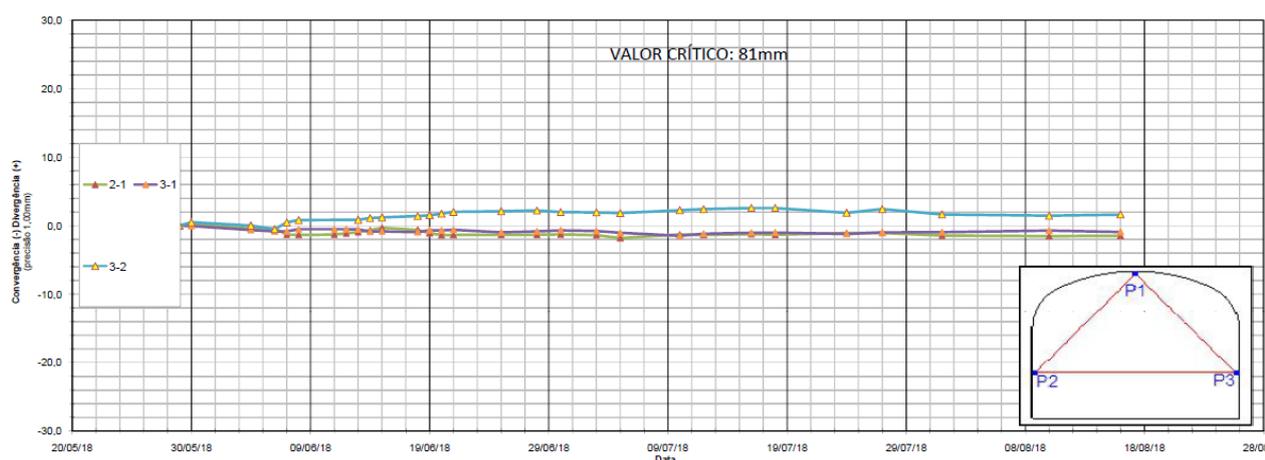


Figura 3.3.6 - Seção de convergência S-49- apresenta estabilidade, região de influência da frente paralisada. Leitura realizada em 16/08/2018.

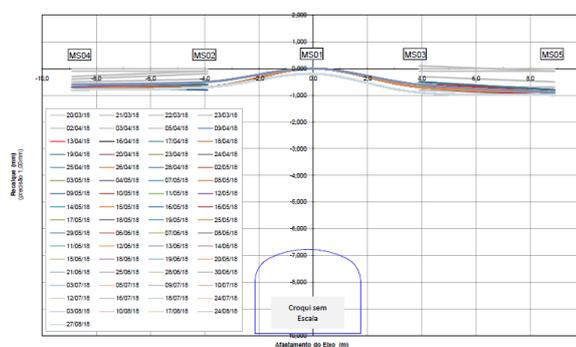


Figura 3.3.7- Seção externa S-49- apresenta estabilidade. Leitura realizada em 28/08/2018.

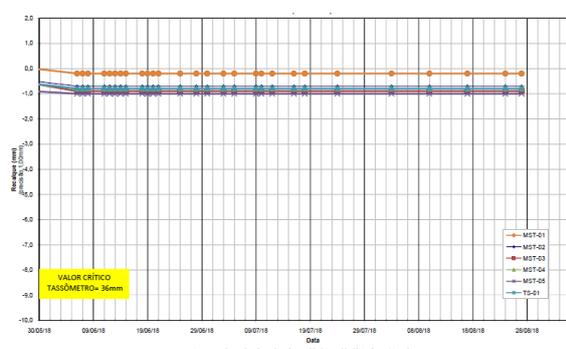


Figura 3.3.8- Seção externa S-49- apresenta estabilidade. Leitura realizada em 28/08/2018.

Instrumentação na Região do Emboque

Nos 213 metros de túnel escavado pelo lado emboque, foram instalados 14 seções externas simples, compostas por três marcos superficiais cada e instalados quatro medidores de nível d'água no talude de corte frontal, sendo que somente na seção S-01 foi instalado um tassômetro e cinco marcos superficiais.

Através do monitoramento diário realizado pela empresa LcLacrose, é possível destacar que as leituras dos instrumentos não apresentam mudanças significativas, ou seja, apresentam estabilidade (Figuras 3.3.9, 3.3.10 e 3.3.11).

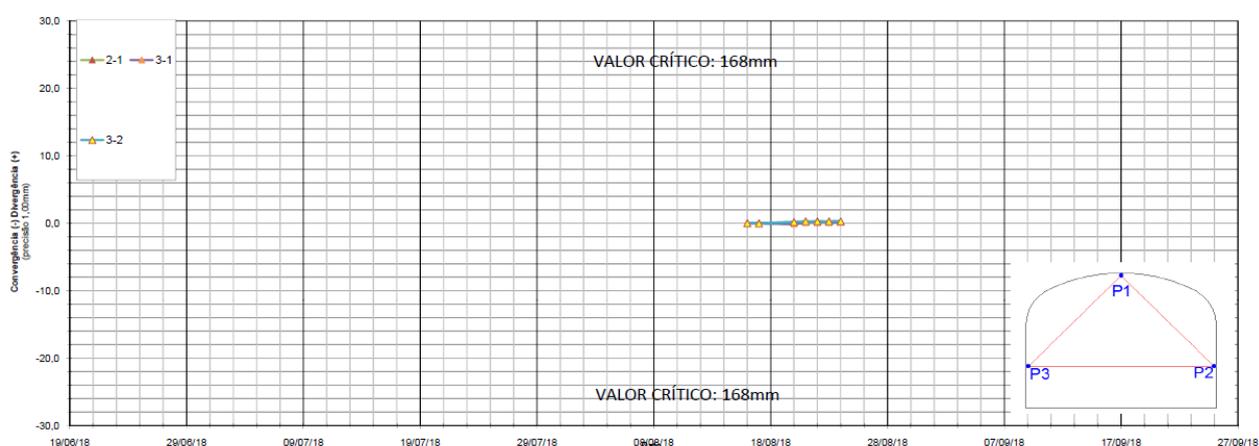


Figura 3.3.9- Seção de convergência S-14- apresenta estabilidade. Região de influência da frente paralisada. Leitura realizada em 24/08/2018.

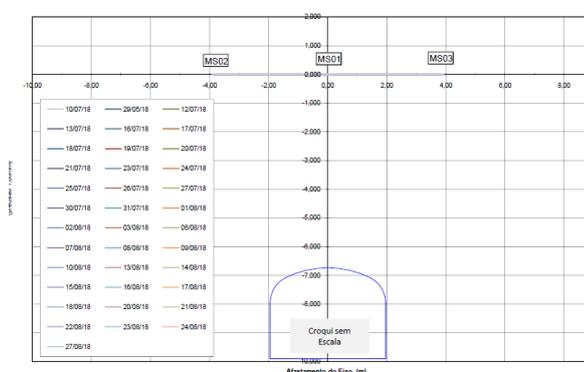


Figura 3.3.10- Seção externa S-14- apresenta estabilidade. Leitura realizada em 28/08/2018.

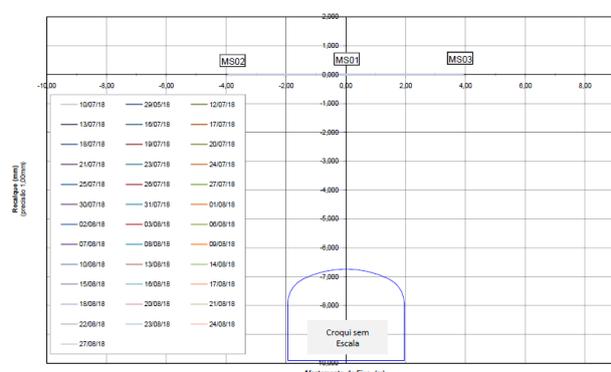
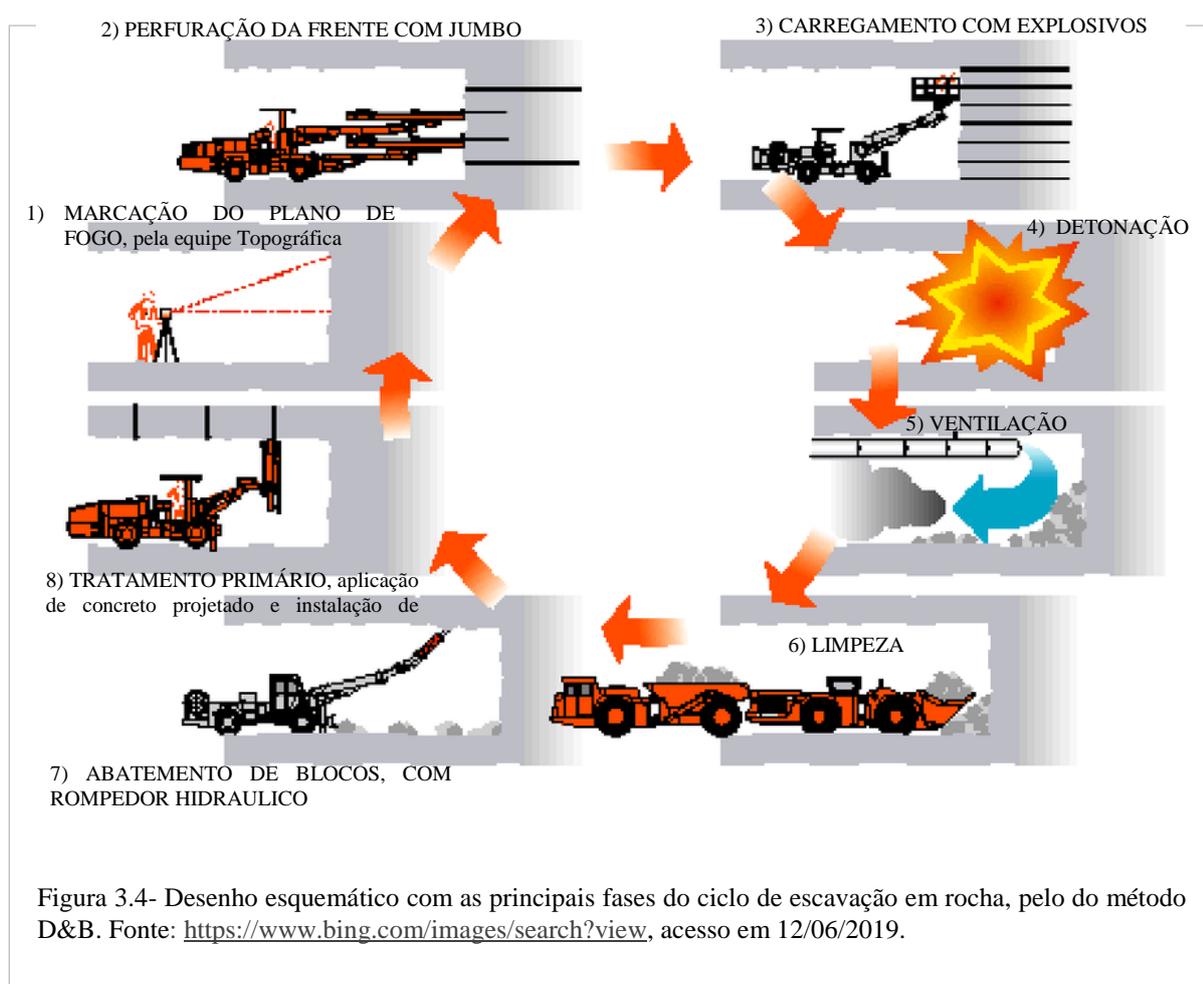


Figura 3.3.11- Seção externa S-13- apresenta estabilidade. Leitura realizada em 28/08/2018.

3.4 Ciclo de Escavação em Rocha

As etapas de escavação e tratamento diário do túnel, conforme orientações do método NATM, pode ser aplicado na escavação de túnel em solo ou em rocha. De acordo com GERALDI, (2011), nas escavações dos túneis em rocha, ainda predominam as técnicas da metodologia tradicional, denominada mundialmente como metodologia D&B - Drill and Blast- (perfuração e detonação). Esta metodologia é composta por várias etapas que precisam ser executadas ordenadamente, formando um ciclo de escavação bem definido que engloba: 1) A marcação topográfica do plano de fogo, 2) A perfuração da frente com jumbo, 3) O carregamento da frente em questão, 4) A detonação, 5) A ventilação, 6) A limpeza, 7) O bate choco mecanizado e manual, 8) O mapeamento geológico- geotécnico pela equipe ATO e 9) A aplicação do tratamento de acordo com a classe mapeada (Figura 3.4).

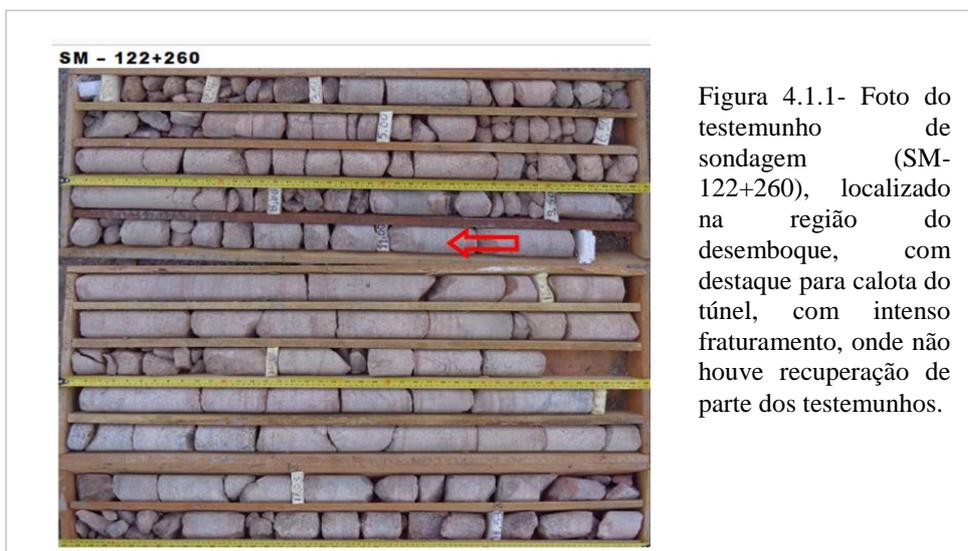


4. RESULTADOS

4.1 Aspectos Geológicos da Região Escavada

Em 2014 na Fase I da escavação do túnel foram realizadas a análise dos testemunhos de sondagens, do resultado da sísmica de refração, do imageamento geoeletrico, bem como de toda documentação de investigações geológicas disponíveis. A partir desta primeira fase de análise dos dados identificou-se a presença de um intenso fraturamento das rochas como uma característica geral na área, resultando em valores de recuperação e RQD bastante variáveis e predominantemente baixos, em geral inferiores a 50%. Apenas localmente esses índices atingiram 90%. Importante destacar a ocorrência de determinadas zonas com intensificação da frequência das discontinuidades, as quais estavam associadas a zonas de fraturamento de caráter local e por vezes com representação regional, cujo o RQD era da ordem de 15%, ou mesmo com setores de menor recobrimento do topo rochoso onde os valores encontrados eram inferiores a 10%.

A partir da análise dos testemunhos de sondagens, e com base nos índices previamente inferidos, foi possível definir que o perfil geológico da região está dividido em quatro camadas distintas, cujas profundidades variam de 10 a 20m. A camada superficial é um solo coluvionar/residual (CO/SR) cuja variação de espessura foi estimada entre um e oito metros. A segunda camada foi caracterizada como uma rocha granítica alterada muito fraturada (RAMF). Essa camada está sobreposta a uma camada de rocha granítica alterada fraturada (RAF) que em maior profundidade se apresentam como uma rocha sã fraturada (RSF) (Figura 4.1.1). Não se identificou o lençol freático nas sondagens realizadas.



De modo geral, o maciço rochoso apresenta zonas de fraturamento variando entre F3 e F2 e em casos localizados é possível identificar zonas do maciço com fraturamento variando entre F5 e F4 mostrando que nestes casos um alto grau de fraturamento. A heterogeneidade da resistência da rocha é consequência da presença predominante de fraturamento elevado, confirmando a estimativa inicial de baixo RQD obtida a partir das investigações de sondagens. Este elevado grau de fraturamento se manifesta localmente com maior intensidade, inclusive com evidências com ocorrência de planos com estrias verticais correspondentes a falhas de carácter normal. No local de construção do túnel predominam, portanto, materiais intensamente fraturados e que em função do grau de alteração podem se comportar como solos, tendo planos preferenciais condicionando a queda e isolamento de blocos na superfície das escavações.

Apesar de inicialmente ter se previsto que o túnel teria 1500m de comprimento, os dados geofísicos da sísmica de refração assim como o imageamento geolétrico, associados aos dados de sondagem, indicaram que as zonas com maior condutividade, cores frias na Figura (4.1.2), relacionadas as áreas mais fraturadas e regiões críticas com baixa cobertura de rocha sã, são condicionantes geológico-geotécnicos desfavoráveis, que prejudicariam diretamente o custo tornando-o muito elevado, assim como contribuiria para o alto índice de acidentes na obra. A partir desses dados concluiu-se que a extensão ideal, considerando os diversos aspectos técnicos, ser o trecho de 750m entre as estacas (121+550 a 122+300) o mais adequado para abertura do túnel, como detalhado na Figura (4.1.3).

Em 2018 durante acompanhamento da perfuração dos tassômetros ao longo do eixo do túnel, em conjunto com a interpretação do perfil longitudinal associado ao resultado dos ensaios geofísicos de eletrorresistividade e de sísmica de refração e da campanha de sondagens da área de estudo, indicando a necessidade de instalar oito tassômetros, conforme relatado no capítulo Monitoramento desta dissertação.

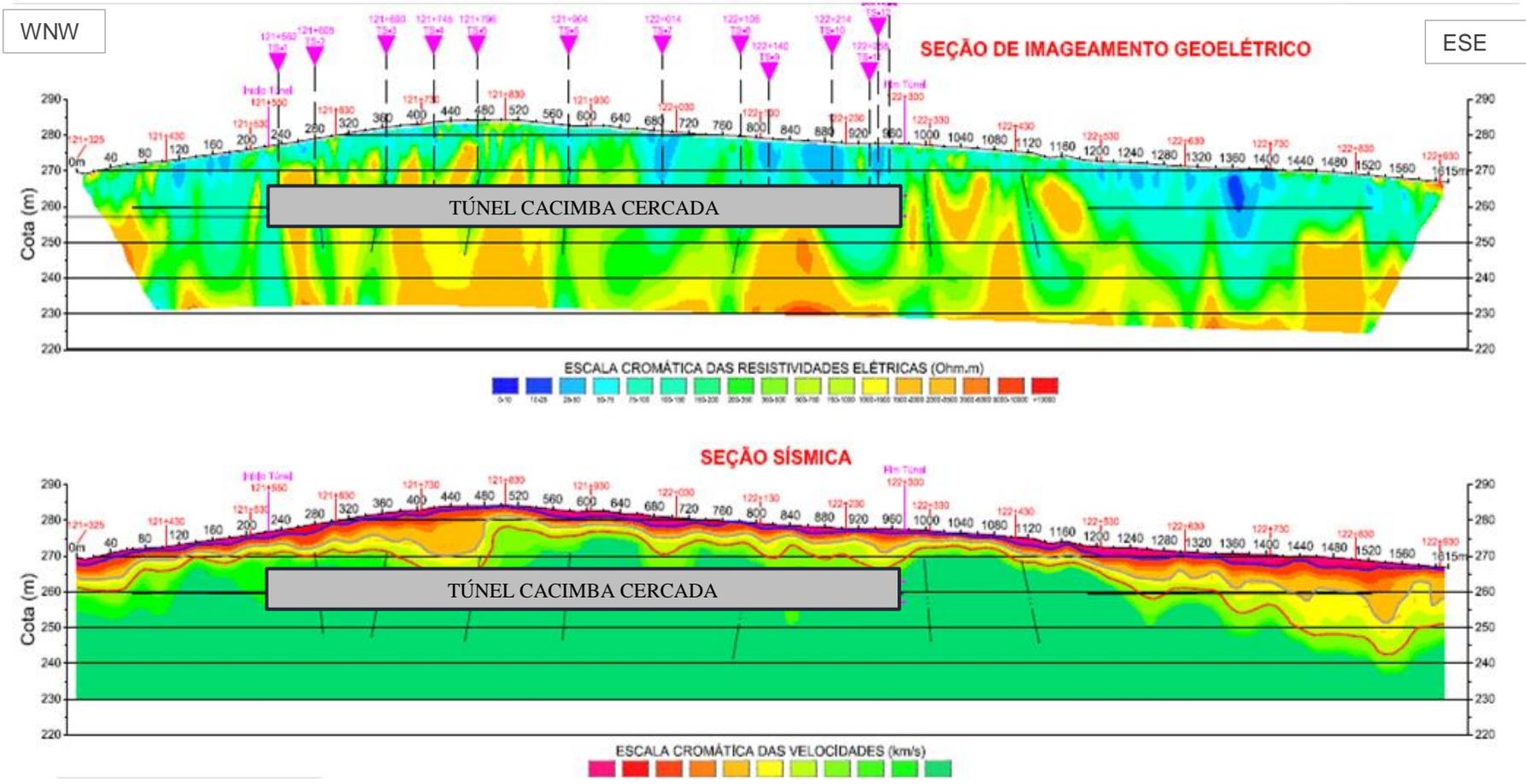
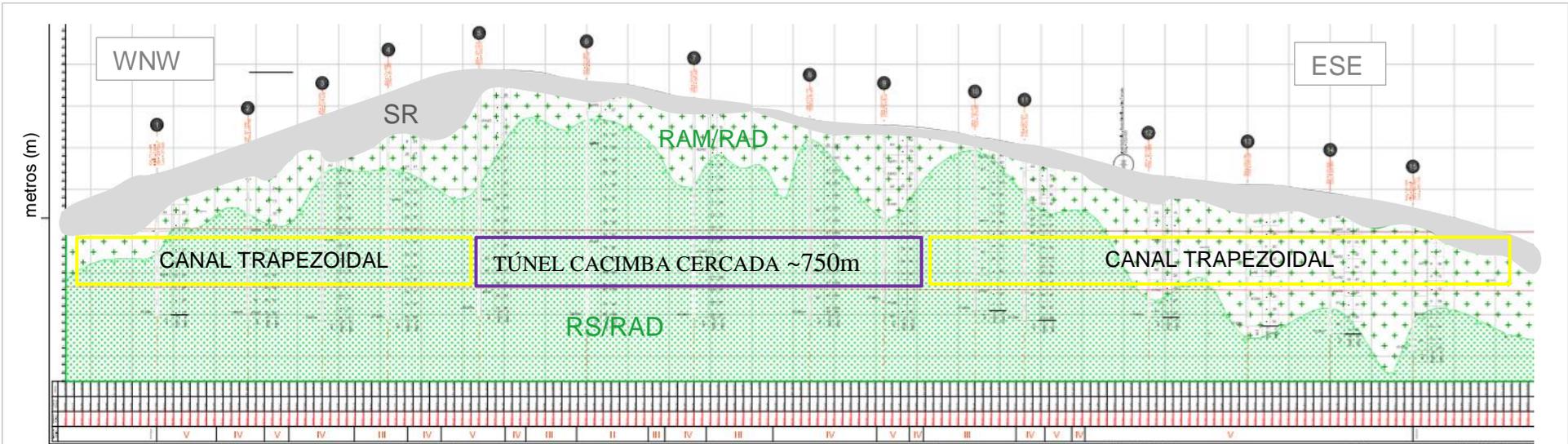


Figura 4.1.2- Seção longitudinal com o Imageamento Geolétrico e a Sísmica de Refração- onde apresentam os valores de resistividade elétrica associado à escala cromática, na região do Túnel Cacimba Cercada. Elaborado pela empresa Alta Resolução, 2013.



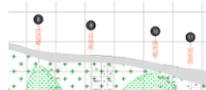


LEGENDA

SR - Solo Residual (SR);

RAM/RAD - Trecho de rocha alterada mole a dura com intenso fraturamento (RAM/RAD);

RS/RAD - Trecho de rocha sã a alterada dura fraturada (RS/RAD);

 - Campanha de Sondagem realizada em 2014, ao longo dos 1500 metros, onde estava previsto a execução total do túnel.

ESCALA 1/1500

Figura 4.1.3- Seção Geológica/ Geotécnica com a compartimentação das classes previstas. Perfil longitudinal da região do túnel Cacimba Cercada da obra do Canal Adutor do Sertão alagoano, onde considera os dados disponíveis de projeto, levantamento topográfico, mapas geológicos existentes, levantamentos geofísicos e resultados de sondagens rotativa e mista da área de estudo. Elaborado em 2014 pela empresa Núcleo projetos e Engenharia.

Foi possível verificar que há predomínio absoluto de rocha de composição granítica, associada a Suíte Intrusiva Itaporanga (Plúton Carneiros- NP3γ2it48) (Figura 2.1.1). O granito apresenta textura equigranular média a grossa a inequigranular porfírica, com fenocristais esparsos de álcali- feldspato (variando de 1cm a 3cm, ocasionalmente com 5cm a 7cm) e raramente de plagioclásio (0,5cm a 1cm), distribuídos esparsamente numa matriz equigranular média a grossa, de cor cinza clara a rosa esbranquiçada, compostos essencialmente por quartzo, plagioclásio, microclina, biotita e anfibólio. O referido granito apresenta-se predominantemente isotrópico, mas pode mostrar orientação dos fenocristais euédricos de álcali- feldspato, dos minerais máficos e de enclaves microgranulares máficos com estruturas de fluxo e/ou foliação metamórfica.



Figura 4.1.4- Região do emboque- classe II, no Km 121,600, tirada em 26/05/2018.



Figura 4.1.5- Detalhe rocha sã, granito rosado de textura equigranular média a grossa, constituído por quartzo, feldspato K, e biotita predominantemente, tirada em 26/05/2018.



Figura 4.1.6- Região do emboque- classe II, no Km 121,660. Detalhe estrutura de fluxo de enclaves com minerais máficos, de mergulhando para NE, tirada em 25/06/2018.



Figura 4.1.7- Região do emboque- classe II, no Km 121,660, tirada em 25/06/2018.

Importante destacar a ocorrência de determinadas faixas com intensificação de frequência das discontinuidades, associadas a zonas de fraturamento, com RQD da ordem de 15%, ou mesmo com setores de menor recobrimento do topo rochoso onde os valores encontrados são inferiores a 10%. Como por exemplo, no trecho em classe IV, do Km121,740 ao Km121,760 escavado pelo lado Emboque, com intenso fraturamento e alteração da rocha no teto e lado direito da seção (Figuras 4.1.7 e 4.1.8).



Figura 4.1.8- Região do emboque- classe IV, no Km 121,749. Contato geotécnico, classe III lado esquerdo e classe IV no lado direito da seção, tirada em 01/08/2018.



Figura 4.1.9- Lado direito com intenso fraturamento e alteração, classe IV- A3C3F4, tirada em 01/08/2018.

As evidências de deformação rúptil, também estão presentes, como fraturas, algumas vezes preenchidas por leucogranitos rosas equigranulares, de granulometria fina (Figuras 4.1.9 e 4.1.10), pegmatitos ou por monzograbos.



Figura 4.1.10- Região do emboque- classe II, no Km 121,672. Fraturas preenchidas por leucogranitoides róseos equigranulares, com granulometria fina e borda pegmatóide, tirada em 25/06/2018.



Figura 4.1.11- Região do emboque- classe II, no Km 121,672. Fraturas preenchidas por leucogranitoides róseos equigranulares, finos pegmatitos, tirada em 25/06/2018.

A heterogeneidade da resistência da rocha é sobreposta pela presença praticamente contínua de fraturamento elevado, confirmando a estimativa inicial de baixo RQD a partir das investigações de sondagens. Este elevado grau de fraturamento está condicionado ao intenso cisalhamento e que se manifesta localmente com maior intensidade.



Figura 4.1.12- Região do emboque- Classe III, no Km 121,694, tirada em 04/07/2018.



Figura 4.1.13- Região do emboque- Classe III, no Km 121,694. Plano de fratura alterado (esverdeado), orientação do mergulho (190/55°). Rocha são granito rosado, tirada em 04/07/2018.

Do ponto de vista hidrogeológico o local da obra está situado no Domínio Fissural, em que a percolação da água subterrânea ocorre de forma livre nos solos superficiais (meio contínuo) e através das fissuras e fraturas nas rochas (meio descontínuo). Destaca-se que devido ao intenso fraturamento e material de granulometria arenosa no trecho em solo, a permeabilidade do maciço deve ser elevada nos períodos de precipitação, resultando em variações rápidas do nível d'água.



Figura 4.1.15- Região do emboque- classe II, no Km 121,620. Pontos de água umidade/gotejamento leve na parede direita, tirada em 13/06/2018.



Figura 4.1.16- Trecho em classe IV, no Km 121,750. Apresenta pontos de água umidade/gotejamento leve associado ao intenso fraturamento da região, tirada em 30/07/2018.



Figura 4.1.17- lado Emboque- de todos os drenos instalados ao longo do túnel, somente o dreno localizado no Km 121,623, na PD (parede direita), apresenta fluxo leve e constante.

Durante o mapeamento foi observada ocasionalmente pontos de água com fluxo leve/ gotejamento associados ao intenso fraturamento. Nestes pontos foram instalados drenos curtos de 3,0m de comprimento cada, conforme orientações em projeto.

DRENO	PROF. (m)	ESTACA	LOCAL
1	3,0m	6081+3	PD
2		6080+8,0	TETO
3		6080+8,0	PE
4		6080+8,0	EIXO
5		6084+13,70	EIXO
6		6084+18	PD
7		6085+6,26	PD
8		6085+12,5	PD
9		6085+13,2	PD
10		6085+15,90	PE
11		6085+16,98	PE
12		6087+11,17	PD
13		6086+13,10	PD
14		6087+8,75	PD
15		6087+9,42	PD
16		6086+16,11	PE
17		6087+1,86	PE
18		6087+6,71	PE

Tabela 4.1.1- com 18 drenos foram instalados ao longo do túnel, no lado emboque, onde PD (parede direita) e PE (parede esquerda).

Segue relato do acompanhamento técnico da obra de escavação do túnel realizado de fevereiro de 2018 até a paralisação da obra em agosto de 2018.

4.1.1 Desemboque (lado Leste)

Fevereiro/2018

No mês de fevereiro o tratamento de estabilidade dos taludes laterais e frontal na região do Desemboque, conforme especificações do projeto, estavam em fase de conclusão. Os taludes laterais são taludes de 6m a 20m de altura de 1V:1H com bermas a cada 6m. Estes foram tratados com chumbadores de 3,0m com malha de 2,0x2,0m, associados a drenos curtos de 2,0metros, tela Q138 e aplicação de concreto projetado. A contenção frontal se divide em duas partes distintas: uma cortina atirantada localizada acima da viga portal, com tirantes de 6,0m com malha de 2,0x2,0m, além da instalação de drenos horizontais profundos (DHP) de 10,0m cada, tela Q138 e aplicação de concreto projetado. Acima deste uma cortina pregada com chumbadores para o resto da contenção frontal, associados a drenos curtos.



Figura 4.1.18- Região do Desemboque- tratamento dos taludes frontal e lateral em fase de conclusão, tirada em 22/02/2018.

No dia 23 de fevereiro foi iniciada a execução da primeira campanha de enfilagem, conforme definições em projeto, que consiste na perfuração de 49 enfilagens injetadas de Tubo SCH-40, com #2,5mm de diâmetro e 9,0m de comprimento.

Março/2018

Em função da baixa qualidade do maciço para perfurações não revestidas, ou aumento do diâmetro dos furos para possibilitar a inserção da composição sem danificar as manchetes, foi recomendado o uso de enfilagens Auto Perfurantes para o tratamento de calota para os próximos avanços previstos em classe V.



Figura 4.1.19- Região do Desemboque, em função da dificuldade para inserir os tubos, foi necessário alargar os furos com a perfuratriz PW, para instalação do tubo TCH-40, tirada em 05/03/2018.



Figura 4.1.20- Após execução das enfilagens, foi realizada a detonação na região do desemboque, a fim de alcançar a cota do piso para prosseguir com a escavação do túnel, tirada em 21/03/2018.



Figura 4.1.21- Região do Desemboque, primeiro fogo restrito na região do pilão, tirada em 21/03/2018.



Figura 4.1.22- Região do Desemboque, aplicação de concreto projetado na viga portal, tirada em 29/03/2018.

Abril/2018 - Após execução da viga portal, foi dada continuidade na escavação e tratamento do túnel. Avanço restrito para instalação das cambotas, conforme tratamento S5, previsto em projeto.



Figura 4.1.23- Região do Desemboque, Perfuração com jumbo para fogo de regularização da frente, tirada em 04/04/2018.



Figura 4.1.24- Região do Desemboque, durante execução da segunda campanha de enfilagem Auto Perfurante, perfuração com jumbo- 25 furos de 12,0m cada, tirada em 09/04/2018.



Figura 4.1.25- Região do Desemboque- durante aplicação do concreto projetado no trecho camboteado, tirada em 26/04/2018.



Figura 4.1.26- Região do Desemboque- durante bate choco mecanizado. Em abril foram escavados 9,37 metros e instaladas 10 cambotas no total, tirada em 28/04/2018.

Maio/2018

A última detonação pelo lado do Desemboque ocorreu no dia 18/05/2018. Em março foram executas mais duas campanhas de enfilagem Auto Perfurante, com 25 furos de 12,0 metros cada, e

instaladas 22 cambotas até a frente paralisada, estaca 6114+1,4, totalizando 18,70 metros de túnel escavado, com aplicação do tratamento S5, conforme definido em projeto.



Figura 4.1.27- Região do Desemboque, execução da terceira campanha de enfilagem auto-perfurante, 25 furos com 12,0m cada, tirada em 04/05/2018.



Figura 4.1.28- Região do Desemboque, durante instalação das cambotas 17° e 18°, tirada em 15/05/2018.



Figura 4.1.29- Região do Desemboque, última detonação no lado do desemboque, tirada em 18/05/2018.



Figura 4.1.30- Região do Desemboque, tirada em 21/05/2018.

Junho/ Julho/ Agosto/ 2018

Nos meses de junho a agosto, após a paralisação da escavação do túnel pelo lado Desemboque a partir do dia 18 de março de 2018, foi dada continuidade nas leituras semanais e diárias dos instrumentos de monitoramento de níveis de recalque e convergência do túnel. Foi

identificada estabilidade nas leituras dos instrumentos após a paralisação do túnel durante os três meses de monitoramento. Em 17 de agosto foi concluído o tratamento, na região de influência da frente paralisada, conforme recomendações técnicas para paralisação do desemboque. A Figura 4.1.33 apresenta o perfil do Desemboque com o registro do tratamento (enfilagem e cambota) durante a escavação do túnel.



Figura 4.1.31- Região do Desemboque-aplicação de tela Q138, e projeção de 10cm de concreto projetado, na região frontal, conforme recomendações técnicas para paralisação do túnel, tirada em 10/08/2018.



Figura 4.1.32- Região do Desemboque- conclusão do tratamento conforme recomendações técnicas para paralisação do túnel, tirada em 16/08/2018.



Figura 4.1.33- Barreira física para impedir acesso a Região do Desemboque, tirada em 17/08/2018.

	CONTROLE AVANÇO DESEMBOLQUE (MARÇO/ABRIL)					
	CLASSE	CAMBOTA	DATA	ESTACA	AVANÇO (m)	TOTAL
ENFILAGEM- 49 furos de 9,0m cada, Tubo TCh40'	IV	1	28/03/2018	6015+0,10		
	IV	2	28/03/2018	6014+19,30	1,43	0,15
	IV	3	05/04/2018	6014+18,50	1,43	1,58
	IV	4	07/04/2018	6014+17,70	1,98	3,56
	IV	5	07/04/2018	6014+16,90	1,70	5,26
	IV	6	24/04/2018	6014+16,17	2,15	7,41
	IV	7	24/04/2018	6014+15,30		7,41
ENFILAGEM- Auto Perfurante- 25 furos de 12,0m cada,	V	8	24/04/2018	6014+14,50	1,10	8,51
	V	9	25/04/2018	6014+13,70	0,86	9,37
	V	10	28/04/2018	6014+12,90		9,37
	CONTROLE AVANÇO DESEMBOLQUE (MAIO)					
	CLASSE	CAMBOTA	DATA	ESTACA	AVANÇO (m)	TOTAL
	V	11	02/05/2018	6014+12,10	1,36	10,73
	V	12	02/05/2018	6014+11,30	1,13	11,86
	V	13	03/05/2018	6014+10,50	1,45	13,31
	V	14	10/05/2018	6014+9,80		13,31
	V	15	11/05/2018	6014+8,90	1,20	14,51
ENFILAGEM- Auto Perfurante- 25 furos de 12,0m cada,	V	16	11/05/2018	6014+8,10	1,45	15,96
	V	17	15/05/2018	6014+7,30		15,96
	V	18	15/05/2018	6014+6,50		15,96
	V	19	16/05/2018	6014+5,70	1,55	17,51
	V	20	17/05/2018	6014+4,90	1,20	18,71
	V	21	18/05/2018	6014+4,10		18,71
ENFILAGEM- Auto Perfurante- 25 furos de 12,0m cada,	V	22	18/05/2018	6014+3,30		18,71
	V		19/05/2018	6014+1,4	1,80	

Tabela 4.1.2- Resumo do acompanhamento da escavação realizada na região do desemboque.

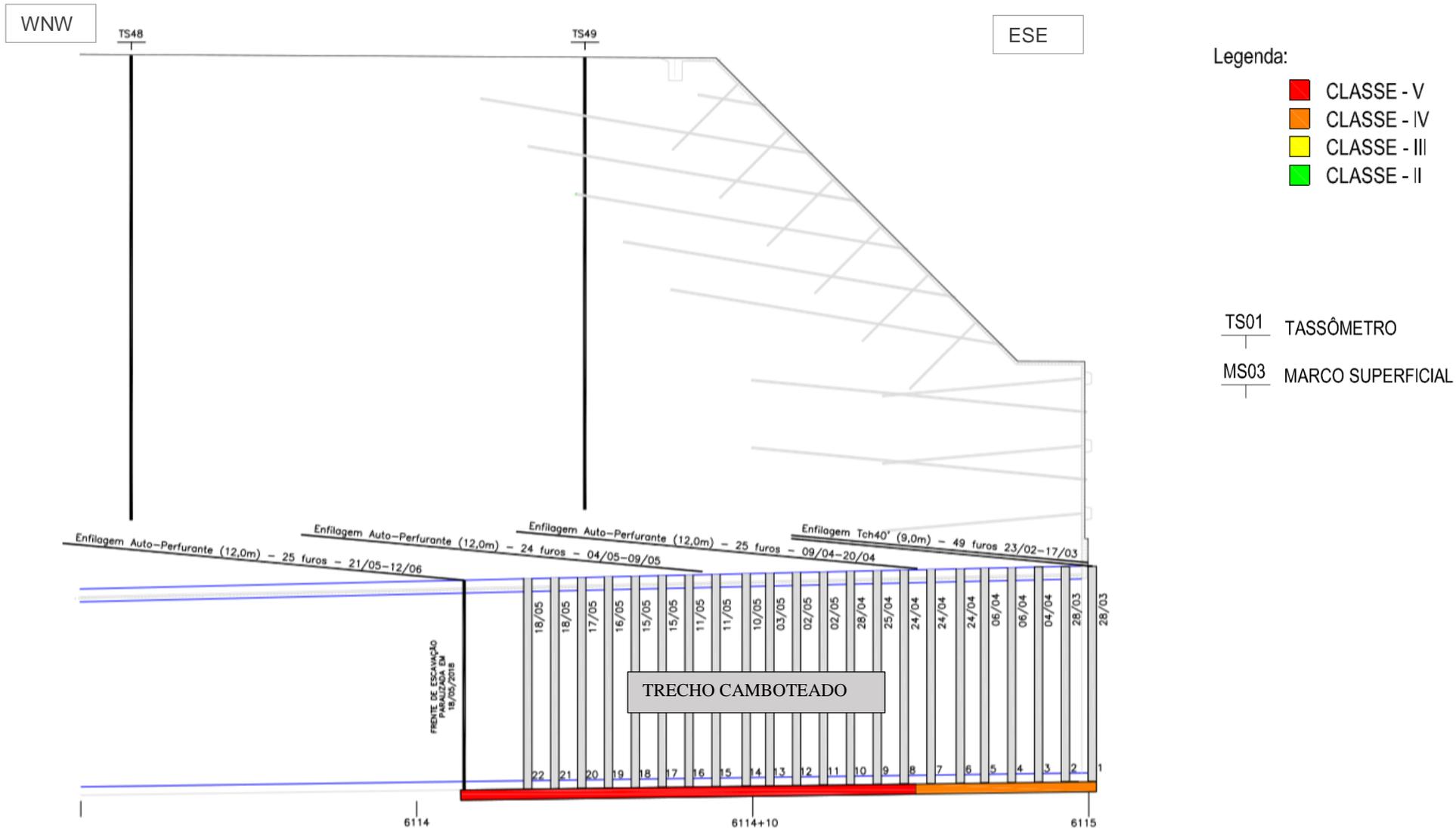


Figura 4.1.34.- Perfil longitudinal da região do Desemboque, com o registro do tratamento (enfilagem e cambota) de acordo com as classes mapeadas e durante o acompanhamento da escavação do túnel.

4.1.2 Emboque (lado Oeste)

Fevereiro/2018

No mês de fevereiro, foi dada continuidade ao tratamento de estabilidade dos taludes laterais e frontal na região do Emboque, conforme especificações de projeto. Os taludes laterais são taludes de 6m a 20m de altura de 1V:1H com bermas a cada 6m. Estes foram tratados com chumbadores de 3,0m com malha de 2,0x2,0m, associados a drenos curtos de 2,0metros, tela Q138 e aplicação de concreto projetado. A contenção frontal se divide em duas partes distintas: uma cortina atirantada localizada acima da viga portal, com tirantes de 6,0m com malha de 2,0x2,0m, além da instalação de drenos horizontais profundos (DHP) de 10,0m cada, tela Q138 e aplicação de concreto projetado. Acima deste uma cortina pregada com chumbadores para o resto da contenção frontal, associados a drenos curtos.



Figura 4.1.35- Região do Emboque-tratamento para estabilidade dos taludes, frontal e lateral, conforme projeto, tirada em 16/02/2018.



Figura 4.1.36- Região do Emboque- tratamento para estabilidade dos taludes, frontal e lateral, conforme projeto, tirada em 21/02/2018.



Figura 4.1.37- Região do Emboque-durante instalação de tela Q138, conforme projeto, tirada em 21/02/2018.

Março/2018- Após conclusão do tratamento dos taludes, foi iniciada a execução da primeira campanha de enfilagem (49 enfilagens injetada de tubo TCH-40, #2,5mm de diâmetro e 9,0m de comprimento), conforme especificações do projeto.



Figura 4.1.38- Região do Emboque-durante execução da primeira campanha de enfilagem injetada com Tubo TCH-40, tirada em 26/03/2018.

Abril/2018- Primeiras detonações para avanço do túnel no lado emboque, sentido N120°, ocorreram a partir do dia 18 de abril de 2018.



Figura 4.1.39- Região do Emboque-durante execução da viga portal, tirada em 12/04/2018.



Figura 4.1.40- Região do Emboque- após a primeira detonação, e durante a aplicação de concreto projetado na viga portal, tirada em 19/04/2018.

Mai/2018- No mês de maio o túnel avançou 65,29 metros. Foram instaladas 10 cambotas na região do emboque, conforme orientações do projeto.



Figura 4.1.41- Região do Emboque-limite do tratamento S5 (trecho camboteado- 10 cambotas instaladas), com o tratamento S3, tirada em 04/05/2018.



Figura 4.1.42- Região do Emboque- aproximadamente 73 metros de túnel escavado, tirada em 30/05/2018.

CONTROLE AVANÇO EMBOQUE (MAIO)						
CLASSE	CAMBOTA	DATA	ESTACA	FRENTE	AVANÇO (m)	TOTAL (m)
III	9	03/05/2018	6077+16,10	6077+18,44	0,94	8,74
III	10	04/05/2018	6077+16,90	6078+1,4	2,95	11,69
CLASSE	TIRANTE	DATA	FRENTE		AVANÇO (m)	TOTAL (m)
IV		05/05/2018	6078+4,7		3,30	14,99
III		08/05/2018	6078+7,05		2,35	17,34
III		09/05/2018	6078+10,45		3,40	20,74
III		10/05/2018	6078+13,70		3,25	23,99
III		11/05/2018	6078+16,85		3,15	27,14
III		14/05/2018	6078+19,10		2,25	29,39
III		15/05/2018	6079+2,00		2,90	32,29
III		16/05/2018	6079+5,30		3,30	35,59
II		17/05/2018	6079+8,45		3,15	38,74
II		18/05/2018	6079+12,00		3,55	42,29
II		21/05/2018	6079+15,55		3,55	45,84
II		22/05/2018	6079+18,90		3,35	49,19
II		23/05/2018	6080+2,40		3,50	52,69
II		24/05/2018	6080+5,35		2,95	55,64
II		25/05/2018	6080+8,70		3,35	59,00
II		26/05/2018	6080+12,70		3,7	62,79
II		28/05/2018	6080+15,65		3,25	66,00
II		29/05/2018	6080+19,20		3,55	69,55
II		30/05/2018	6081+2,8		3,60	73,09
TIRANTE TOTAL= 308			TOTAL ESCAVADO EM MAIO= 65,29m			

Tabela 4.1.3- Resumo do acompanhamento da escavação realizada no mês de maio na região do emboque.

Junho/2018- No mês de junho o túnel avançou 63,11 metros, predominantemente em classe II, tratamento S2- conforme projeto orientações previstas em projeto.



Figura 4.1.43- Região do Emboque- durante 21, tirada em 15/06/2018.



Figura 4.1.44- Região do Emboque-marcação do plano de fogo e dos tirantes pela equipe topográfica, tirada em 25/06/2018.

CONTROLE AVANÇO EMBOQUE (JUNHO)					
CLASSE	TIRANTE	DATA	FRENTE	AVANÇO (m)	TOTAL (m)
II		04/06/2018	6081+6,2	3,40	76,49
II		05/06/2018	6081+9,20	3,00	79,49
II		06/06/2018	6081+12,15	2,95	82,44
II		07/06/2018	6081+14,80	2,65	85,09
II		08/06/2018	6081+17,30	2,50	87,59
II		11/06/2018	6081+19,42	2,10	89,69
II		12/06/2018	6082+2,90	3,48	93,17
II		13/06/2018	6082+5,97	3,03	96,20
II		14/06/2018	6082+9,67	3,70	99,82
II		15/06/2018	6082+13,41	3,74	103,56
II		18/06/2018	6082+17,34	3,93	107,49
II		19/06/2018	6083+1,22	3,88	111,37
II		20/06/2018	6083+5,15	3,93	115,30
II		21/06/2018	6083+8,71	3,56	118,86
II		25/06/2018	6083+12,17	3,46	122,32
II		26/06/2018	6083+15,80	3,63	125,95
II		28/06/2018	6083+19,51	3,71	129,66
II		29/06/2018	6084+2,70	3,19	132,85
II		30/06/2018	6084+6,05	3,35	136,20
TIRANTE TOTAL= 276			TOTAL ESCAVADO EM JUNHO= 63,11m		

Tabela 4.1.4- Resumo do acompanhamento da escavação realizada no mês de junho na região do emboque.

Julho/2018- No mês de julho o túnel avançou 61 metros. No trecho crítico (zona de falha), com rocha alterada com intenso fraturamento- classe IV, foi aplicado o tratamento conforme S4, segundo definições de projeto.



Figura 4.1.45- Região do Emboque- classe IV, tratamento S4, tirada em 13/07/2018.



Figura 4.1.46- Perfuração com 3,0m para instalação dos tirantes, tirada em 25/07/2018.

CONTROLE AVANÇO EMBOQUE (JULHO)					
CLASSE	TIRANTE	DATA	FRENTE	AVANÇO (m)	TOTAL (m)
II		03/07/2018	6084+10,15	4,10	140,30
III		04/07/2018	6084+13,71	3,56	143,86
III		05/07/2018	6084+16,97	3,26	147,12
II		09/07/2018	6085+0,17	3,20	150,32
II		10/07/2018	6085+3,04	2,87	153,19
II		11/07/2018	6085+6,62	3,58	156,77
III		12/07/2018	6085+10,13	3,51	160,28
IV		13/07/2018	6085+12,98	2,85	163,13
III		16/07/2018	6085+15,51	2,53	165,66
III		17/07/2018	6085+18,69	3,18	168,84
III		18/07/2018	6086+1,99	3,30	172,14
II		19/07/2018	6086+5,25	3,26	175,40
II		20/07/2018	6086+8,19	2,94	178,34
II		23/07/2018	6086+11,82	3,63	181,97
II		24/07/2018	6086+15,46	3,64	185,61
III		25/07/2018	6086+18,95	3,49	189,10
IV		27/07/2018	6087+1,69	2,74	191,84
IV		30/07/2018	6087+4,39	2,70	194,54
IV		31/07/2018	6087+7,15	2,76	197,30
TIRANTE TOTAL= 368			TOTAL ESCAVADO EM JULHO= 61m		

Tabela 4.1.5- Resumo do acompanhamento da escavação realizada no mês de julho na região do emboque.

Agosto/2018- A última detonação do túnel ocorreu no dia 09 de agosto, onde foi observado melhora nas condições de contorno, fraturamento e alteração do maciço, mapeado como classe III. Em 17 de agosto foi concluído o tratamento, na região de influência da frente paralisada, conforme recomendações técnicas para paralisação do emboque. A sequência executiva do tratamento realizado até a paralisação definitiva em agosto pode ser visualizada nas Figuras 4.1.51- 4.1.48.



Figura 4.1.47- Região do Emboque- após aplicação de concreto projetado no tratamento secundário, tirada em 01/08/2018.



Figura 4.1.48- Região do Emboque- 213,52 metros totais escavados pelo lado do Emboque, sentido (N120°), tirada em 09/08/2018.

CONTROLE AVANÇO EMBOQUE (AGOSTO)					
CLASSE	TIRANTE	DATA	FRENTE	AVANÇO (m)	TOTAL (m)
IV		01/08/2018	6087+9,81	2,66	199,96
IV		03/08/2018	6087+12,33	2,52	202,48
IV		06/08/2018	6087+14,81	2,48	204,96
IV		08/08/2018	6087+17,26	2,45	207,41
IV		08/08/2018	6088+0,22	2,96	210,37
III		09/08/2018	6088+3,37	3,15	213,52
TIRANTE TOTAL= 150			TOTAL ESCAVADO EM AGOSTO= 16,22m		

Tabela 4.1.6- Resumo do acompanhamento da escavação realizada no mês de agosto na região do emboque.



Figura 4.1.49- Conclusão do tratamento para paralisação do túnel, conforme recomendações técnicas para paralisação do Emboque, tirada em 16/08/2018.

Importante ressaltar que nenhuma detonação no túnel ocorreu antes da aplicação do tratamento primário (que consiste na aplicação do concreto projetado e instalação de tirantes de acordo com a classe mapeada) da frente em questão. Essa atitude contribuiu para um elevado nível de segurança observado durante a escavação do túnel Cacimba Cercada.

Perfil Longitudinal do Tratamento realizado no Túnel Cacimba Cercada de Março a Agosto / 2018.
Emboque

WNW

ESE

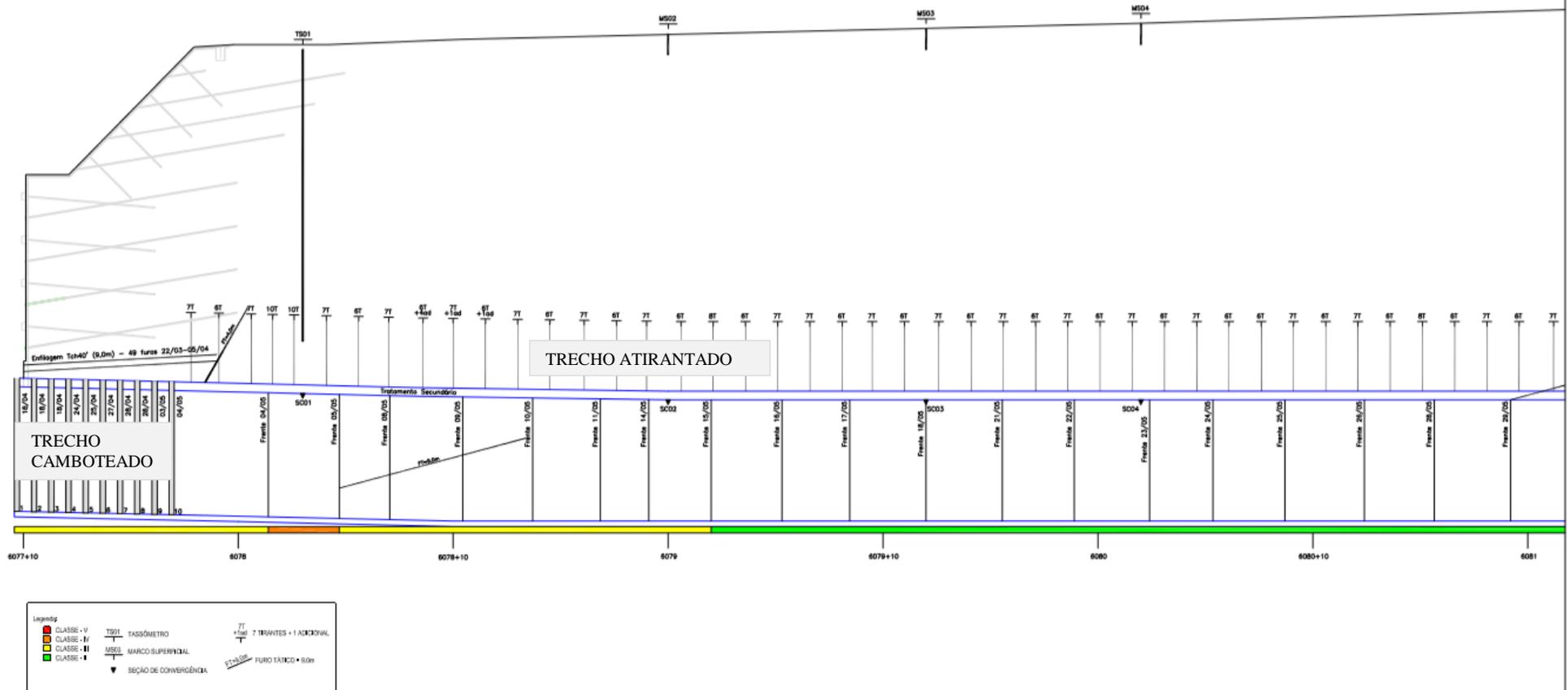


Figura 4.1.50- Perfil longitudinal do tratamento realizado no túnel Cacimba Cercada em função da classe mapeada, na região do Emboque.

Perfil Longitudinal do Tratamento
realizado no Túnel Cacimba Cercada
de Março a Agosto / 2018.
Emboque

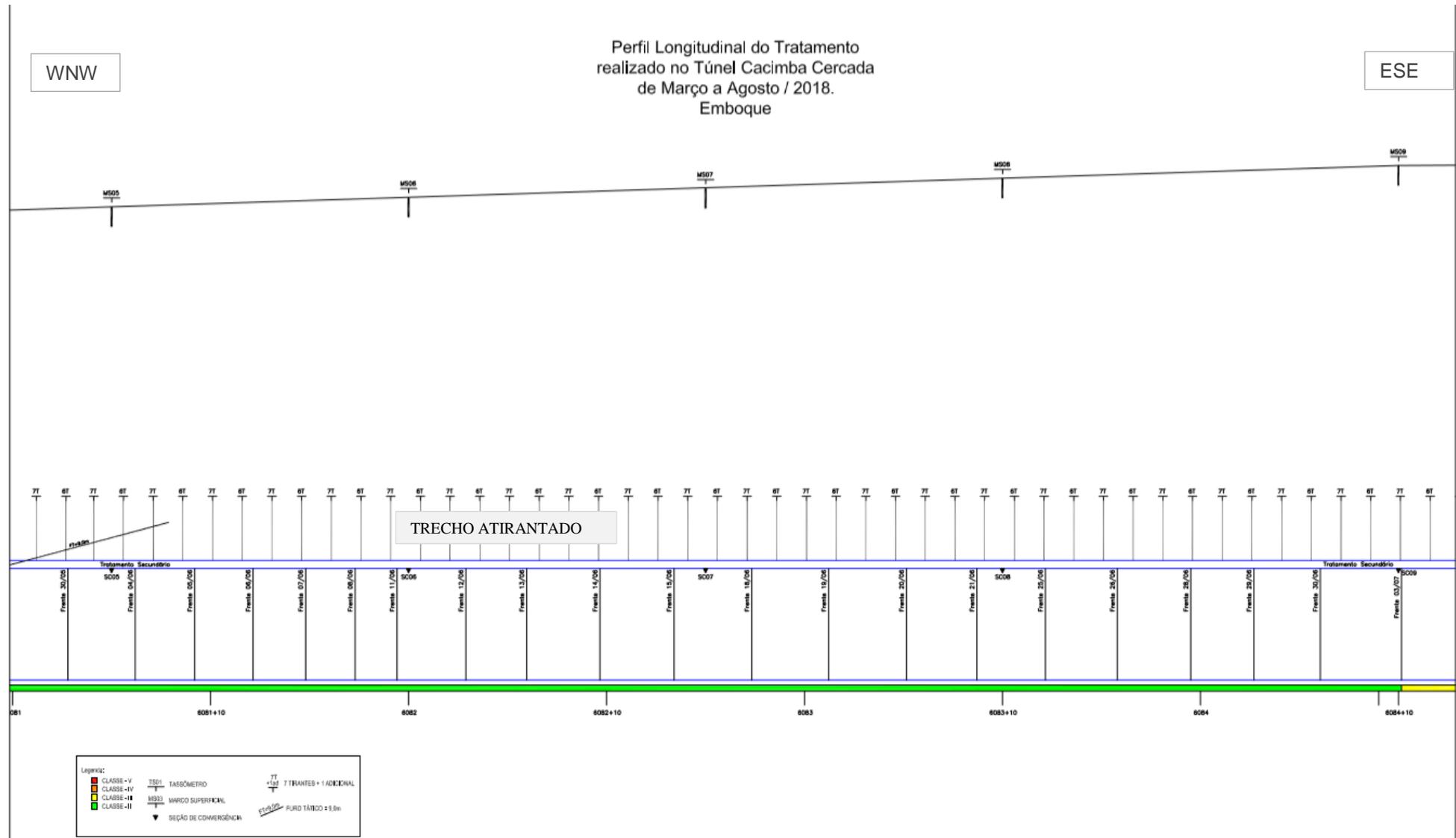
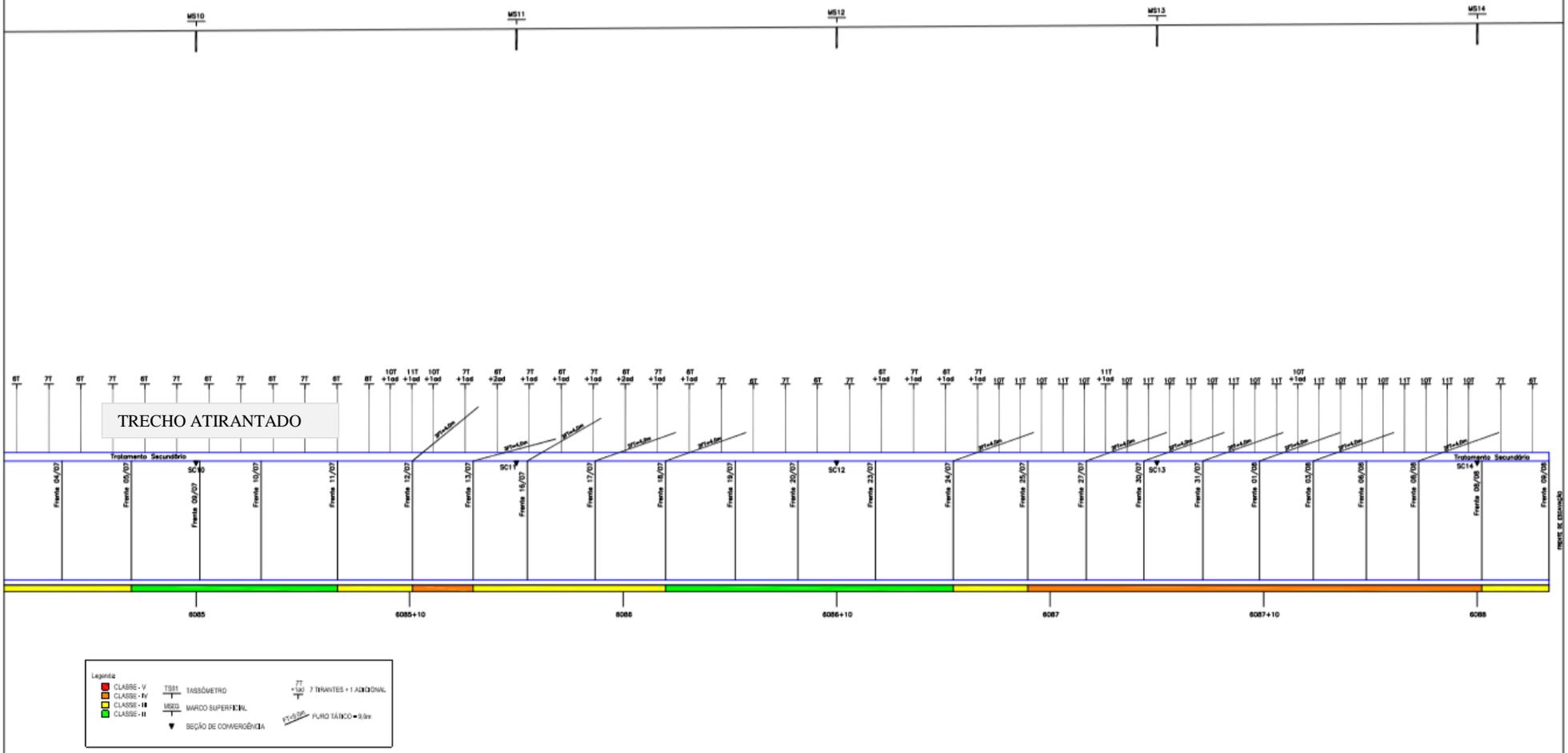


Figura 4.1.51- Perfil longitudinal do tratamento realizado no túnel Cacimba Cercada em função da classe mapeada, na região do Emboque.

WNW

Perfil Longitudinal do Tratamento realizado no Túnel Cacimba Cercada de Março a Agosto / 2018. Emboque

ESE



Legenda

- CLASSE - V
- CLASSE - IV
- CLASSE - III
- CLASSE - II
- TSB1 TASSÔMETRO
- MS10 MARCO SUPERFICIAL
- SEÇÃO DE CONVERGÊNCIA
- 77 77 TRAVES + 1 ADICIONAL
- 77 +100 77 TRAVES + 1 ADICIONAL
- 77 +100 PULO TÂNCO = 0,00

Figura 4.1.52- Perfil longitudinal do tratamento realizado no túnel Cacimba Cercada em função da classe mapeada, na região do Emboque.

As tabelas a seguir apresentam um resumo da escavação mensal, e das classes mapeadas no período em questão.

CONTROLE ESCAVAÇÃO MENSAL (m)		
	EMBOQUE	DSEMBOQUE
MARÇO	-	0,80m
ABRIL	7,80m	8,56m
MAIO	65,29m	9,34m
JUNHO	63,11m	-
JULHO	61,10m	-
AGOSTO	16,22m	-
TOTAL	213,22m	18,70m

Tabela 4.1.7- Controle de escavação mensal.

CONTROLE- CLASSE MAPEADA (Emboque/Desemboque)		
CLASSE V (rocha alterada, solo)	13,45m	5,79%
CLASSE IV (rocha alterada, muito fraturada)	32,67m	14,07%
CLASSE III (rocha sã, muito fraturada)	54,97m	23,67%
CLASSE II (rocha sã, pouco fraturada)	131,13m	56,47%
TOTAL	232,22m	

Tabela 4.1.8- Controle da classe mapeada ao longo do túnel.

4.2 Análise Estrutural

Um dos pontos mais importantes na caracterização geológica para implantação de obras de escavação é sem dúvida o detalhamento da geologia estrutural, uma vez que boa parte do comportamento do maciço rochoso poderá ser governado por essas discontinuidades. Os estudos conduzidos para o levantamento de dados se concentrou em trabalhos de campo procurando-se caracterizar os principais sistemas de discontinuidades a partir do mapeamento geológico/geotécnico realizado a cada avanço, em ambas as frentes escavadas. A área do túnel é dominada por rochas da Suíte intrusiva Itaporanga, com alinhamentos de orientação variáveis. As rochas identificadas apresentam-se, em geral maciças, podendo apresentar estruturas dobradas, segundo as fases de deformação regionais. Do ponto de vista estrutural, os granitoides apresentam predominantemente uma estrutura maciça, porém em diversos casos podem apresentar uma foliação bem marcada. No geral, trata-se de uma foliação de fluxo magmático com os fenocristais de feldspato e biotita alinhados ou de uma sutil foliação milonítica.

As regiões críticas interpretadas através da análise dos perfis geológicos/ geotécnicos gerados através da interpretação da campanha de sondagem e geofísica, nos revelam condições desfavoráveis para escavação principalmente na região da calota do túnel, em função da baixa cobertura em rocha sã, material alterado com comportamento de solo, como registrado nas Figuras 4.2.1e 4.2.2. Pode-se observar que os principais lineamentos a nível regional na área estudada, é representado por falhas transcorrente sinistral, de direção preferencial NE/SW, como indicado na Figura 4.2.3.



Figura 4.2.1- Identificação das principais estruturas, nos taludes, na região de influência do desemboque (lado leste), onde apresentam intenso fraturamento, tirada em 03/03/2018.



Figura 4.2.2- Identificação das principais estruturas, mapeadas nos taludes, na região de influência do desemboque, tirada em 03/03/2018.

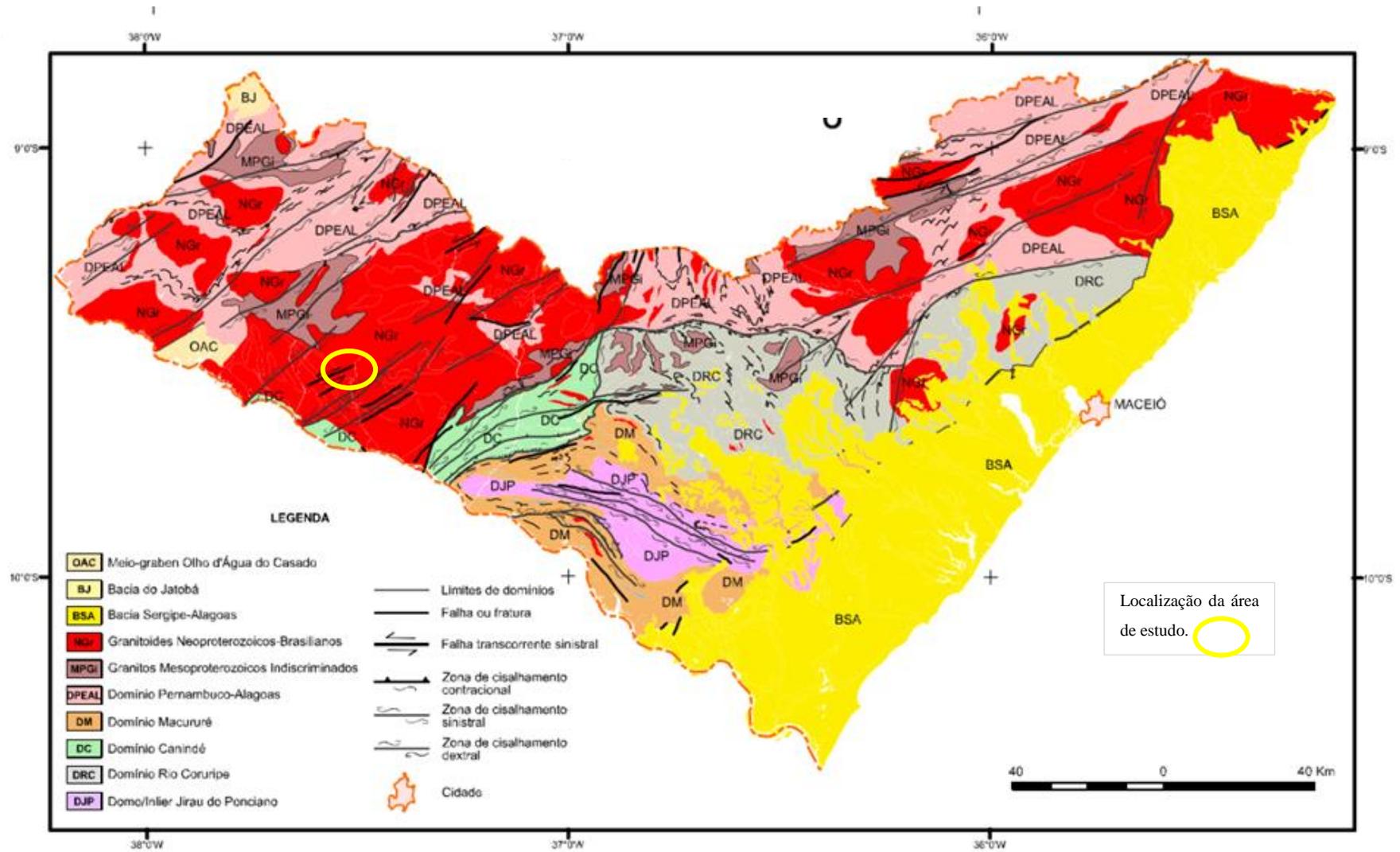


Figura 4.2.3 – Mapa Geológico com as províncias tectônicas do Estado de Alagoas. Fonte CPRM, 2017.

4.2.1 Geologia Estrutural lado leste- Desemboque

O maciço rochoso mapeado durante as escavações do túnel pelo desemboque (lado leste), revelaram grande alternância de rocha alterada dura com rocha alterada mole, na região do teto do túnel, baixa cobertura em rocha sã- Figura 4.2.4, onde predomina material alterado mole, que em função do grau de alteração podem se comportar como solo- F5 no teto do túnel. De modo geral, o maciço rochoso apresenta passagens com alto grau de fraturamento, variando entre F5 e F4 predominantemente.

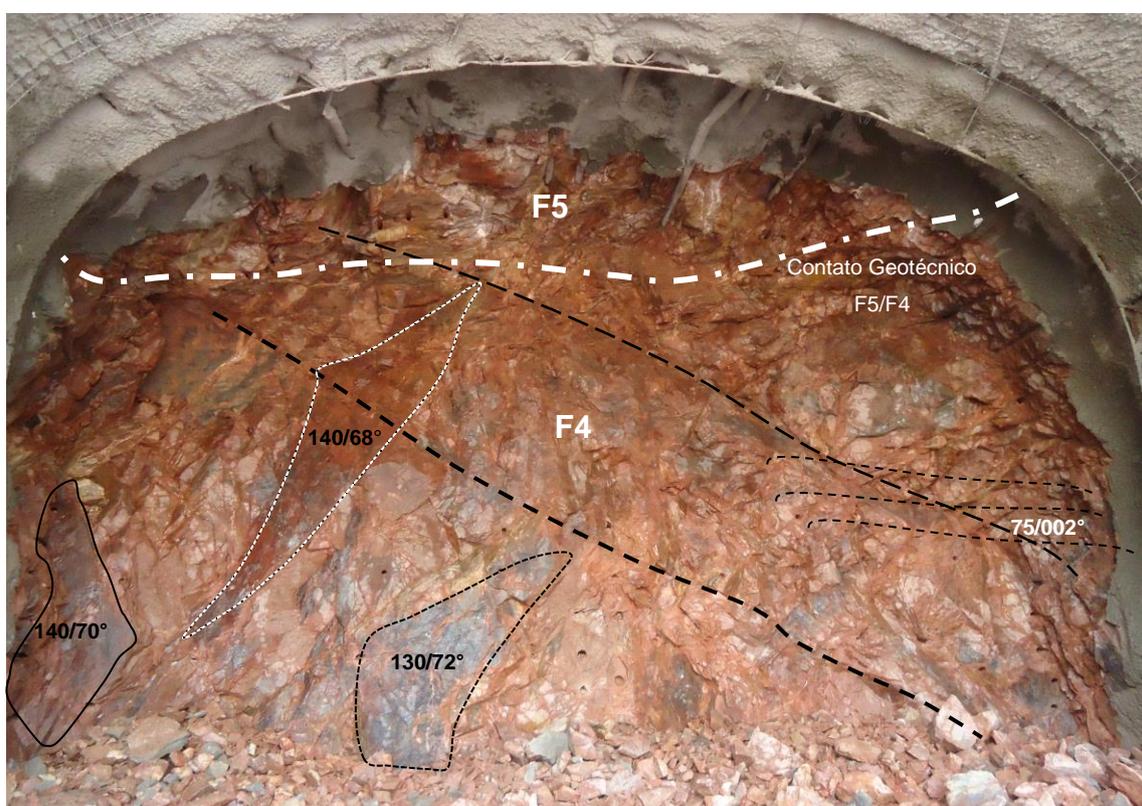


Figura 4.2.4- Região do Desemboque- classe V (F5/F4), no Km 122,290. Mapeamento geológico com as principais famílias de fraturas na área do desemboque, tirada em 28/04/2018.

A Figura 4.2.6, representa o mapeamento em planta com o registro das principais estruturas geológicas/ geotécnicas, mapeadas nos primeiros 20 metros de escavação do túnel pelo lado desemboque, sentido N300°. A zona crítica está representada na região da calota do túnel, com rocha alterada e intenso fraturamento F5, com comportamento de solo (Figura 4.2.5), em função disto o tratamento indicado para este trecho de classe V foi o S5, sessão que compreende tratamento com enfilagem e cambotas.

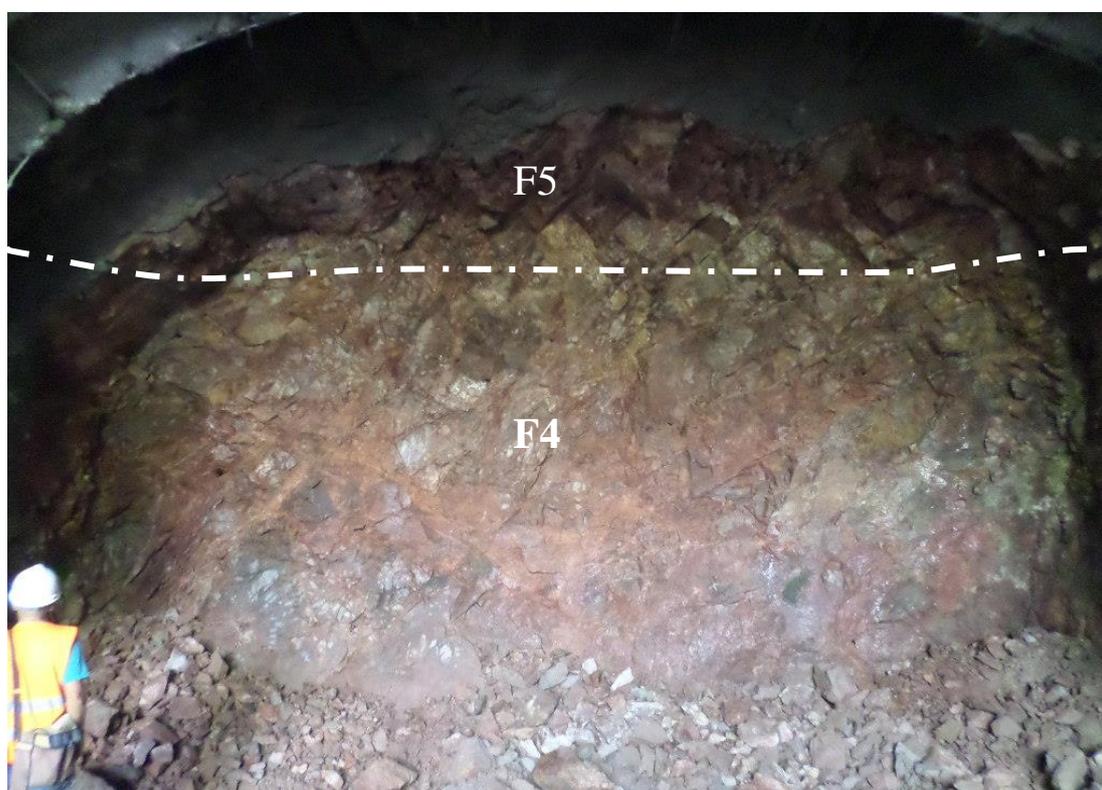


Figura 4.2.5- Região do Desemboque, classe V- Tratamento S5, no Km 122,294 Rocha alterada mole/ RAD, predominando no teto F5, tirada em 18/05/2018.

Mapeamento Geológico / Geotécnico Túnel Cacimba Cercada Desemboque

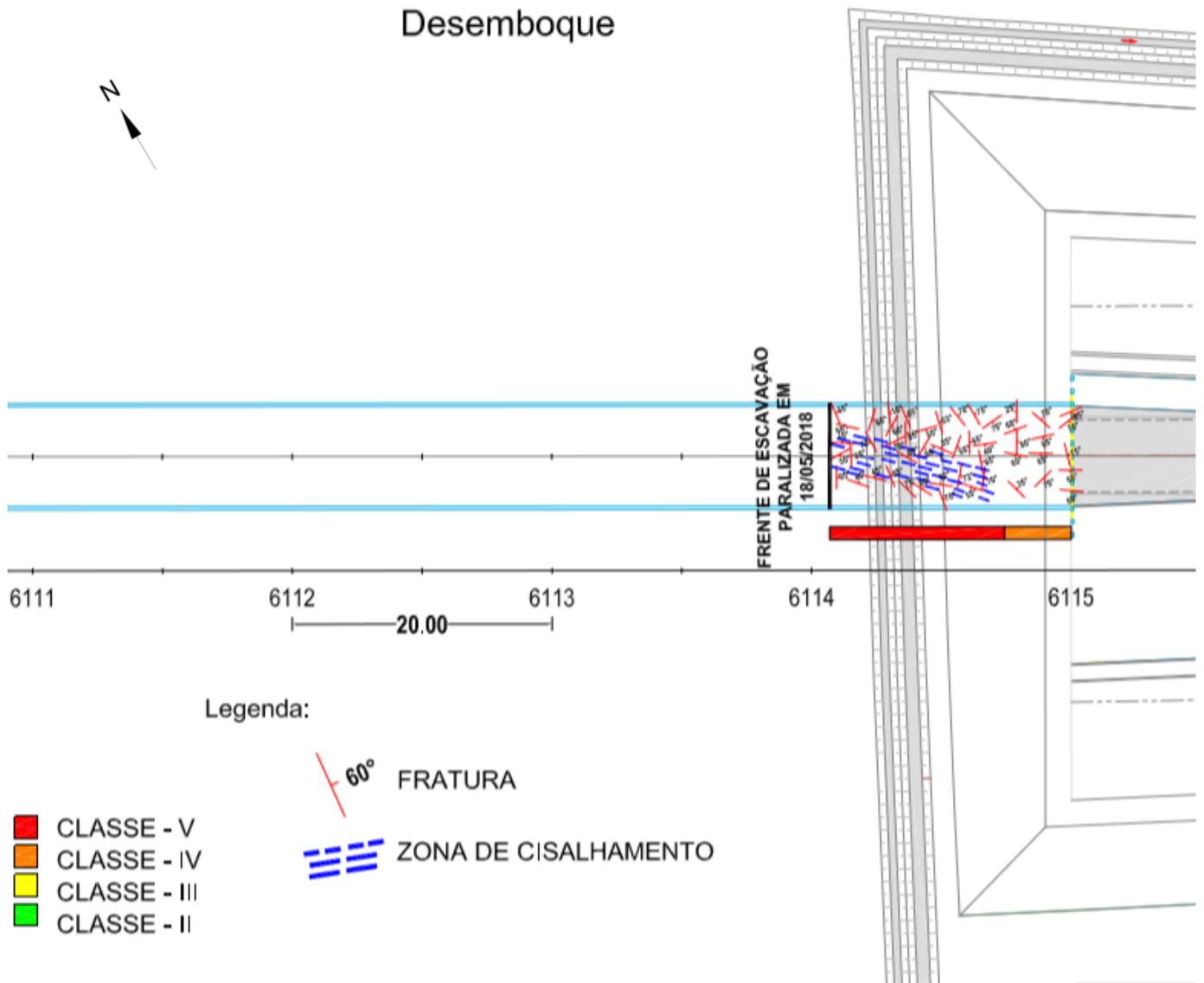


Figura 4.2.6- Mapeamento Geológico/Geotécnico, em planta, realizado durante o acompanhamento da escavação do túnel Cacimba Cercada, no Desemboque (lado leste), sentido NWN.

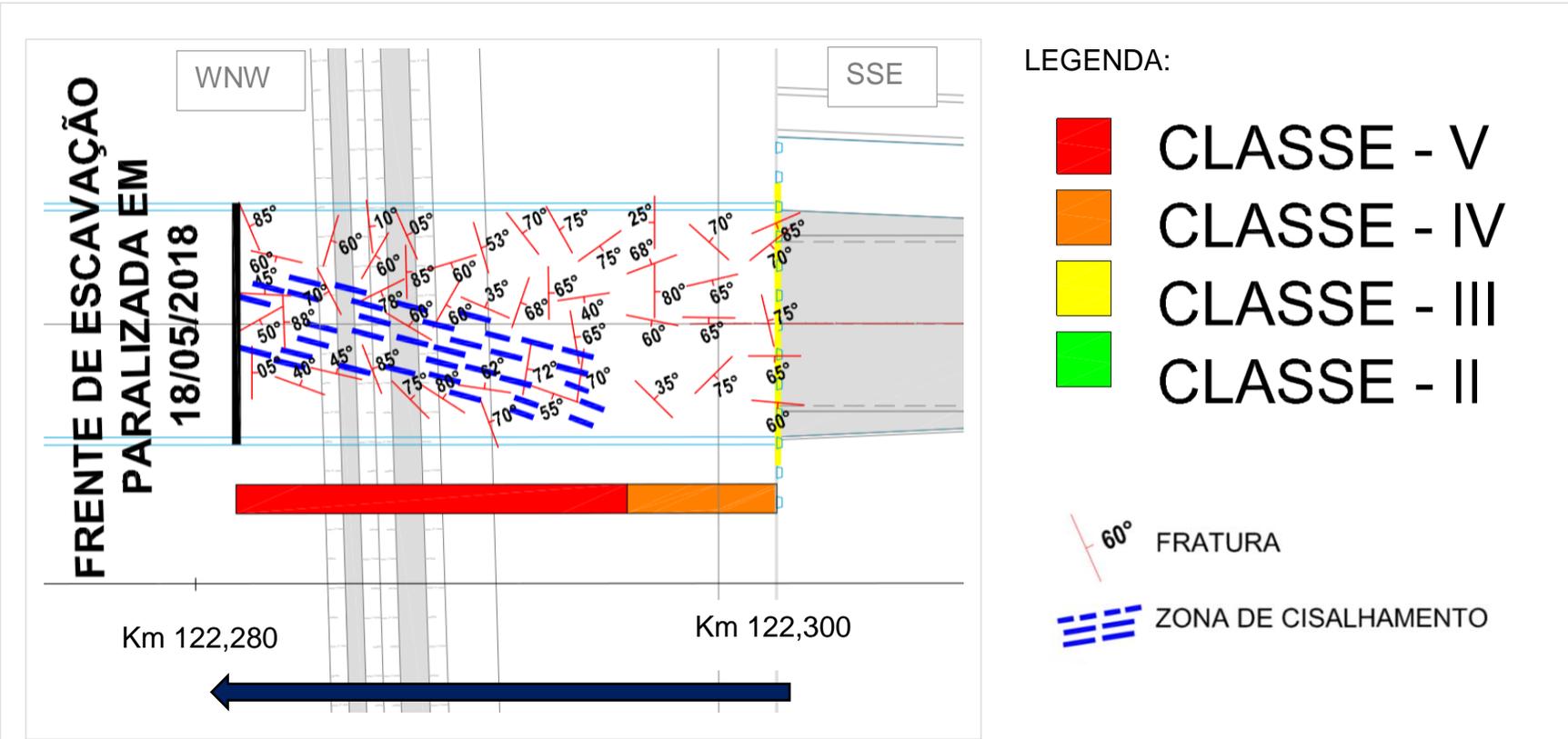


Figura 4.2.7- Detalhe do mapeamento Geológico/Geotécnico, em planta, realizado durante o acompanhamento da escavação do túnel Cacimba Cercada, no Desemboque (lado leste), sentido NWN.

No diagrama abaixo, é possível observar grande frequência de descontinuidades com mergulhos intermediários (entre 50° e 75°). A Zona de Falha orienta-se sub-paralela ao sentido de escavação do túnel (N300°), os mergulhos sofrem bastante variação de suas inclinações como pode ser visto pela dispersão dos dados, com caimentos preferenciais para SW. Secundariamente ocorrem descontinuidades com direção NW, ENE e NNE, que associadas a família de Fraturas/Falhas (N50W/60SW) podem contribuir para formação de cunhas, principalmente na lateral direita do Desemboque, sentido N300°, Figura 4.2.8.

Apresentam planos de fraturas subverticais, paralelos e oblíquos ao sentido de escavação do túnel. A Figura 4.2.9 apresenta as orientações das principais descontinuidades mapeadas na região do desemboque.

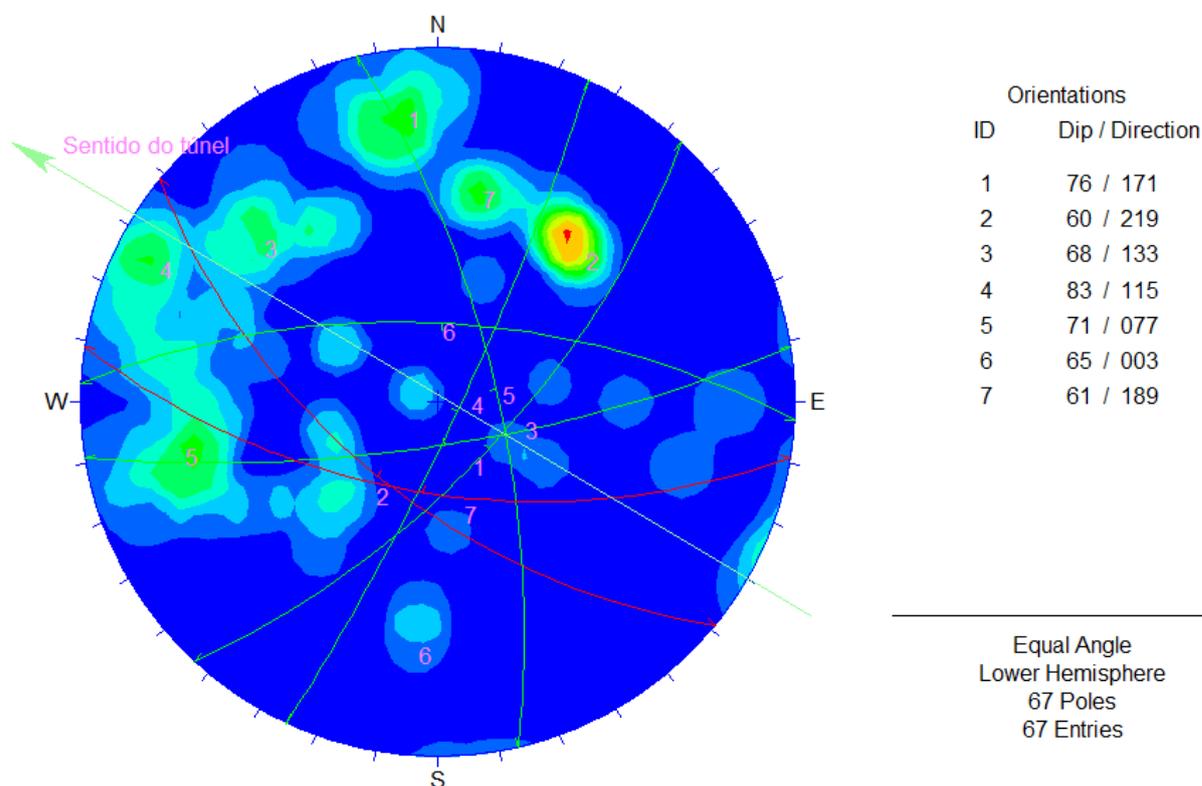


Figura 4.2.8- – Diagramas das principais Fraturas mapeadas no Desemboque (18,70m de túnel escavado). Hemisfério Inferior rede estereográfica de igual área – A direção da Zona de Cisalhamento encontra-se sub-paralela ao sentido de escavação do túnel N300°. Programa Dips Unweighted Contour Plot.

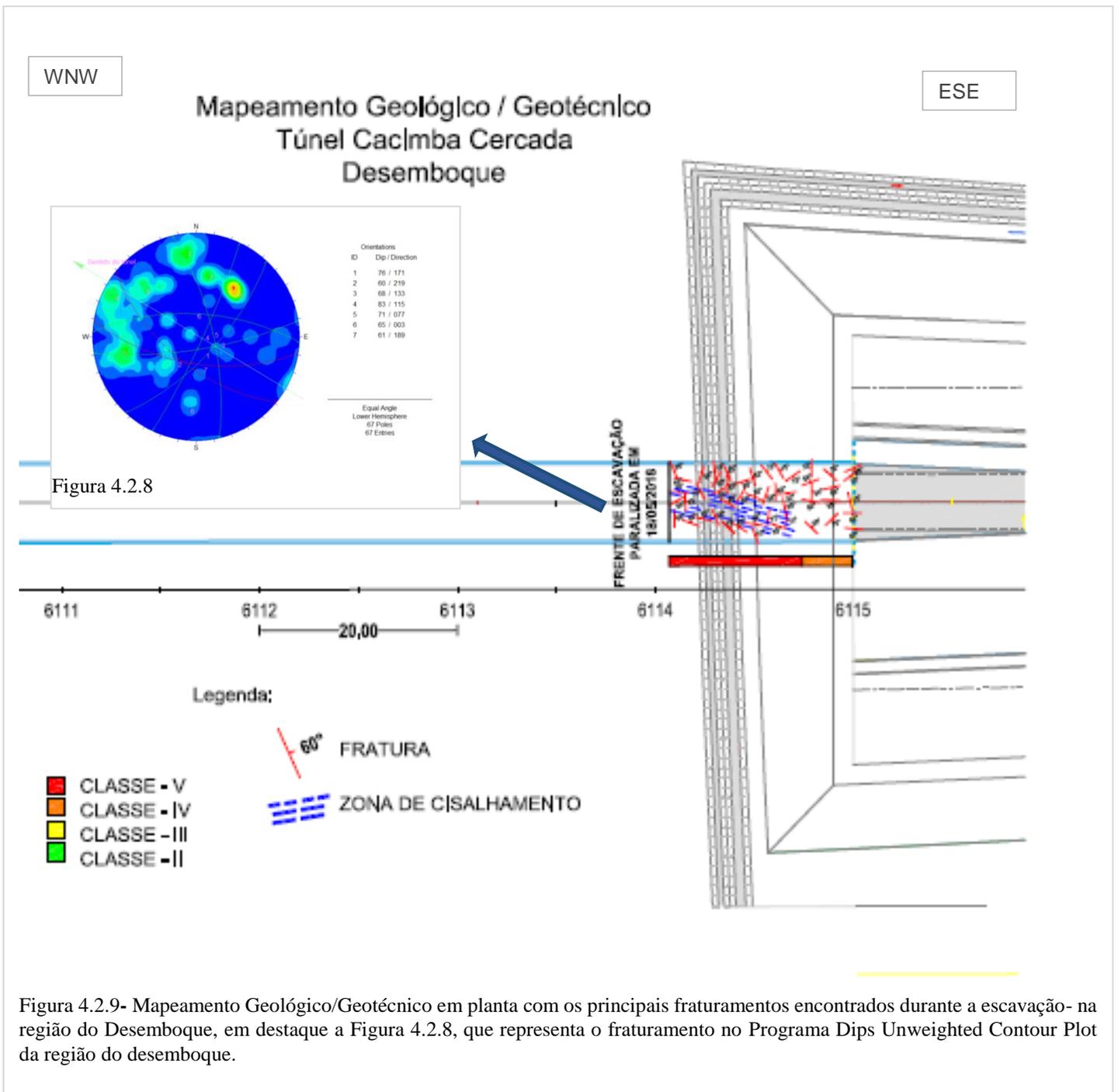


Figura 4.2.9- Mapeamento Geológico/Geotécnico em planta com os principais fraturamentos encontrados durante a escavação- na região do Desemboque, em destaque a Figura 4.2.8, que representa o fraturamento no Programa Dips Unweighted Contour Plot da região do desemboque.

4.2.2 Geologia Estrutural lado Oeste- Emboque

O maciço rochoso mapeado durante as escavações do túnel pelo emboque (lado oeste), sentido da escavação N120°, revelaram melhores condições na qualidade da rocha até os 140m escavados, como mostra a Figura 4.2.11, com predomínio de classe II, representado por um maciço são, pouco fraturado. Nos trechos em classe IV, predominam as Zonas de Falha, onde o maciço rochoso apresenta passagens com alto grau de fraturamento, variando entre F3/F4 predominantemente. À medida que se aproxima das zonas de cisalhamento (Figura 4.2.12) o fraturamento torna-se gradativamente mais intenso, de forma que o contato entre eles pode ser gradacional, embora na essência, seja de caráter tectônico.

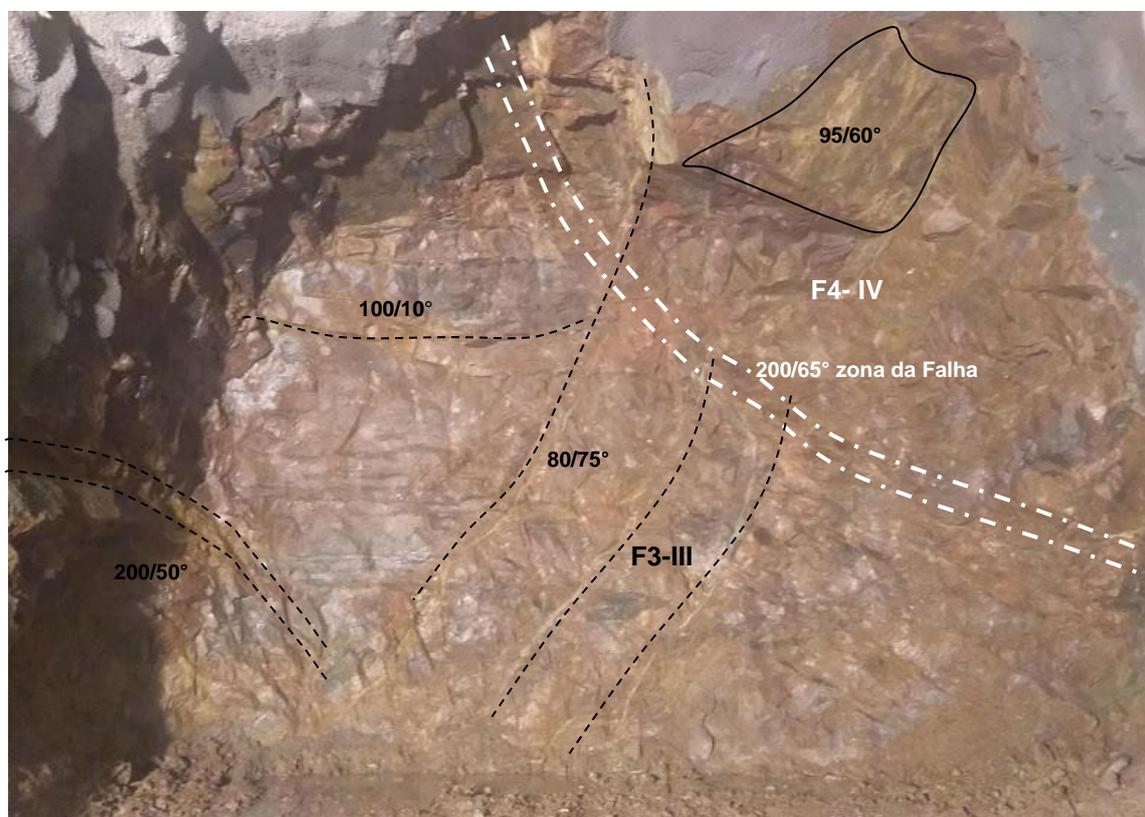


Figura 4.2.10- Região do Emboque- classe IV no Km 121,750. Contato Geotécnico, classe III, rocha são fraturada A1C1F3 -lado esquerdo, e classe IV – intenso fraturamento e alteração A3C3F4 no teto direito, tirada em 01/08/2018.

No trecho próximo à estaca 6087+10 (no Km 121,750), na Figura 4.2.12, predomina uma região de elevado grau de fraturamento do maciço e está condicionado ao intenso cisalhamento rúptil na região (Zona de Falha)- classe IV, com estruturas subverticais e subparalelas a levemente oblíquas padrão típico de Falhas Normais, sentido de escavação do túnel (N120°).

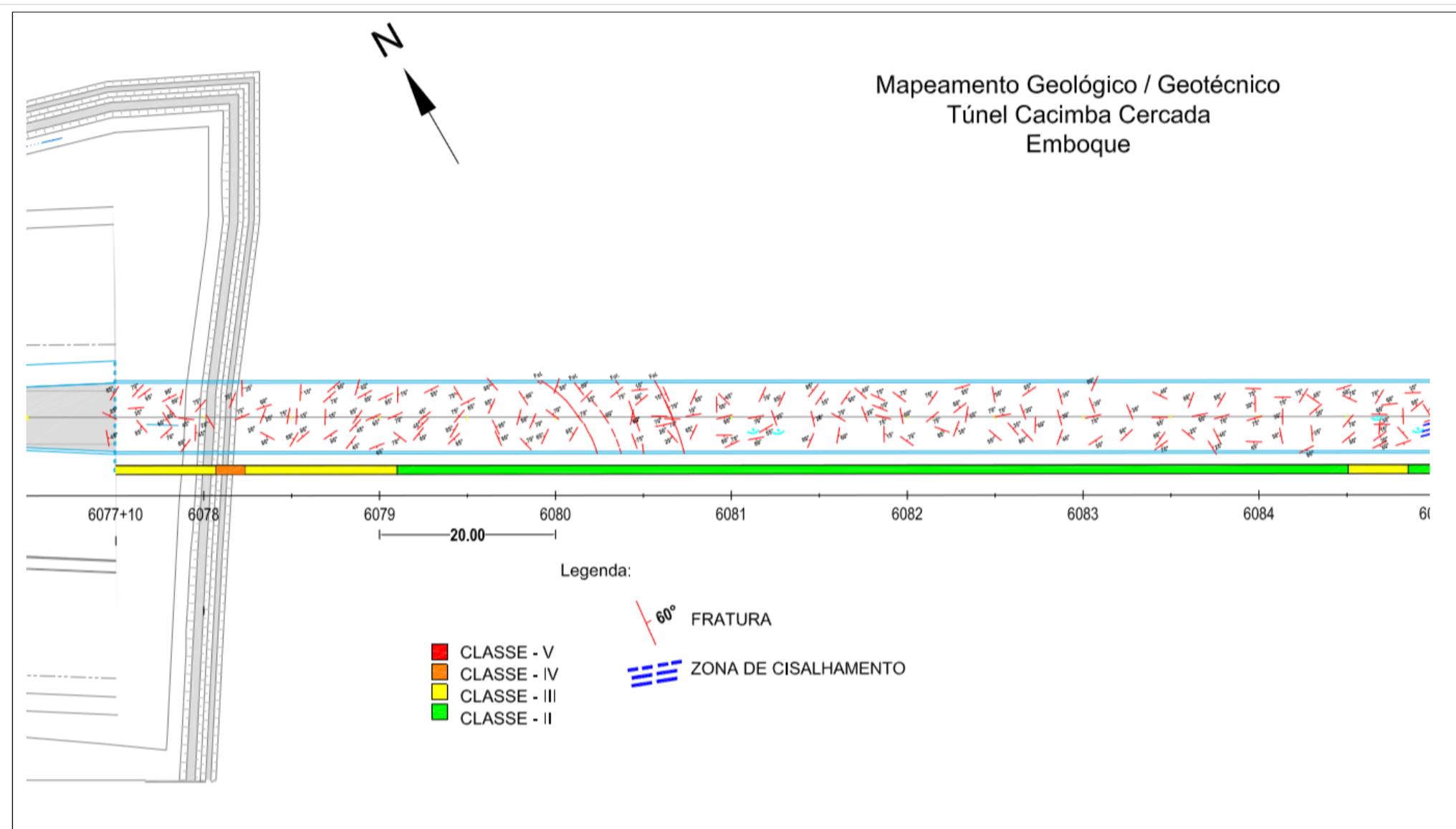


Figura 4.2.11- Mapeamento Geológico/Geotécnico em planta, com o registo das principais estruturas geológicas mapeadas nos primeiros 140m de escavação pelo lado oeste- Emboque, sentido N120°, observa-se predomínio da classe II, neste trecho.

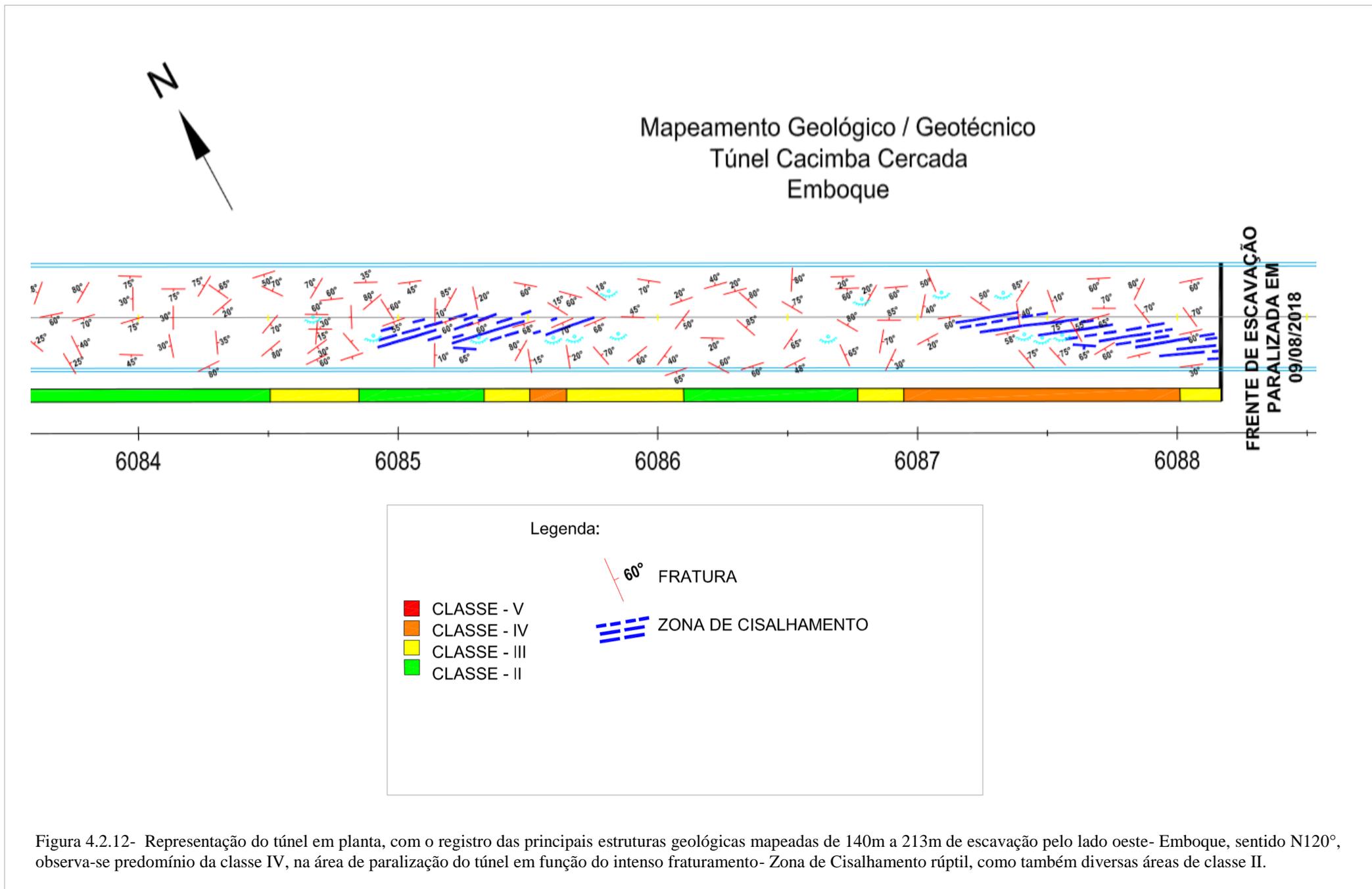


Figura 4.2.12- Representação do túnel em planta, com o registro das principais estruturas geológicas mapeadas de 140m a 213m de escavação pelo lado oeste- Emboque, sentido N120°, observa-se predomínio da classe IV, na área de paralização do túnel em função do intenso fraturamento- Zona de Cisalhamento rúptil, como também diversas áreas de classe II.

As Figuras a seguir apresentam as orientações das principais descontinuidades encontradas ao longo da escavação pelo lado do emboque, sentido N120°.

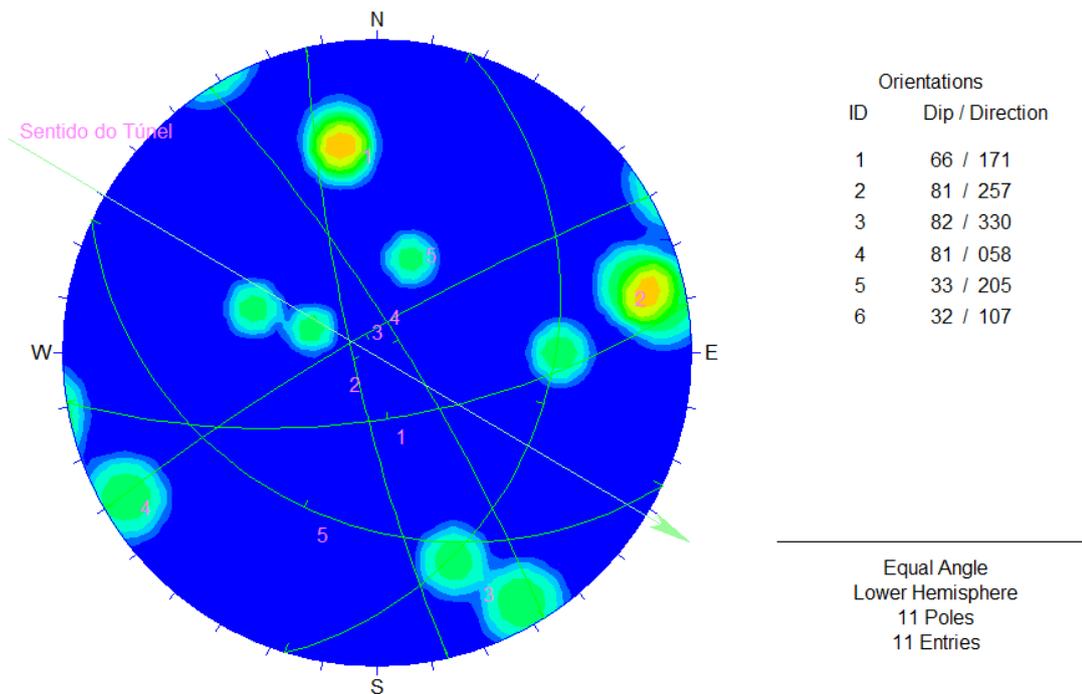


Figura 4.2.13– Diagramas de Fraturas no Emboque. Hemisfério Inferior rede estereográfica de igual área – Trecho mapeado predominantemente em **classe III**, nos 32 primeiros metros escavados (da estaca 6077+9,70 a 6079+2). Maciço são com intenso fraturamento, propício a formação de cunhas A1C1F3. Programa Dips Unweighted Contour Plot.



Figura 4.2.13.1- Frente do Emboque, classe III- Trecho camboteado, com aproximadamente 8,0 metros de túnel escavado- Intenso fraturamento, rocha são- A1C1F3, tirada em 02/05/2018.

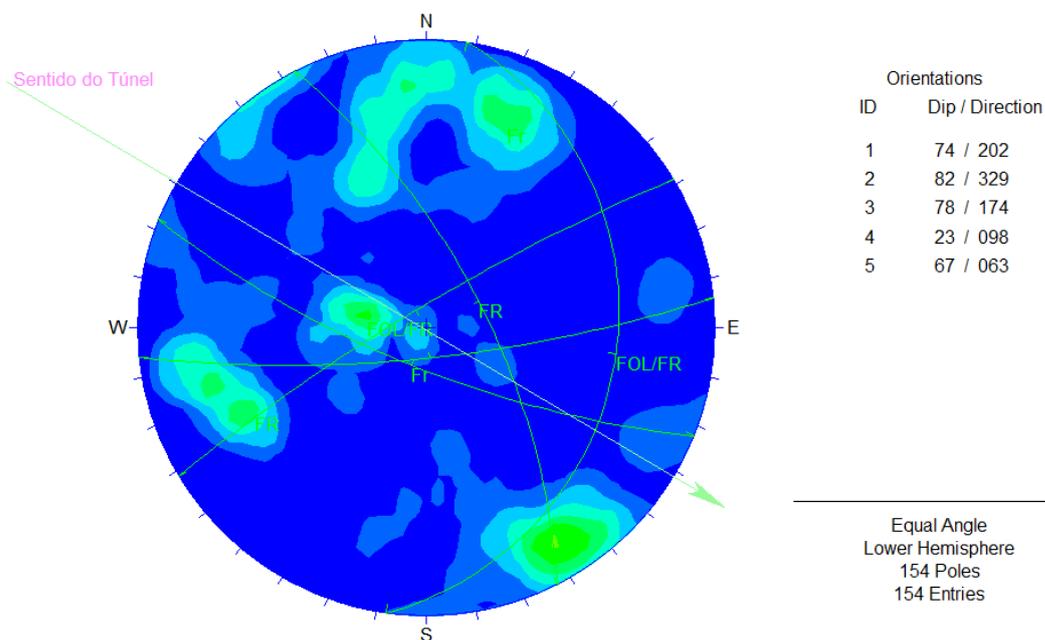


Figura 4.2.14– Diagramas de Fraturas no Emboque. Hemisfério Inferior rede estereográfica de igual área – Trecho mapeado predominantemente em classe II, com aproximadamente 130 metros de túnel escavado (da estaca 6079+2 a 6085+6). Maciço são com fraturas A1C1F2. Programa Dips Unweighted Contour Plot.



Figura 4.2.14.1– Região do Emboque, classe II- Tratamento S2, estaca 6080+12- Rocha são com fraturas A1C1F2, contorno em boas condições, tirada em 26/05/2018.

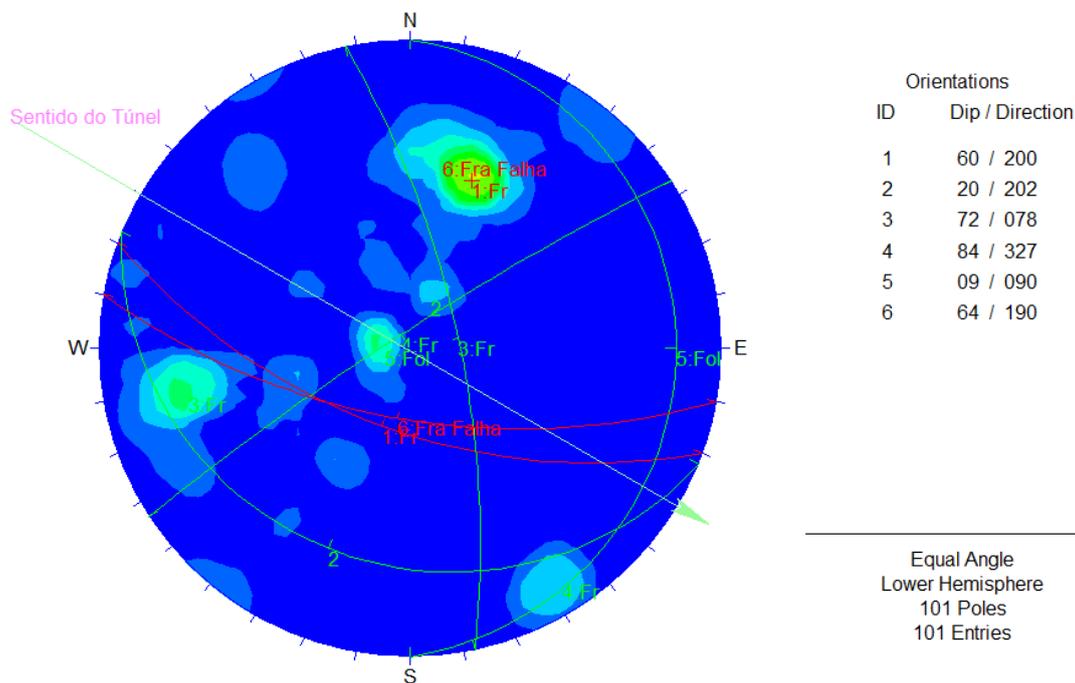


Figura 4.2.15– Diagrama com as principais Fraturas no Emboque– Trecho mapeado predominantemente em **classe IV, zona da falha (Cisalhamento)**- com transcorrência associada à família de fraturas 1 e orientação do mergulho SW- direção subparalela a escavação do túnel (N120°)- Programa Dips Unweighted Contour Plot- Hemisfério Inferior rede estereográfica de igual área.

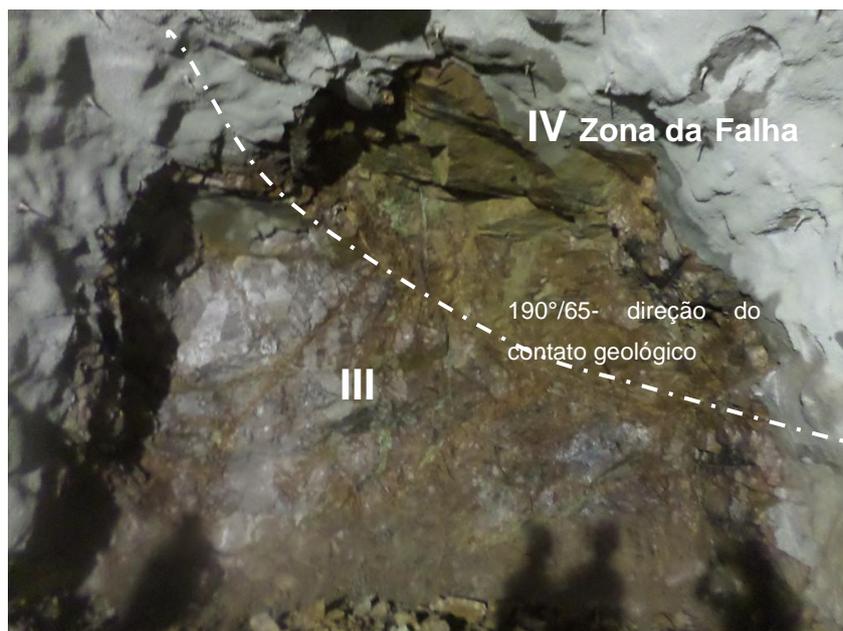


Figura 4.2.15.1- Região do Emboque, classe IV- Tratamento S4, estaca 6087+4- Contato geotécnico- Zona da Falha presente no lado direito da seção, tirada em 26/05/2018.

No trecho de 53 metros, (da estaca 6085+6 a 6088+3) mapeado com predomínio de classe IV, zona da falha- com transcorrência associada à família de fraturas 1 com orientação do mergulho SW e direção subparalela a escavação do túnel (N120°) são desfavoráveis a escavação, presentes no eixo e lateral direita da seção escavada, em conjunto com a família 4 (sentido do mergulho NW) perpendicular ao sentido do túnel condicionam a formação de cunhas na parede direita, e a estabilidade de frente.

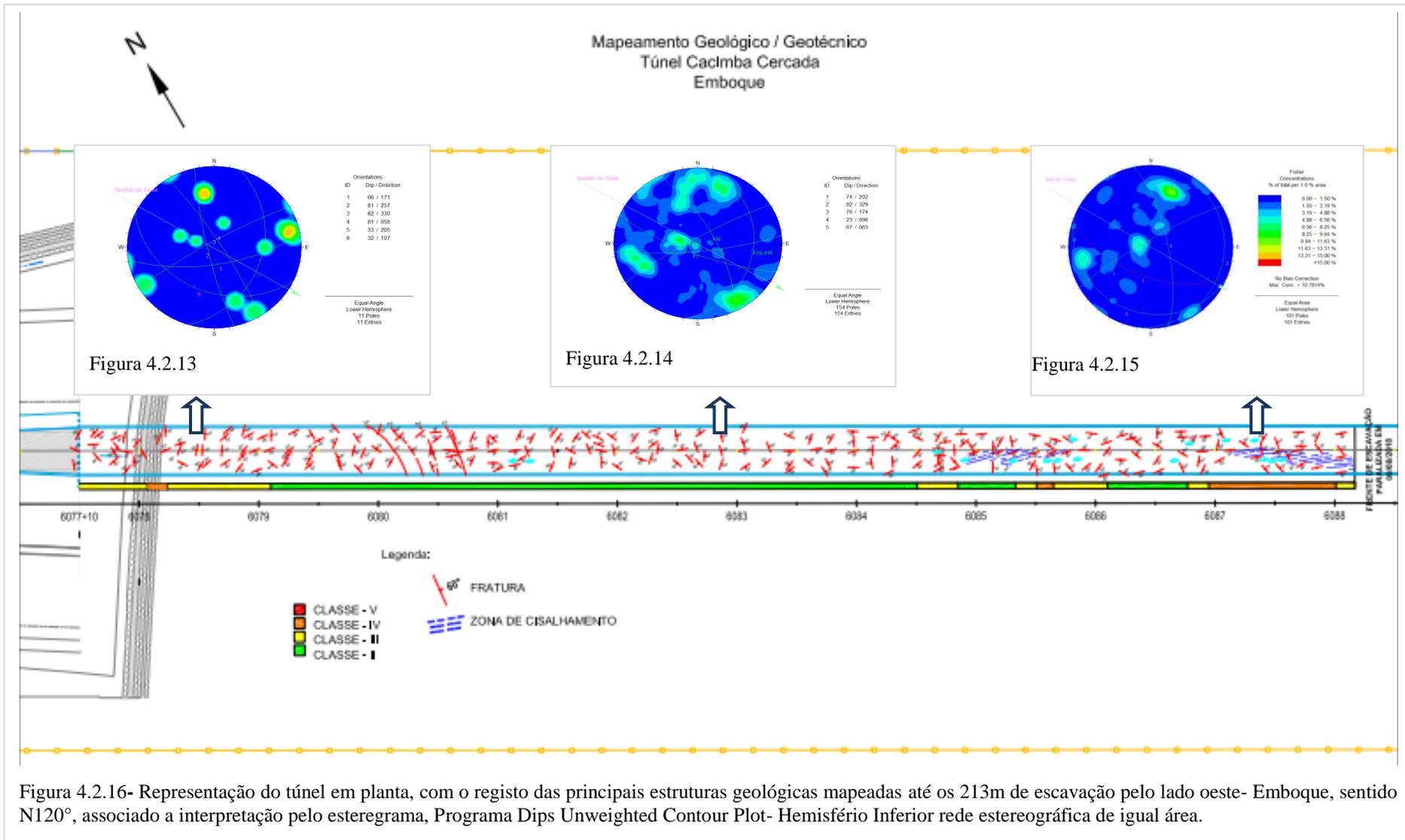


Figura 4.2.16- Representação do túnel em planta, com o registo das principais estruturas geológicas mapeadas até aos 213m de escavação pelo lado oeste- Emboque, sentido N120°, associado a interpretação pelo estereograma, Programa Dips Unweighted Contour Plot- Hemisfério Inferior rede estereográfica de igual área.

Nestes trechos críticos, com intenso fraturamento e formação de cunhas no teto e paredes (overbreak geológico- OV), foi de extrema importância à remoção de blocos soltos através da execução do bate choco mecanizado antes da aplicação de concreto projetado primário no avanço em questão, contribuindo para melhores condições de segurança durante as escavações.

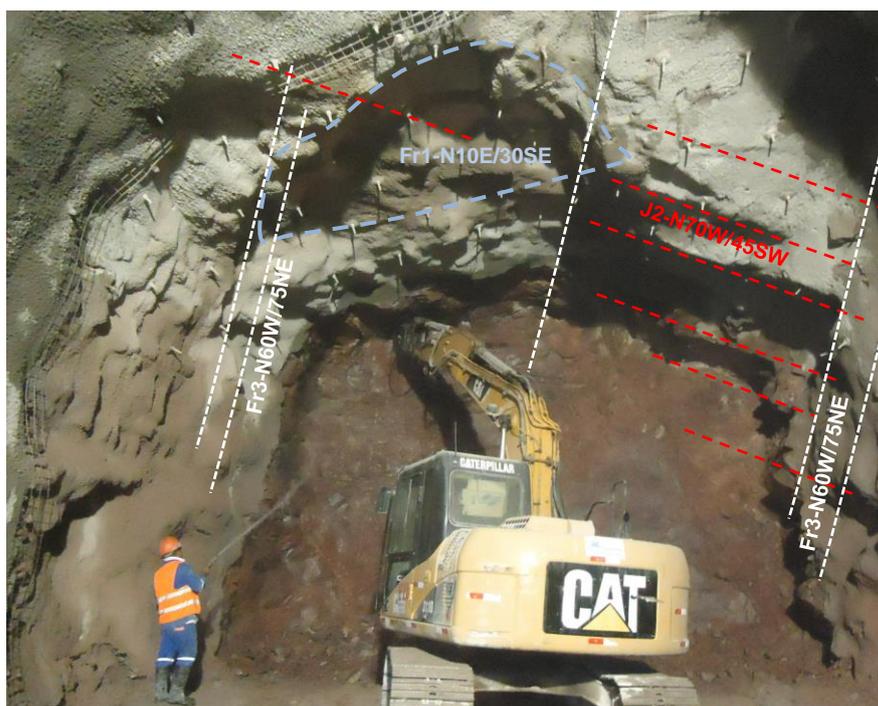


Figura 4.2.17- Estruturas geológicas que condicionam a escavação:

Fr1: fratura sub-horizontais transversal ao túnel (N10E/30SE);

Fr2: fratura inclinadas (N70W/45SW);

Fr3: fratura subverticais (N60W/75NE);

Figura 4.2.17- Lado Emboque, classe IV- overbreak geológico (OV) observado no teto e lateral direita, em função do intenso fraturamento na região, tirada em 06/08/2018.

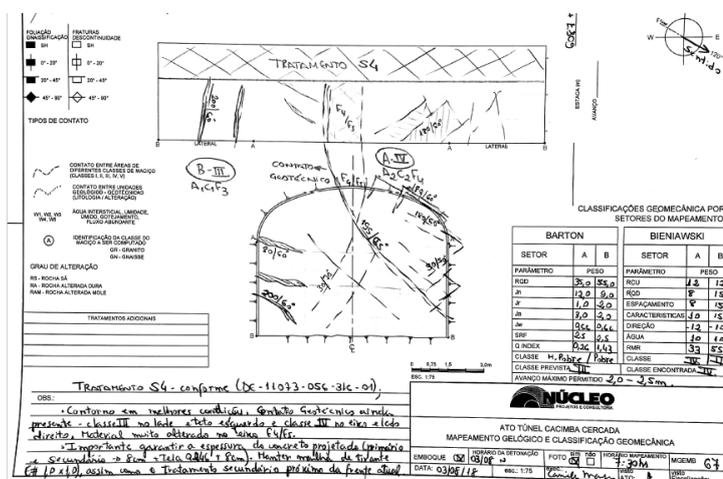
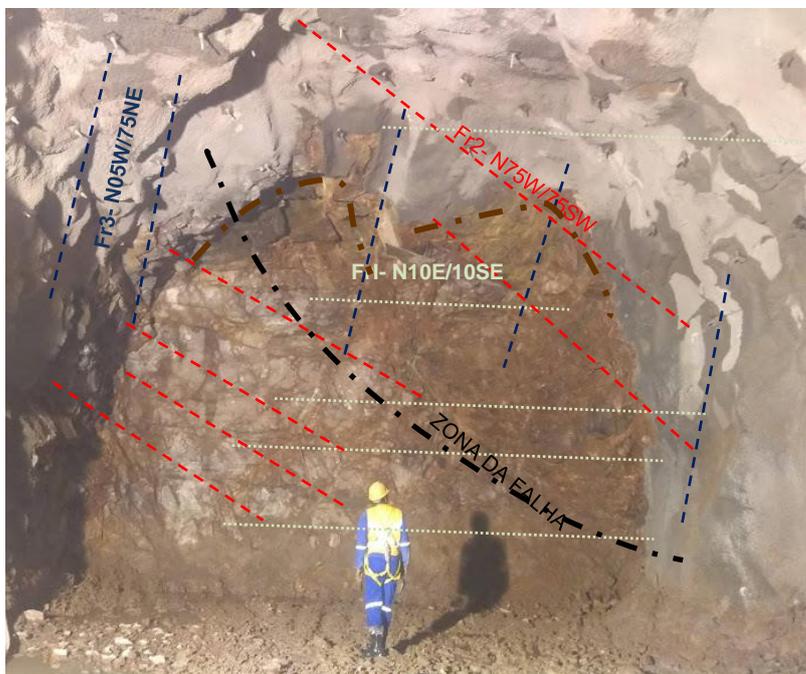


Figura 4.2.18- Folha representativa do mapeamento geológico realizado em 06/08/2018- classe IV, pelo lado emboque.

A maioria das irregularidades com formação de cunhas, observadas ao longo da escavação, estão associadas com as descontinuidades mapeadas no maciço, que são anteriores à detonação, por esta razão são considerados *overbreak* geológicos.



Estruturas geológicas que condicionam a escavação:
Fr1: fratura sub-horizontais transversal ao túnel (N10E/10SE);
Fr2: fratura inclinadas (N75W/75SW);
Fr3: fratura subverticais (N05W/75NE);

Figura 4.2.19- Classe IV- *overbreak* geológico (OV) observado no teto, em função do intenso fraturamento associado à zona da Falha, tirada em

Nestas condições de irregularidades e “*overbreak*” em relação à linha de contorno da escavação, o uso da tela metálica no tratamento secundário é de extrema importância; pois possibilita o preenchimento dos cantos em cunha, recuperando a forma e garantindo a regularidade da seção. Justificando o tipo de decisão que foi tomada para garantir a estabilidade do túnel.

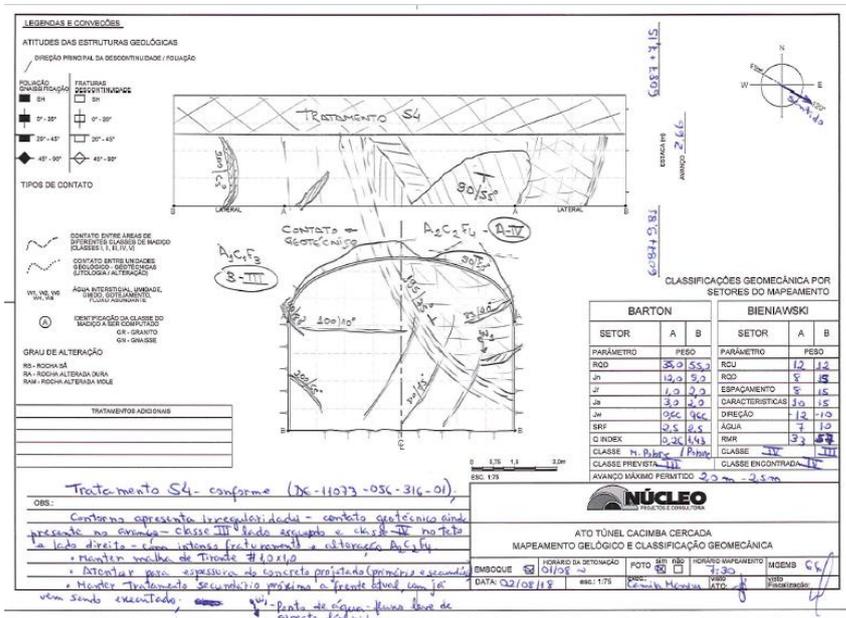


Figura 4.2.20- Folha do mapeamento geológico realizado em 01/08/2018- classe IV.

5. DISCUSSÃO

A partir dos dados estruturais interpretados, há expectativa de maciços muito fraturados e alterados na calota do túnel e seções em zonas de cisalhamento (Classe V), nos primeiros 50 m a partir do Desemboque (lado Leste), onde se prevê seção mista com classe V na região da calota e classe IV/III nas paredes. Será necessário o uso de cambotas e proteção com lances de enfilagens injetadas armadas. No lado do emboque, houve predomínio de classe II, com trechos em classes III e IV. Existe predomínio de fraturas sub- verticais alinhadas ao traçado (WNW) e oblíquas (NE) com mergulhos acentuados que irão condicionar a formação de cunhas na parede direita e a estabilidade de frente das escavações neste sentido. A possibilidade de cruzar zonas de cisalhamento nestas duas direções principais é bastante elevada.

A Tabela 5.1 apresenta o efeito da orientação das descontinuidades, com relação à direção de escavação do túnel. Em destaque para a direção que se encontra as zonas de falha mapeadas ao longo da escavação do túnel, de direção paralela ao eixo do túnel, com inclinação entre 45° a 90° que evidencia um cenário muito desfavorável para a escavação, segundo BIENIAWSKI, 1989.

Direção perpendicular ao eixo do túnel				Direção paralela ao eixo do túnel		Inclinação 0-20°
Abertura do túnel no sentido da inclinação		Abertura do túnel no sentido inverso da inclinação		Inclinação 45-90°	Inclinação 20-45°	
Inclinação 45-90°	Inclinação 20-45°	Inclinação 45-90°	Inclinação 20-45°			
Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável	Razoável	Razoável

Orientação das descontinuidades	Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Túneis e minas	0	-2	-5	-10	-12

Tabela 5.1- Efeito da orientação das descontinuidades, com relação à direção de escavação do túnel, RMR (1989).

As zonas subparalelas ao traçado do túnel (WNW/ESE) são mais preocupantes do ponto de vista de estabilidade global pois podem comprometer o arqueamento da seção exigindo reforços estruturais, conforme orientação do consultor (MARTINATI, 2018). Cuidados especiais devem ser tomados quando estas zonas de cisalhamento estiverem próximas às paredes, pois não se trata de desprendimento de blocos, mas sim de garantir a redistribuição de tensões nas paredes. Quando estas zonas forem encontradas de maneira perpendicular às escavações (NE) definirão um maciço classe IV (baixa) ou V com problemas de estabilidade local, o que provavelmente exigirá cambotas e eventualmente tratamentos com enfilagens. O elevado grau de fraturamento do maciço está

condicionado ao intenso cisalhamento rúptil da região e se manifesta localmente com maior intensidade, inclusive com evidências de planos estriados. Portanto, os avanços devem ser moderados entre 2,0 e 3,0m em média, e produtividade baixa nas zonas de tratamento.

6. CONCLUSÕES

Durante o acompanhamento da obra, foram observadas variações bruscas na qualidade do maciço, havendo predomínio de classe inferior- Classe V no lado do Desemboque e Classe II no lado do Emboque, com regiões apresentando intenso fraturamento e presença de discontinuidades com orientação desfavorável, classificadas como Classes III e IV. Dos 232 metros totais de túnel escavado; 213 metros foram escavados pelo lado Emboque (lado oeste, sentido N120°) e 18,70 metros escavados pelo Desemboque (lado leste, sentido N300°). De forma geral foi possível verificar que há predomínio absoluto de rocha de composição granítica, associada a Suíte Intrusiva Itaporanga (Plúton Carneiros- NP3γ2it48), com zonas alteradas relacionadas a zonas de cisalhamento. Apresenta textura equigranular média a grossa a inequigranular porfirítica, com fenocristais esparsos de álcali- feldspato (variando de 1cm a 3cm, ocasionalmente com 5cm a 7cm) e raramente de plagioclásio (0,5cm a 1cm), distribuídos esparsamente numa matriz equigranular média a grossa, de cor cinza clara a rosa esbranquiçada, compostos essencialmente por quartzo, plagioclásio, microclina, biotita e anfibólio.

As discontinuidades do maciço rochoso se distribuem de forma heterogênea, com variações de espaçamento e persistência. Em zonas muito fraturadas, foram observadas irregularidades na linha de contorno, com formação de cunhas; evidenciados por sobre- escavação (overbreak) devido a condicionantes geológicos/geotécnicos associados as principais famílias de fraturas encontradas ao longo da escavação do túnel. A zona da falha mapeada apresenta direção preferencial subparalela a escavação do túnel (E/W com mergulho para SW), encontra-se perpendicular aos principais lineamentos regionais, representados por falhas transcorrentes sinistral, de direção preferencial NE/SW

A Figura abaixo (6.1) representa o perfil geológico- geotécnico elaborado durante a fase II da obra, e apresenta as classes previstas na fase do projeto e as respectivas classes mapeadas ao longo da escavação do túnel.

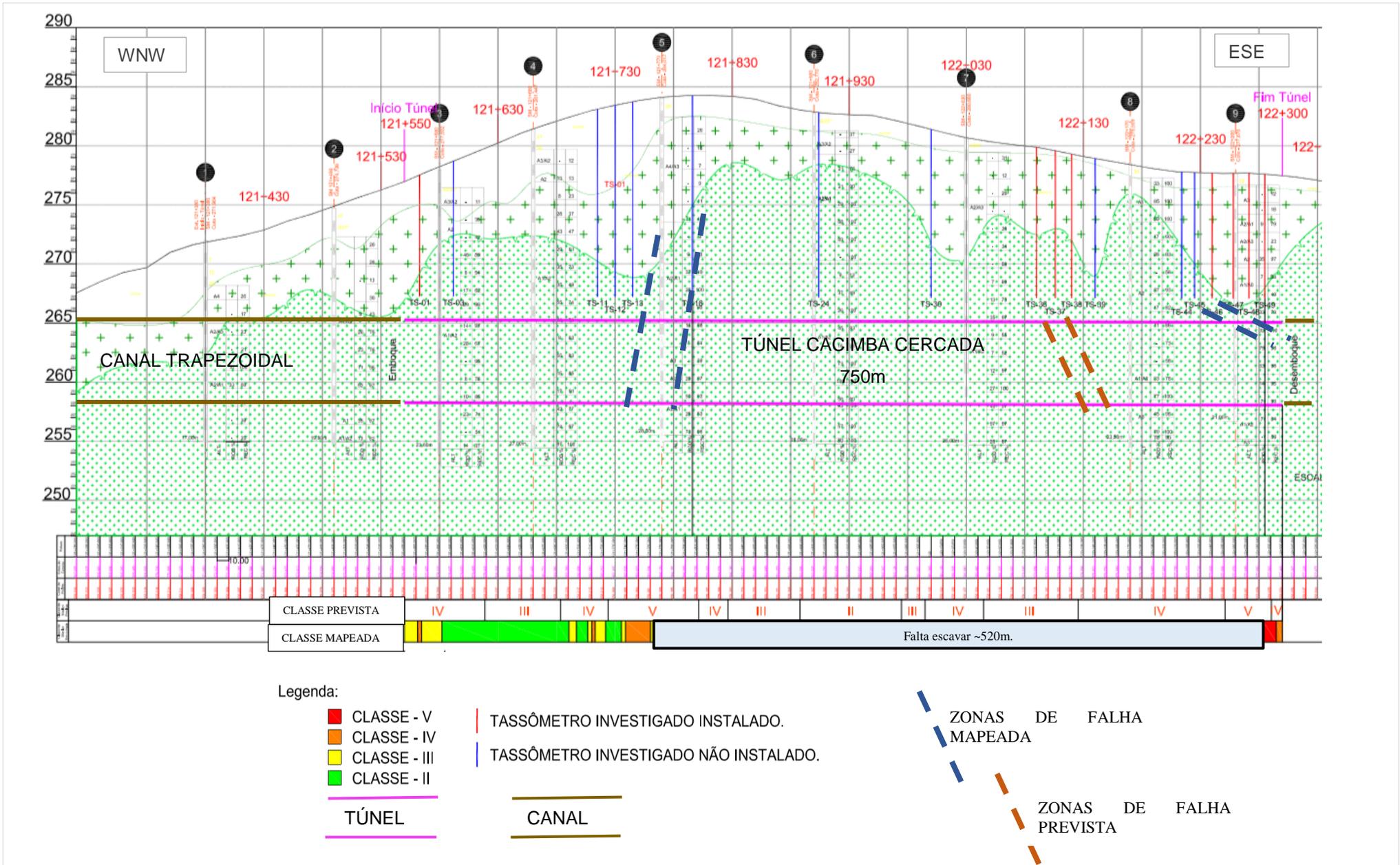


Figura 6.1- Perfil geológico- geotécnico elaborado na fase II da obra, correlacionado com o perfil elaborado na fase I- com as respectivas classes previstas e classes mapeadas ao longo da escavação do túnel, com indicação dos tassômetros investigados e instalados, onde estão relacionados a zonas críticas de baixa qualidade.

Na fase de projeto estava previsto a instalação de 49 seções de instrumentação externa completa ao longo do eixo do túnel, em 2018 durante acompanhamento da perfuração dos tassômetros ao longo do eixo do túnel, em conjunto com a interpretação do perfil longitudinal associado ao resultado dos ensaios geofísicos de eletrorresistividade e de sísmica de refração e da campanha de sondagens da área de estudo, indicando a necessidade de instalar oito tassômetros, conforme relatado no capítulo Monitoramento desta dissertação. Com os dados das perfurações dos tassômetros foi avaliado pela equipe de ATO, a baixa cobertura de rocha de boa qualidade sobre a geratriz do túnel numa extensão da ordem de 50m a partir do Desemboque, nestes trechos identificados como críticos (contato geológico geotécnico- classe IV/V, rocha alterada com comportamento de solo na calota), estima-se tratamento conforme Seção Tipo S5 com uso de cambotas, telas metálicas e proteção com enfilagens metálicas injetadas.

Nos 520 metros que faltam escavar (fase III), está previsto encontrar a zona de falha, classe V/IV, onde foram instalados 3 tassômetros, este panorama resultará, na necessidade de adequação da metodologia construtiva inicialmente prevista em projeto para este trecho. Importante ressaltar a necessidade de uma atenção constante para as variações encontradas na classe do maciço durante o avanço do túnel, assim como o tipo de tratamento adequado a ser implementado ao longo do desenvolvimento do trabalho. As decisões tomadas quanto ao tipo de tratamento aplicado no túnel, em conjunto com o trabalho de equipe desenvolvido de forma harmônica, possibilitaram a segurança da obra em seus múltiplos níveis, como atesta o fato de não ter ocorrido nenhum acidente neste período, bem como foram essenciais para garantir um elevado nível técnico da obra.

Apesar de inicialmente ter se previsto que o túnel teria 1500m de comprimento, os dados geofísicos da sísmica de refração assim como o imageamento geoeletrico, associados aos dados de sondagem, indicaram que as zonas com maior condutividade, cores frias na Figura (4.1.2), relacionadas as áreas mais fraturadas e regiões críticas com baixa cobertura de rocha são, são condicionantes geológico-geotécnicos desfavoráveis, que prejudicariam diretamente o custo tornando-o muito elevado, assim como contribuiria para o alto índice de acidentes na obra. A partir desses dados concluiu-se que a extensão ideal, considerando os diversos aspectos técnicos, ser o trecho de 750m entre as estacas (121+550 a 122+300) o mais adequado para abertura do túnel, como detalhado na Figura (4.1.3).

Túneis próximos da superfície, como o caso da obra em questão, com pouca cobertura, da ordem de 20m, com variação de rocha sã e rocha alterada, requerem um revestimento mais rígido do que túneis à grande profundidade, isto é, com grande cobertura. O presente trabalho buscou facilitar a sequência das atividades de escavação através da interpretação das estruturas geológicas desfavoráveis, a fim de manter o padrão de segurança para a da Fase III. O ciclo de escavação e tratamento do túnel que englobam: a marcação topográfica; a perfuração da frente com jumbo; o carregamento da frente em questão; a detonação; a limpeza; o bate choco mecanizado e manual; o mapeamento pela equipe ATO; aplicação de concreto projetado primário e secundário; a instalação de tela e aplicação dos tirantes ou cambotas; buscou de forma rigorosa seguir as orientações definidas em projeto e ajustadas em campo em comum acordo com ATO, Fiscalização e Produção.

Através do monitoramento dos instrumentos internos e externos instalados na região de influência das escavações, foi possível identificar a estabilidade no maciço ao longo da escavação do túnel. O tratamento definitivo que contempla a aplicação do revestimento secundário, conforme orientações em projeto; foi executado ao longo da escavação do túnel e concluído até as frentes paralisadas, Figura (6.2). Espera-se que esse trabalho possa contribuir para o nível de excelência nas futuras obras da região.



Figura 6.2- Conclusão do tratamento, com aplicação de concreto projetado secundário conforme recomendações para paralisação do túnel, tirada em 15/08/2018.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. et al., 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, nov. 1977, Campina Grande, PB. Atas do. Campina Grande: SBG Núcleo Nordeste, 499 p. (Boletim Núcleo Nordeste da SBG, 6). p. 363-391.
- BARTON, N., 1974. Engineering Classification of rock masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics* 6, 189-236, by Spring- Verlag.
- BARTON, N.R., 1988. Rock mass classification and tunnel reinforcement selection using the Q-system. *Proceeding of the Symposium On Rock Classification Engineering and Purposes*, ASTM Special Technical Publication 984, Philadelphia, pp: 59-88.
- BARTON, N., 1995. Application of the Q-system in design decisions. In *Subsurface space*, ed M. Bergman.
- BIENIAWSKI, Z. T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. New York John Wiley & Sons .
- BIENIAWSKI, Z.T., 1978. Determining rock mass deformability: Experience from case histories. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abst.*, 15: 237-247. DOI: 10.1016/0148-9062(78)90956-7.
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil 1988. 154 p. il.+ 2 mapas. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil. 2009. Mapa Geológico da Folha Arapiraca – SC.24-X-D em escala 1:250.000.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2017. *Geologia e recursos minerais do estado de Alagoas : escala 1:250.000 / Vanildo Almeida Mendes – Recife.*
- GERALDI, José Lúcio, 2011. *O ABC das Escavações de Rocha*. Editora Interciência, Rio de Janeiro.
- GUIMARÃES, I. P., SILVA FILHO, A. F., 1995. An example of in situ granite formation in the northern boundary of the Proterozoic Sergipano fold belt, NE BRAZIL: The Xingó Complex. *Journal of South American Earth Sciences*, Great Britain, v.8, n. 3/4, p.341-354.
- HOEK, E., 2000. *Practical Rock Engineering*. Canadá.

HYDROS/TECNOSOLO, 2002.. Estudo de Sustentabilidade do Projeto Canal do Sertão Alagoano.

IBGE. Mapas Base dos municípios do Estado de Alagoas. Escalas variadas. Bases de dados sobre os municípios alagoanos. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?coduf=27>>. Acessado em 15 de março de 2019.

IMAGEM DE SATÉLITE, GOOGLE EARTH, Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@.49574916,7.45256977,284.32463165a,1888.39379531d,35>>. Acessado em 18 de maio de 2019.

ISRM, 1981. International Society of Rock Mechanics and Rock Engineering.

KOCHEN, R. 1992. Pre-suported soft ground tunnels. 10th Canadian tunnelling Conference, TAC, Toronto, Canada, pp. 27-42.

LUNA, E. B. A., 1997. Geologia e petrografia do complexo granítico de Santana do Ipanema-AL. Recife: UFPE/ FACEPE,. XXp. Relatório de Gradição em Geologia.

MARTINATI, R (2018). Parecer técnico, visita de consultoria ao túnel Cacimba Cercada, NU-08-1302-PT-GEO-004. Senador Rui Palmeira- AL.

MENDES, V.A.; BRITO,M.F.L. 2017. Geologia e Recursos Minerais da Folha Arapiraca (SC.24-X-D), Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

MESQUITA, J. B. 2000. Maciços Rochosos em Projetos Hidroelétricos: Proposta de Classificação Geomecânica. Dissertação de Doutorado , Universidade Estadual Paulista , Instituto de Geociências e Ciências Exatas , Rio Claro.

PEDROSA, V. de A. et al., 2008 A futura oferta de água pelo Canal do Sertão Alagoano. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador.

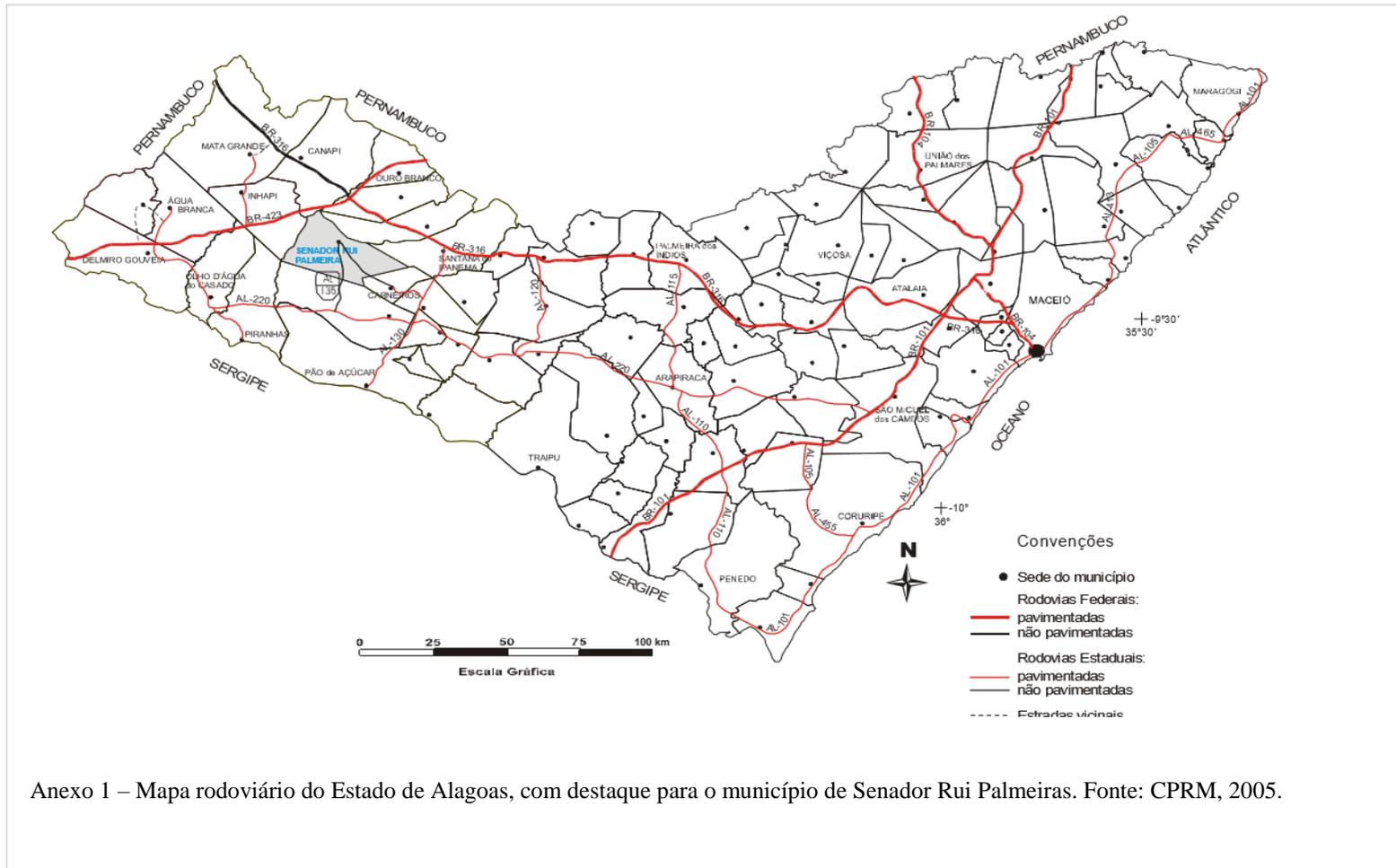
PECK, R.B.,1969. Deep excavation and tunneling in soft ground. Stage of-the – art report, 7 ICSMFE, México City, México, pp 225- 290.

PIHSA, 2005- Mapa. Plano de Recursos Hídricos do Estado de Alagoas. Disponível em: <[http:// perh.semarh.al.gov.br/mapas/egcsa/egcsa.htm](http://perh.semarh.al.gov.br/mapas/egcsa/egcsa.htm) >. Acessado em 21 de maio de 2019.

SIAL, A N., 1984. Litogeoquímica de elementos terras raras na caracterização de granitóides no espaço cachoeirinha, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, out. 1984, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBG. Núcleo Rio de Janeiro, 12v., v.6, p. 2697-2709.

- SIAL, A. N., 1986. Granite types in northeastern Brazil: current knowledge. *Revista Brasileira de Geociência*, São Paulo, v. 16, n.1, p. 52-72, mar.
- SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P., 1995. Assinatura geoquímica dos principais granitóides do Sistema de Dobramentos Sergipano. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 16. 1995, Recife. Atas do. Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1995. 2v. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 14). v. 2 p. 407–409.
- SILVA, P. F. A., 1997. *Concreto Projetado para Túneis*. Editora Pini, SP.
- SILVA FILHO, A. F., GUIMARÃES, I. P.; VAN SCHMUS, W. R., 2002. Crustal evolution of the Pernambuco-Alagoas Complex, Borborema Province, NE Brazil: Nd isotopic data from neoproterozoic Granitoids. *Godwana Research*, v.5, n.2, p.409-422.
- SUASSUNA, J. Semiárido: proposta de convivência com a seca. *Cadernos de Estudos Sociais*, vol. 23, nº 1-2, pp. 135-148, Jan-Dez, 2007.
- TERZAGHI, K., 1946. Rock defects and loads on tunnel supports. In *Rock tunneling with steel support*, Editoria R.V Proctor and T.L White.
- VAN SCHMUS, W.R. et al., 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronolyc studies of the eastern Borborema Province. Ne Brazil. *J. South Amer. Earth Sci.*, v 8, p. 268-288.
- ZANELATO, E A., 2003. *Escavação de Túneis – Métodos Construtivos*. Projeto de Graduação da Universidade Anhembi Morumbi, SP.

ANEXOS



Anexo 1 – Mapa rodoviário do Estado de Alagoas, com destaque para o município de Senador Rui Palmeiras. Fonte: CPRM, 2005.

CONTROLE FAMÍLIA DE FRATURAS- DESEMBOQUE											
N°	DIA	CLASSE	MERGULHO			N°	DIA	CLASSE	MERGULHO		
			MERGULHO	SENTIDO	DO				MERGULHO	SENTIDO	DO
0	21/mar	IV	85	170	IV	7	02/mai	V	62	225	V
			38	300	IV				65	82	V
			60	215	IV				35	55	V
			85	180	IV				56	38	V
			60	215	IV				53	105	V
			62	88	IV				70	95	V
			70	75	IV				62	185	V
1	26/mar	IV	75	105	IV	8	03/mai	V	50	55	V
			65	210	IV				60	190	V
			70	170	IV				60	195	V
2	04/abr	IV	35	120	IV				82	70	V
			70	65	IV				60	150	V
			65	195	IV				9	10/mai	V
			75	170	IV	5	110	V			
35	70	IV	78	140	V						
68	5	IV	60	60	V						
3	06/abr	IV	60	220	IV	35	260	V			
			80	120	IV	75	80	V			
			35	80	IV	40	355	V			
			25	300	IV	10	11/mai	V	10	115	V
			78	270	V				80	160	V
85	110	V	85	80	V						
40	200	V	85	100	V						
55	270	V	78	180	V						
4	23/abr	V	70	130	V	60	150	V			
			65	110	V	70	285	V			
			75	170	V	60	5	V			
			65	120	V	60	220	V			
5	25/abr	V	75	95	V	11	14/mai	V	35	120	V
			55	230	V				45	45	V
			70	75	V				60	135	V
6	28/abr	V	72	130	V	12	17/mai	V	88	120	V
			68	140	V				40	40	V
					V				60	220	V

Anexo 2 – Registro com as principais estruturas do mapeamento no lado Desemboque.

CONTROLE FAMÍLIA DE FRATURAS- EMBOQUE											
Nº	DIA	CLASSE	MERGULHO	SENTIDO MERGULHO	DO	Nº	DIA	CLASSE	MERGULHO	SENTIDO MERGULHO	DO
1	06/abr	III	45	110		7	02/mai	III	45	120	
			85	60					75	340	
			85	330					70	345	
2	17/abr	III	65	170		8	04/mai	III	70	270	
			35	200					70	200	
			70	340					70	175	
			25	110					25	110	
3	23/abr	III	85	260		9	05/mai	IV	75	5	
			70	170					20	110	
			80	255					60	330	
			60	270					78	225	
4	25/abr	III	80	N		10	08/mai	III	60	30	
			80	330					50	360	
			80	270					25	140	
			80	310					80	240	
5	27/abr	III	45	220		11	09/mai	III	75	310	
			68	250					15	115	
			75	260					88	335	
			65	175					70	160	
6	29/abr	III	42	150					80	150	
			80	240					60	320	
			50	150					15	120	
			78	255							

Anexo 3 – Registro com as principais estruturas do mapeamento no lado Emboque.

CONTROLE FAMÍLIA DE FRATURAS- EMBOQUE							MERGULHO	SENTIDO DO MERGULHO	DO	
Nº	DIA	CLASSE	MERGULHO	SENTIDO DO MERGULHO	DO		60	100		
12	10/mai	III	15	118		18	19/mai	II	60	100
			60	165					80	90
			80	170					85	325
			12	120					90	145
			75	185					60	165
13	11/mai	III	45	165		19	21/mai	II	80	260
			85	345					70	80
			80	180					89	135
			45	165					70	140
			82	130					89	135
			65	360					85	335
14	14/mai	III	15	115		20	22/mai	II	70	70
			65	185					80	315
			80	275					80	300
			65	200					85	295
			25	140					80	135
			85	180					85	330
15	15/mai	III	85	330		21	23/mai	II	5	100
			20	120					85	160
			25	135					80	80
			78	185					75	80
			65	185					80	80
16	16/mai	II	65	355		22	24/mai	II	45	300
			60	160					75	170
			45	350					75	100
			45	350					65	10
			65	60					80	80
			5	120					10	20
17	17/mai	II	85	180		23	25/mai	II	60	350
			65	170					15	280
			85	330					80	200
			85	180					78	210
			75	340					20	260
17	17/mai	II	75	270		24	26/mai	II	70	95
			75	270					70	95

Anexo 4 – Registro com as principais estruturas do mapeamento no lado Emboque.

CONTROLE FAMÍLIA DE FRATURAS- EMBOQUE										
N°	DIA	CLAS	MERGULHO	SENTIDO DO MERGULHO		DIA	CLASSE	MERGULHO	SENTIDO DO MERGULHO	
25	28/mai	II	70	345	32	08/jun	II	15	110	
			10	20				75	225	
			60	150				70	60	
			65	330				80	130	
			70	210				80	170	
			80	200				60	110	
26	29/mai	II	80	210	33	11/jun	II	75	67	
			60	195				70	70	
			55	160				85	105	
			75	10				75	67	
			45	80				70	160	
27	30/mai	II	32	110	34	12/jun	II	40	60	
			70	195				70	340	
			60	2				75	170	
			80	200				85	240	
			5	10				50	120	
			55	165				65	145	
28	04/jun	II	80	180	35	13/jun	II	55	130	
			50	150				80	350	
			70	315				85	190	
			25	110				30	140	
			85	330				89	110	
			80	325				30	105	
29	05/jun	II	20	110	36	15/jun	II	20	100	
			80	335				55	340	
			55	155				80	80	
			60	130				75	20	
30	06/jun	II	70	60	37	18/jun	II	20	100	
			80	295				60	90	
			60	155				80	260	
			70	45				85	350	
31	07/jun	II	20	100	38	19/jun	II	85	180	
			10	210				25	65	
			60	70				40	140	
			80	320				30	100	
			45	170				50	200	
			80	200				80	200	

Anexo 5 – Registro com as principais estruturas do mapeamento no lado Emboque.

CONTROLE FAMÍLIA DE FRATURAS- EMBOQUE											
N°	DIA	CLASS	MERGULHO	SENTIDO DO	DO	N°	DIA	CLASSE	MERGULHO	SENTIDO DO	DO
				MERGULHO	MERGULHO					MERGULHO	MERGULHO
39	20/jun	II	70	200		47	03/jul	III	30	110	
			30	100					65	330	
			50	180					15	120	
			80	320					30	30	
40	21/jun	II	40	95		48	05/jul	III	30	180	
			75	180					60	180	
			80	335					40	300	
			40	50					75	350	
41	25/jun	II	25	70		49	09/jul	III	45	180	
			60	210					80	320	
			25	70					75	40	
			88	320					35	30	
42	26/jun	II	25	90		50	10/jul	II	40	300	
			80	330					68	200	
			70	200					80	320	
			40	90					45	180	
43	27/jun	II	30	300		51	11/jul	II	75	350	
			45	210					75	40	
			40	40					35	30	
			75	195					60	90	
44	29/jun	II	30	300		52	12/jul	II	55	190	
			40	110					85	330	
			40	80					45	200	
			75	210					65	40	
45	30/jun	II	30	295		53	13/jul	III	60	195	
			80	190					68	195	
			70	165					85	330	
			35	110					10	120	
46	30/jun	II	30	170					60	190	
			65	60					20	110	
			75	330					60	215	
			70	165					80	230	
			70	70					68	195	
			80	170					15	110	
			50	190							

Anexo 6 – Registro com as principais estruturas do mapeamento no lado Emboque.

CONTROLE FAMÍLIA DE FRATURAS- EMBOQUE										
N°	DIA	CLASSE	MERGULHO	SENTIDO DO MERGULHO	N°	DIA	CLASSE	MERGULHO	SENTIDO DO MERGULHO	
54	16/jul	IV	70	185	60	24/jul	II	48	185	
			88	220				45	75	
			15	60				75	60	
			60	210				75	250	
			20	110				80	120	
			87	110				68	40	
55	17/jul	III	88	220	61	25/jul	II	65	165	
			68	185				25	200	
			15	30				60	200	
			45	45				50	30	
			70	80				65	100	
56	18/jul	III	18	60	62	26/jul	III	80	60	
			85	330				60	200	
			45	30				80	330	
57	19/jul	III	70	210	63	27/jul	IV	70	130	
			60	175				30	160	
			40	160				60	200	
			20	10				85	30	
58	20/jul	II	50	160	63	27/jul	IV	15	120	
			85	100				30	160	
			70	180				25	320	
			40	190				80	210	
			85	80				40	130	
			60	65				20	180	
59	21/jul	II	20	210	63	27/jul	IV	45	70	
			35	70				50	120	
			80	75				85	10	
			60	210				50	250	
			80	70						
			75	140						
			30	230						

Anexo 7 – Registro com as principais estruturas do mapeamento no lado Emboque.

CONTROLE FAMÍLIA DE FRATURAS- EMBOQUE																		
N°	DIA		CLASSE		MERGULHO	SENTIDO DO MERGULHO	N°	DIA		CLASSE		MERGULHO	SENTIDO DO MERGULHO					
64	31/jul		IV		60	200	68	07/ago	IV			45	220					
					20	210						45	25					
					50	60						70	80					
					60	200						69	08/ago	IV			45	200
					70	140											70	80
					85	330											80	320
65	01/8		IV		50	200	70	09/ago	IV			10	100					
					10	100						60	200					
					85	330						70	80					
					40	115						10	100					
					75	80						30	200					
66	02/ago		IV		75	195	71	10/ago	IV			60	185					
					55	90						80	90					
					65	200						85	345					
					40	85						60	195					
					75	80						10	100					
					80	140												
67	03/ago		IV		65	195												
					60	180												
					60	80												
					60	200												
					70	30												

Anexo 8 – Registro com as principais estruturas do mapeamento no lado Emboque.