



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CORRELAÇÃO ENTRE OS MODELOS GEOTÉCNICOS DE CURTO E MÉDIO PRAZO
DA MINA INGÁ, CRIXÁS, GOIÁS**

Andressa Santos Carvalho

MONOGRAFIA nº 285

Ouro Preto, julho de 2018

**CORRELAÇÃO ENTRE OS MODELOS GEOTÉCNICOS DE
CURTO E MÉDIO PRAZO DA MINA INGÁ, CRIXÁS, GOIÁS**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca

MONOGRAFIA

Nº 285

CORRELAÇÃO ENTRE OS MODELOS GEOTÉCNICOS DE CURTO E MÉDIO PRAZO DA MINA INGÁ, CRIXÁS, GOIÁS

Andressa Santos Carvalho

Orientador

Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2018/1.

OURO PRETO

2018

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Andressa Santos Carvalho

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

C331c Carvalho, Andressa Santos.
Correlação entre os modelos geotécnicos de curto e médio prazo da mina
Ingá, Crixás, Goiás [manuscrito] / Andressa Santos Carvalho. - 2018.

xx, 48f.f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas. Departamento de Geologia.

1. Mapeamento geotécnico. 2. Lavra subterrânea. 3. Deformações e tensões. I.
Sobreira, Frederico Garcia. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.13

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Correlação entre os modelos geotécnicos de curto e médio prazo da mina Ingá, Crixás, Goiás

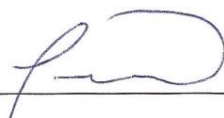
AUTORA: ANDRESSA SANTOS CARVALHO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira

Aprovada em: 13 de julho de 2018

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira



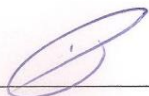
DEAMB/UFOP

Profa Dra Milene Sabino Lana



DEMIN/UFOP

Dr. Pedro Manuel Alameda Hernández



DEMIN/UFOP

Ouro Preto, 13/07/2018

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, Sandro e Lucimar, por fazerem acontecer e a toda a família pelo apoio e orações.

À AngloGold Ashanti Mineração Serra Grande pela oportunidade, especialmente ao Gerente Geral Diogo Costa, ao Gerente de Geologia Marcelo Campos, à equipe de Mecânica de Rochas Gerson Ribeiro, Gustavo Batista, Jairo Silva e Thaisa Souza pelo apoio e contribuições valiosas na realização desta pesquisa. Aos demais amigos e colegas de trabalho pelo apoio e amizade durante o período de estágio em Crixás.

Ao professor Dr. Frederico Garcia Sobreira pela orientação, ensinamentos, paciência e colaboração.

À Universidade Federal de Ouro Preto, à gloriosa Escola de Minas e ao Departamento de Geologia pelo ensino público de qualidade oferecido.

Aos amigos de Ouro Preto, especialmente aos amigos da Geologia, à Geoconsultoria Jr. e à República Drosófila pelos anos de aprendizado, amizades, rocks e crescimento pessoal.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	ix
SUMÁRIO	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE QUADROS	xvi
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xx
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4 JUSTIFICATIVA.....	3
1.5 METODOLOGIA	3
1.1.1 Revisão Bibliográfica	3
1.1.2 Descrição Geotécnica de Testemunhos de Sondagem	4
1.1.3 Mapeamento Geotécnico de Galerias	6
1.1.4 Análise dos Resultados.....	7
2 CONEXTO GEOLÓGICO	9
2.1 SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL	9
2.2 GEOLOGIA LOCAL	11
2.2.1 Formação Córrego Alagadinho	12
2.2.2 Formação Rio Vermelho	12
2.2.3 Formação Ribeirão das Antas.....	13
2.2.4 Evolução Deformacional do <i>Greenstone Belt</i> de Crixás.....	13
2.2.5 Geologia do Corpo Ingá	14
3 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS.....	17
3.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ROCHA (RQD).....	17
3.2 CONDIÇÕES DAS DESCONTINUIDADES	19
3.3 CLASSIFICAÇÃO RMR.....	20
3.3.1 Resistência à Compressão Uniaxial.....	22
3.3.2 Orientação das descontinuidades.....	22
3.3.3 Classes de Maciços.....	23
3.4 SISTEMA Q.....	23

3.4.1	Número de famílias de descontinuidades (J_n)	25
3.4.2	Índice de Rugosidade das Descontinuidades (J_r).....	25
3.4.3	Índice de alteração das descontinuidades (J_a).....	26
3.4.4	Fator de redução da resistência pela presença de água das descontinuidades (J_w) .	28
3.4.5	Influência do Campo de Tensões do Maciço ao Redor da Cavidade (SRF).....	28
3.4.6	Índice de Qualidade de Rocha Modificado (Q')	30
3.5	TENSÕES	30
3.5.1	<i>Disking</i>	32
4	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO IN SITU	33
4.6	MAPEAMENTO DE DOMÍNIOS	33
4.7	MAPEAMENTO DE JANELA	34
4.7.1	Espaçamento	37
4.7.2	Número de famílias de fraturas	37
4.7.3	Rugosidade	37
4.7.4	Preenchimento.....	37
4.7.5	Persistência.....	37
4.8	MAPEAMENTO DE ESTRUTURAS	38
5	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM.....	39
5.1	SONDAGEM.....	39
5.3	DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DO TESTEMUNHO IGA43	40
5.4	DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DO TESTEMUNHO IGA46	41
5.5	DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DO TESTEMUNHO IGA57	42
5.6	DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CORRELAÇÃO	42
6	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da área em estudo.	2
Figura 1.2 - Acesso a Crixás, a partir de Goiânia.....	2
Figura 1.3 – Tabela utilizada na descrição geotécnica de testemunhos de sondagem.	5
Figura 1.4 - Tabela utilizada em campo para preenchimento dos dados de mapeamento de janela.....	6
Figura 2.1 – Mapa Geológico da Faixa Brasília.....	10
Figura 2.2 - Terreno arqueano-paleoproterozoico de Goiás no qual se insere o <i>Greenstone Belt</i> de Crixás	11
Figura 2.3 - a) Mapa Geológico do Greenstone Belt de Crixás. b) Coluna estratigráfica do Grupo Crixás.	12
Figura 3.1 - Procedimento para calcular o RQD.	18
Figura 3.2 - Características presentes nas discontinuidades do maciço rochoso.....	19
Figura 3.3 - Exemplos de superfícies de discontinuidades.	26
Figura 3.4 - Principais componentes da tensão atuantes.	31
Figura 3.5 – Redistribuição das tensões ao redor de um túnel escavado. As barras longas representam a tensão principal (σ_1) e as barras curtas representam a tensão mínima (σ_3).....	31
Figura 3.6 - Exemplo da ocorrência de <i>disking</i> em testemunho de sondagem	32
Figura 4.1 - Mapa de Domínios da Galeria 689S.....	34
Figura 4.2 - Mapa de pontos levantados no mapeamento de janela.	35
Figura 4.3 – Estereograma exibindo os dados estruturais obtidos para a) Foliação (S_n); b) Acamamento (S_0) e c) Fraturas aleatórias (Fr).	36
Figura 4.4 - Estereograma exibindo os dados de mapeamento obtido para as macro fraturas.	38
Figura 5.1 - Localização esquemática dos testemunhos de sondagem em relação à galeria 689S.	40
Figura 5.2 - Fotografia do testemunho IGA43.	41
Figura 5.3 - Fotografia do testemunho IGA46.	41
Figura 5.4 - Fotografia do testemunho IGA57.	42
Figura 5.5 - Gráfico comparativo dos resultados de Q' obtidos nos testemunhos de sondagem e no mapeamento.	43

Figura 5.6 - Gráfico comparativo dos resultados de RMR obtidos nos testemunhos de sondagem e no mapeamento.	43
Figura 5.7 - Comparação entre os valores de RQD obtidos antes e após a escavação.	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Valores obtidos em cada ponto do mapeamento para as classificações geomecânicas.....	36
Tabela 4.2 - Medidas estruturais das macro fraturas.	38
Tabela 5.1 - Fatores de Correlação obtidos na comparação entre a descrição de testemunhos e o mapeamento <i>in situ</i>	44
Tabela 5.2 - Fatores de correlação obtidos através do RQD da descrição de testemunhos e do mapeamento.	45

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Qualidade do maciço a partir do RQD.	18
Quadro 3.2 - Guia para classificação das descontinuidades.	20
Quadro 3.3 - Parâmetros e pontuações da classificação RMR	21
Quadro 3.4 - Grau de Resistência de Maciços Rochosos.	22
Quadro 3.5 - Efeitos da orientação das descontinuidades.	23
Quadro 3.6 - Classes de Maciços - RMR	23
Quadro 3.7 - Classificação do maciço rochoso de acordo com Q	24
Quadro 3.8 - Valores de J_n (modificado de Barton <i>et al.</i> 1974).....	25
Quadro 3.9 - Índice de Rugosidade das Descontinuidades (J_r)	26
Quadro 3.10 - Índice de alteração das descontinuidades (J_a).....	27
Quadro 3.11 - Fator de redução da resistência pela presença de água das descontinuidades (J_w).....	28
Quadro 3.12 - Fator de redução da resistência pela tensão (SRF).....	29

Resumo

Este trabalho tem por objetivo determinar um fator de correlação entre os modelos geotécnicos de curto e médio prazo da mina Ingá, uma das minas de ouro subterrâneas da Mineração Serra Grande em Crixás-GO, unidade pertencente à mineradora AngloGold Ashanti. A avaliação da qualidade do maciço consiste na descrição geotécnica de testemunhos de sondagem, realizada previamente à escavação (médio prazo) e o mapeamento geotécnico in situ, realizado após a abertura da galeria (curto prazo). Para determinar a qualidade de um maciço rochoso foram utilizadas classificações relevantes na área de mecânica das rochas, como o Sistema Q (Rock Tunnelling Quality Index) e a Classificação RMR (Rock Mass Rating). As características geotécnicas do maciço observadas anteriormente à escavação foram diferentes daquelas observadas após a abertura das galerias. Dessa forma, foi realizado um estudo com a finalidade de obter um fator percentual que correlaciona os resultados de caracterização do maciço, comparando-se a qualidade do maciço observada no mesmo local, antes da escavação e depois da abertura da galeria subterrânea. Foi realizada a descrição geotécnica de três testemunhos de sondagem e o mapeamento geotécnico da galeria 689S. Nos locais em que os testemunhos interceptam ou passam próximos à galeria os resultados das classificações geomecânicas foram comparados e calculou-se que há uma degradação do maciço da ordem de 15%. Verificou-se que a escavação ocasiona em uma perda na qualidade do maciço, causando um aumento na quantidade de quebras, o que confere um valor menor ao RQD e consequentemente às classificações Q e RMR. Essa possível degradação do maciço pode estar relacionada à redistribuição da tensão em volta da escavação e à detonação por desmonte de rochas.

Palavras chave: classificação de maciço, fator de correlação, mapeamento geotécnico, redistribuição da tensão, mineração subterrânea.

Abstract

This project focuses on the determination of the correlation factor between the short and mid-term geotechnical models of Ingá mine, one of the underground mines of Mineração Serra Grande in Crixás – GO, belonging to AngloGold Ashanti. The evaluation of the rock mass quality consists in the geotechnical core logging done previously the excavation (mid-term) and the geotechnical mapping in situ realized after the gallery opening (short term). To determine the rock mass quality relevant classifications in the rock mechanics area were used, like the Q-System (Rock Tunneling Quality Index) and the RMR (Rock Mass Rating). The rock mass geotechnical characteristics observed previously the excavation are different from those observed after the opening of the gallery. In this way, it was accomplished a research for the purpose of obtaining a percentage which correlates the results of the rock mass characterizations, comparing the rock mass quality observed in the same spot, before and after the opening of the underground gallery. It was realized three core logging and the mapping of the gallery 689 South. In the points that the drill holes intercepted or were close to the gallery the results were compared and a rock mass degradation was calculated of approximately 15%. It was verified that the excavation causes a loss of the rock mass quality, causing an increase in the number of breaks, which gives a lower value to RQD and consequently to the classifications Q and RMR. This possible degradation of the rock mass can be associated to the redistribution of stress around the excavation and blasting.

Key words: rock mass classification, correlation factor, geotechnical mapping, stress redistribution, underground mining.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A extração mineral através de métodos de mineração subterrânea envolve o desenvolvimento de diferentes tipos de aberturas. No processo de abertura de galerias subterrâneas, propriedades das rochas e do meio influenciam na estabilidade do maciço. São complexidades inerentes às escavações em maciços rochosos as fraturas, o campo de tensões, a presença de água subterrânea, a alteração, entre outras.

Antes de realizar uma escavação é essencial caracterizar e classificar o maciço rochoso a fim de avaliar sua qualidade para que seja feito um dimensionamento correto das galerias e para que as contenções sejam devidamente instaladas. Para avaliar a qualidade do maciço rochoso podem ser utilizadas classificações relevantes na área de mecânica das rochas, como o sistema Q (*Rock Tunelling Quality Index*) de Barton (1974) e a classificação RMR (*Rock Mass Rating*) de Bieniawski (1973, 1989).

A avaliação de um maciço consiste na descrição geotécnica de testemunhos de sondagem, geralmente realizada previamente à escavação e/ou o mapeamento geotécnico *in situ*, realizado após a abertura da galeria.

É notável que as características geotécnicas do maciço observadas anteriormente à escavação são diferentes daquelas observadas após a abertura das galerias. Essa possível degradação do maciço pode ser relacionada à redistribuição da tensão em volta da escavação. Além disso, a detonação por desmonte de rochas também pode ser um fator que contribui para a diminuição da qualidade do maciço.

Ingá é uma das minas subterrâneas da Mineração Serra Grande, unidade pertencente à mineradora sul-africana AngloGold Ashanti, uma das maiores produtoras de ouro do mundo. Localizado a 700 metros de profundidade, o depósito aurífero é composto de 32 corpos de minério na zona superior e 15 corpos na zona inferior.

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso na mina Ingá com a finalidade de obter um fator percentual que correlacione os resultados de caracterização do maciço, comparando-se a qualidade do maciço observada na mesma litologia, antes da escavação (descrição de testemunhos) e depois da abertura da galeria subterrânea (mapeamento *in loco*).

1.2 LOCALIZAÇÃO

A mina em estudo localiza-se a 5 km do município de Crixás, no norte do estado de Goiás, que fica a 340 km de Goiânia e a 350 km de Brasília. O acesso mais rápido a partir de Goiânia é pelas rodovias GO-080, BR-153, GO-336 e GO-154 até GO-347 em Crixás.

O acesso a unidade Serra Grande da AngloGold Ashanti no município de Crixás se dá pela rodovia GO-336, na altura do km 97. O acesso à mina em estudo é através da rampa da Mina III. A localização e o acesso à área de estudo são exibidos na Figura 1.1 e Figura 1.2, respectivamente.

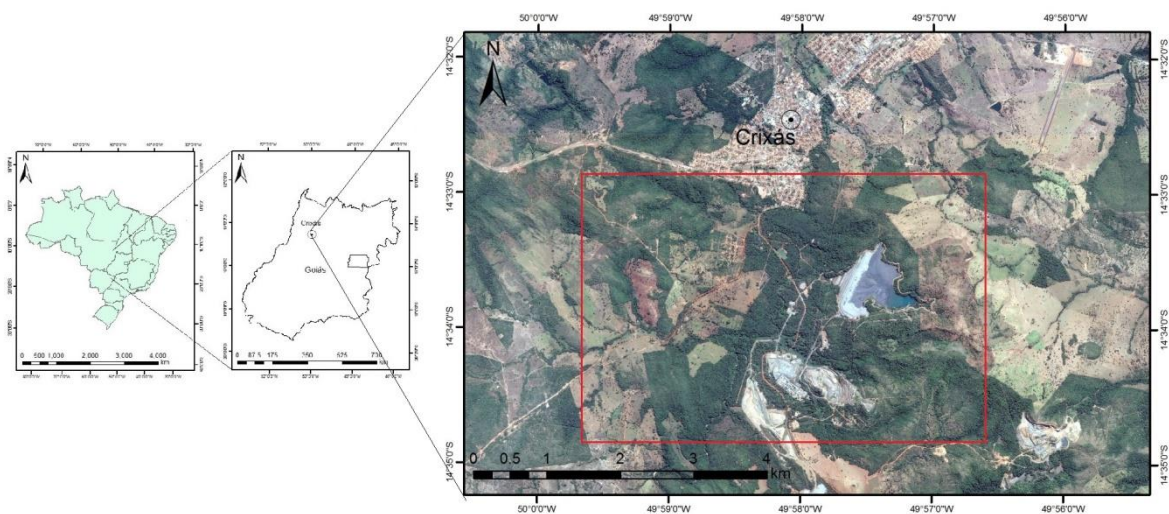


Figura 1.1 - Localização da área em estudo.

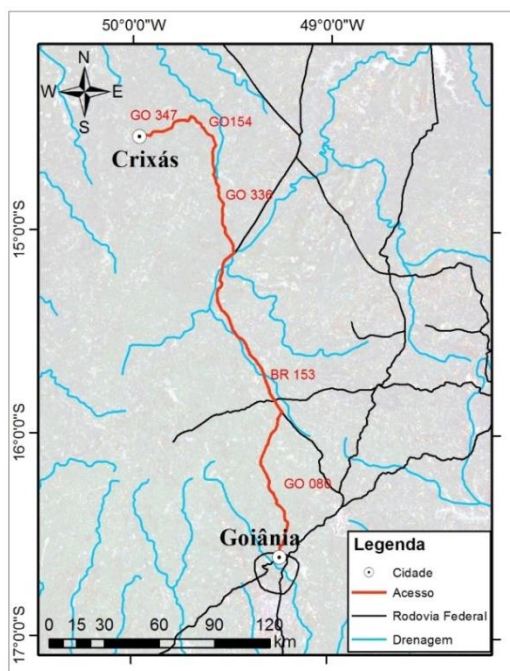


Figura 1.2 - Acesso a Crixás, a partir de Goiânia.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é a obtenção de um fator de correlação para as litologias observadas, comparando os resultados de classificação do maciço rochoso obtidos no sistema Q (*Tunelling Quality Index*) e na classificação RMR (*Rock Mass Rating*) antes e após a escavação.

Além disso, tem-se como objetivos secundários analisar a qualidade do maciço rochoso a partir da descrição geotécnica de testemunhos de sondagem e da realização do mapeamento geotécnico.

1.4 JUSTIFICATIVA

Ao empregar um modelo geotécnico é possível sobrepor informações, tais como aquelas obtidas em testemunhos de sondagem e as obtidas no mapeamento geotécnico de galerias. Hoje, na mineração Serra Grande, ao realizar esta sobreposição encontra-se uma divergência de informações, pois os valores de Q e RMR obtidos nos testemunhos de sondagem são diferentes daqueles encontrados no mapeamento geotécnico para uma mesma região do maciço.

O trabalho justifica-se pela necessidade de correlacionar os valores obtidos a médio e longo prazo em ambos os métodos de classificação, a fim de avaliar a degradação do maciço rochoso após a abertura das galerias subterrâneas e poder prever o seu comportamento após a detonação.

1.5 METODOLOGIA

O estudo baseia-se na classificação geomecânica do maciço rochoso da mina Ingá, visando realizar uma comparação entre os resultados obtidos antes e após a escavação. Para tal, a metodologia utilizada segmenta o trabalho em quatro fases de estudo: pesquisa bibliográfica e consulta à base de dados, classificação geotécnica de testemunhos de sondagem, mapeamento geotécnico das galerias e análise dos resultados.

1.1.1 Revisão Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica constitui-se do estudo de metodologias e trabalhos semelhantes anteriormente realizados. Como a análise de qualidade de maciços rochosos é um tópico fundamental em escavações subterrâneas, é possível encontrar diversas informações que dão as diretrizes desta pesquisa. Para realizar esta fase foi necessário um mês de trabalho.

A fase de revisão bibliográfica envolveu a pesquisa de trabalhos análogos previamente realizados e uma revisão da literatura técnica, a fim de englobar conceitos de geologia de engenharia, com enfoque na caracterização e classificação de maciços rochosos. Como base principal tem-se as classificações de Barton (1974) e Bieniawski (1973, 1989).

1.1.2 Descrição Geotécnica de Testemunhos de Sondagem

Esta etapa foi realizada no galpão de testemunhos de sondagem da Gerência de Geologia (GGE) da Mineração Serra Grande (MSG), onde foram descritos três testemunhos de sondagem rotativa da mina Ingá, utilizando critérios tátil-visuais. Para tal foram utilizadas trena e ponteira de tungstênio (“caneta risca rocha”) e o tempo total gasto foi de uma hora em média para cada testemunho.

Para descrição dos testemunhos de sondagem é utilizada uma tabela padrão (Figura 1.3) com informações do nome do testemunho, nome do geotécnico responsável e data. Antes de iniciar a descrição é definido um intervalo geotécnico baseado em uma porção do testemunho com características que podem ser individualizadas através da análise visual, tais como contato litológico, grau de faturamento, tipo de descontinuidade predominante (foliação ou fratura), resistência da rocha, alteração e espaçamento entre as descontinuidades.

Após definido o intervalo geotécnico são observados os parâmetros: litologia, grau de resistência (R), intemperismo (W), identificação de quebras mecânicas, número de descontinuidades, determinação das famílias de descontinuidades, determinação da rugosidade entre as paredes das descontinuidades, se há preenchimento entre as descontinuidades, condições de alteração das descontinuidades e presença de *disking* ou empastilhamento, que são quebras regulares e pouco espaçadas.

[illegible]

Figura 1.3 – Tabela utilizada na descrição geotécnica de testemunhos de sondagem.

1.1.4 Análise dos Resultados

A última etapa do trabalho e com maior tempo gasto foi a análise dos resultados e redação desta monografia, que consistiu em comparar os valores obtidos para Q' e RMR em um mesmo ponto da galeria, através da descrição de testemunho e mapeamento *in situ*. Posteriormente foi realizado um cálculo para obtenção do fator de correlação e consequentemente do grau de degradação do maciço após a abertura da galeria.

A metodologia utilizada para cálculo do fator de correlação é semelhante àquela utilizada por Padula (2016), que realizou um estudo semelhante na mina Cuiabá, em Sabará – MG, onde avaliou o dano causado ao maciço após a abertura de uma galeria, devido à tensão e ao desmonte por detonação. O autor calculou um fator de correlação para cada litologia mapeada, comparando a classificação do maciço realizada previamente e após a escavação.

Para um mesmo ponto do testemunho de sondagem e do mapeamento de janela foi calculado um fator percentual de correlação, para cada sistema de classificação, utilizando as Equações (1.1) e (1.2):

$$FC_{Q'}(\%) = \frac{\text{Média } Q' (\text{Descrição Testemunho}) - \text{Média } Q' (\text{Mapeamento in situ})}{\text{Média } Q' (\text{Mapeamento in situ})} \quad (1.1)$$

$$FC_{RMR}(\%) = \frac{\text{Média RMR (Descrição Testemunho)} - \text{Média RMR (Mapeamento in situ)}}{\text{Média RMR (Mapeamento in situ)}} \quad (1.2)$$

CAPÍTULO 2

CONEXTO GEOLÓGICO

Os depósitos de ouro da MSG estão inseridos em uma típica sequência metavulcanossedimentar denominada *Greenstone Belt* de Crixás. As rochas desta sequência pertencem ao Grupo Crixás e os corpos auríferos estão associados às rochas metassedimentares e metavulcânicas das formações Ribeirão das Antas e Rio Vermelho, respectivamente. Ao redor do *Greenstone Belt* de Crixás estão terrenos granito-gnáissicos, os complexos Anta e Caiamar e as rochas sedimentares do Grupo Santa Terezinha.

2.1 SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL

A plataforma sul-americana é compartimentada em treze províncias geológico-estruturais, baseadas na natureza do embasamento cristalino e da cobertura sedimentar, propostas para o Brasil por Almeida *et al.* (1977,1981) e modificadas por Hasui (2012). A área de estudo situa-se na parte central da Província Tocantins.

A Província Tocantins é uma unidade litotectônica neoproterozóica, localizada entre os Crátons São Francisco e Amazônico, desenvolvida durante a Orogênese Brasileira ao longo da aglutinação do supercontinente Gondwana. Esta província tem as rochas mais antigas no centro (idades maiores que 2,6 Ga), sequências metamórficas nas bordas leste e oeste e quase nenhum depósito fanerozóico (Almeida *et al.* 1981).

A principal unidade litodêmica desta província é a Faixa de Dobramentos Brasília (Figura 2.1), que é composta de três unidades: o Arco Magmático de Goiás, de idade neoproterozóica, o Maciço de Goiás, arqueano a paleoproterozóico e o Cinturão de Dobras e Empurões, paleoproterozóico.

O Maciço de Goiás é considerado um bloco alóctone composto de rochas de idade arqueana, que formam sequências *greenstone belts* e terrenos granito-gnáissicos mais antigos. Estes blocos resultam de processos de rifteamento acompanhados de magmatismo de natureza komatiítica a toleítica (Lacerda Filho *et al.* 1999).

O *Greenstone Belt* de Crixás está inserido no bloco arqueano de Goiás (Figura 2.2), localizado entre os blocos Anta e Caiamar e constitui uma calha alongada na direção norte-sul (Danni 1988). As rochas que compõem este *greenstone belt* foram definidas por Sabóia e Sabóia & Teixeira (1979, 1980, 1981) como Formação Córrego do Alagadinho, Formação Rio Vermelho e Formação Ribeirão das Antas (Danni 1988) e reunidas por Jost & Oliveira (1991) no Grupo Crixás.

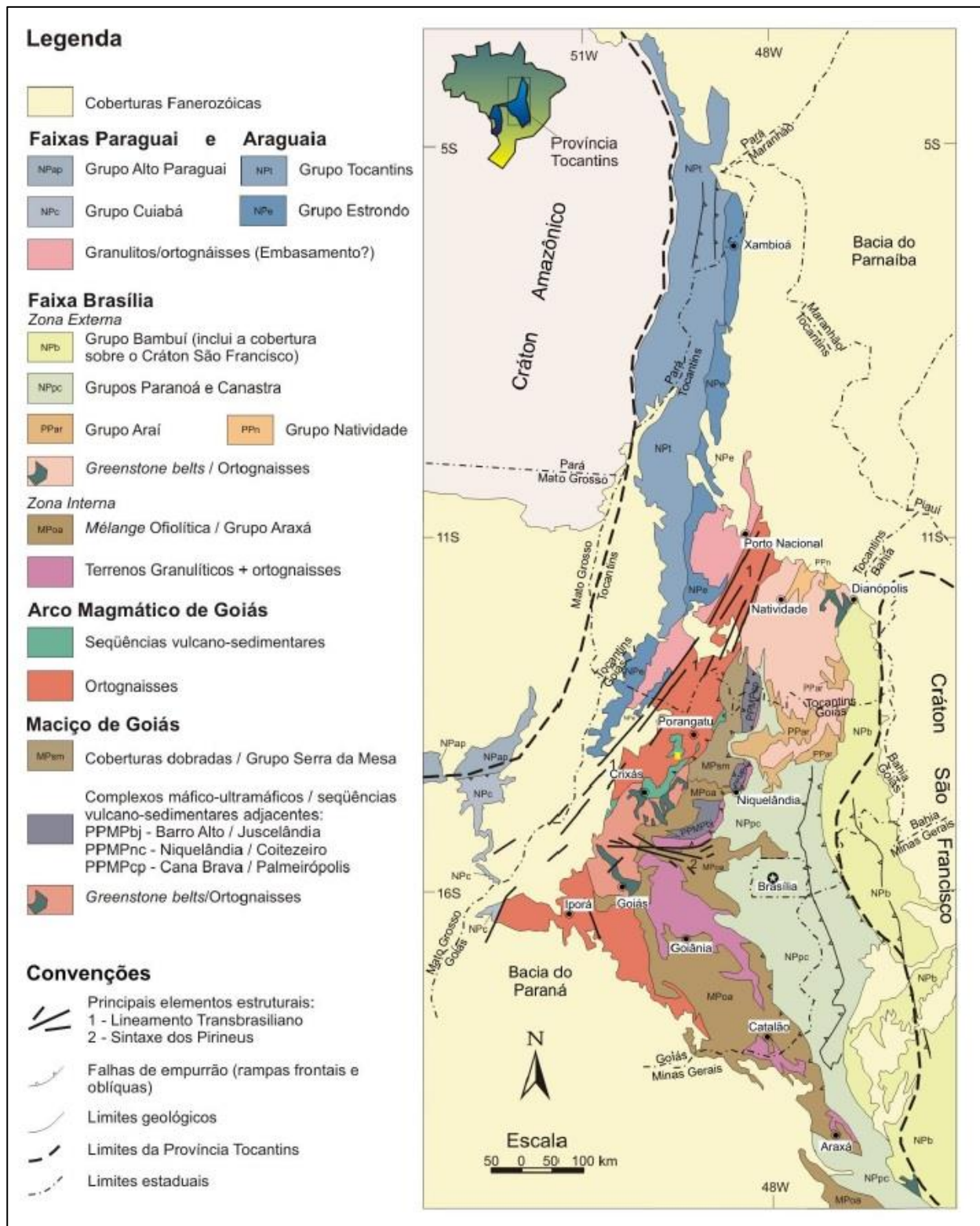


Figura 2.1 – Mapa Geológico da Faixa Brasília (Pimentel et al. 2004)

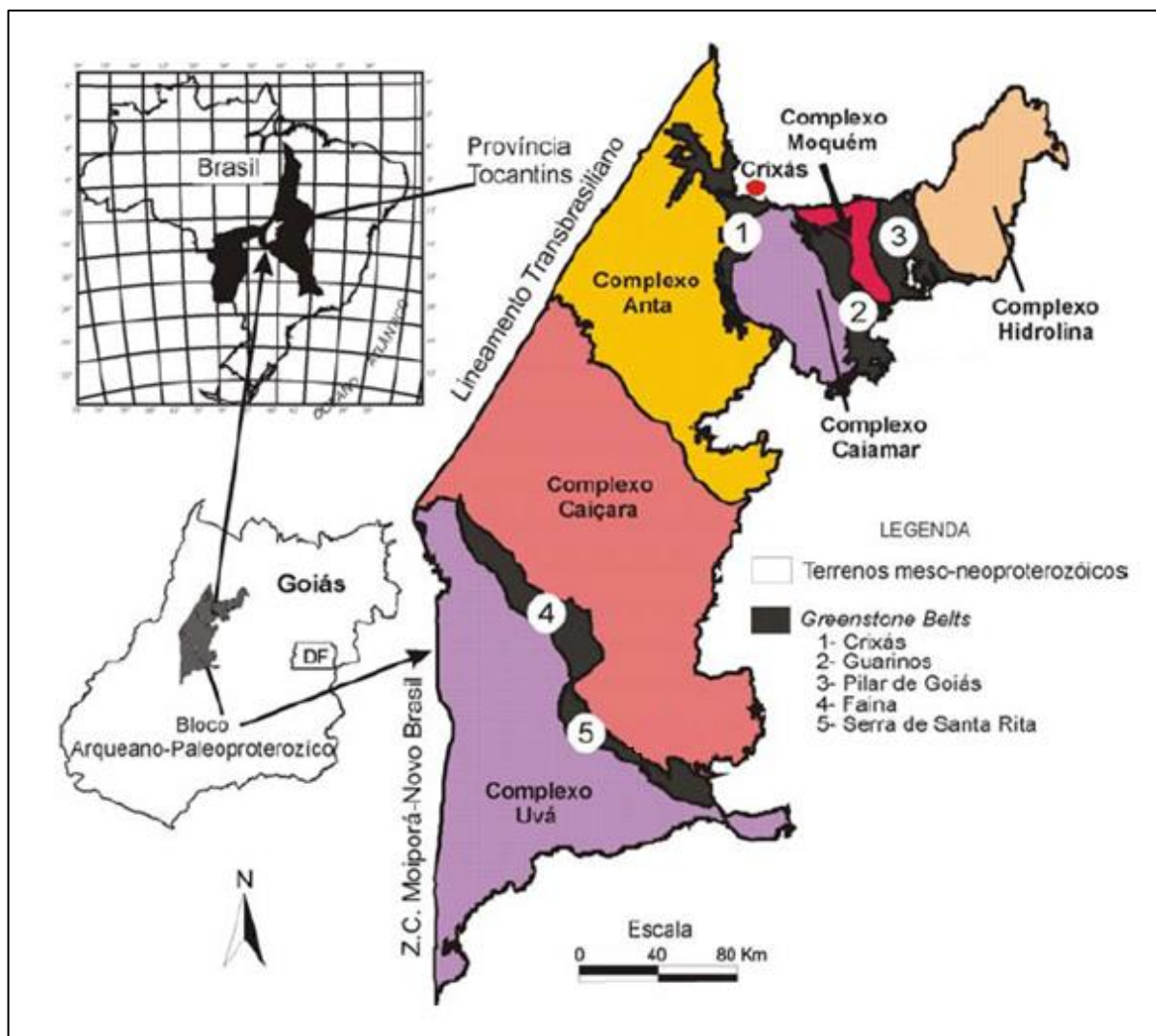


Figura 2.2 - Terreno arqueano-paleoproterozoico de Goiás no qual se insere o *Greenstone Belt* de Crixás (Modificado de Pimentel *et al.* 2000).

2.2 GEOLOGIA LOCAL

A região de Crixás compreende três *greenstone belts* paralelos denominados, de leste para oeste, Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás. O *greenstone belt* de Crixás é parte de um bloco arqueano aflorante na porção central da Faixa Brasília e consiste de uma sequência vulcanossedimentar regionalmente metamorfizada, que vai de komatiitos e basaltos na base, seguidos de xistos carbonáticos e grauvacas.

As paragêneses minerais sugerem fácies metamórfica xisto verde médio a anfibolito inferior para as rochas metavulcânicas e fácies xisto verde inferior a médio para as rochas metassedimentares (Jost *et al.* 2010).

O início do *Greenstone Belt* de Crixás se dá com derrames komatiíticos seguidos de derrames toleíticos, de idade Sm-Nd de 3,00 +/- 0,07 Ga (Fortes *et al.* 2003). A sobrecarga gerada por estes derrames possivelmente permitiu a origem de uma bacia flexural, ocasionando a deposição de sedimentos pelíticos e químicos. As rochas desta sequência são pertencentes ao Grupo Crixás, que reúne as formações Córrego Alagadinho, Rio Vermelho e Ribeirão das Antas (Sabóia 1979). O mapa geológico simplificado do *Greenstone Belt* de Crixás e a coluna estratigráfica do Grupo Crixás são representados na Figura 2.3.

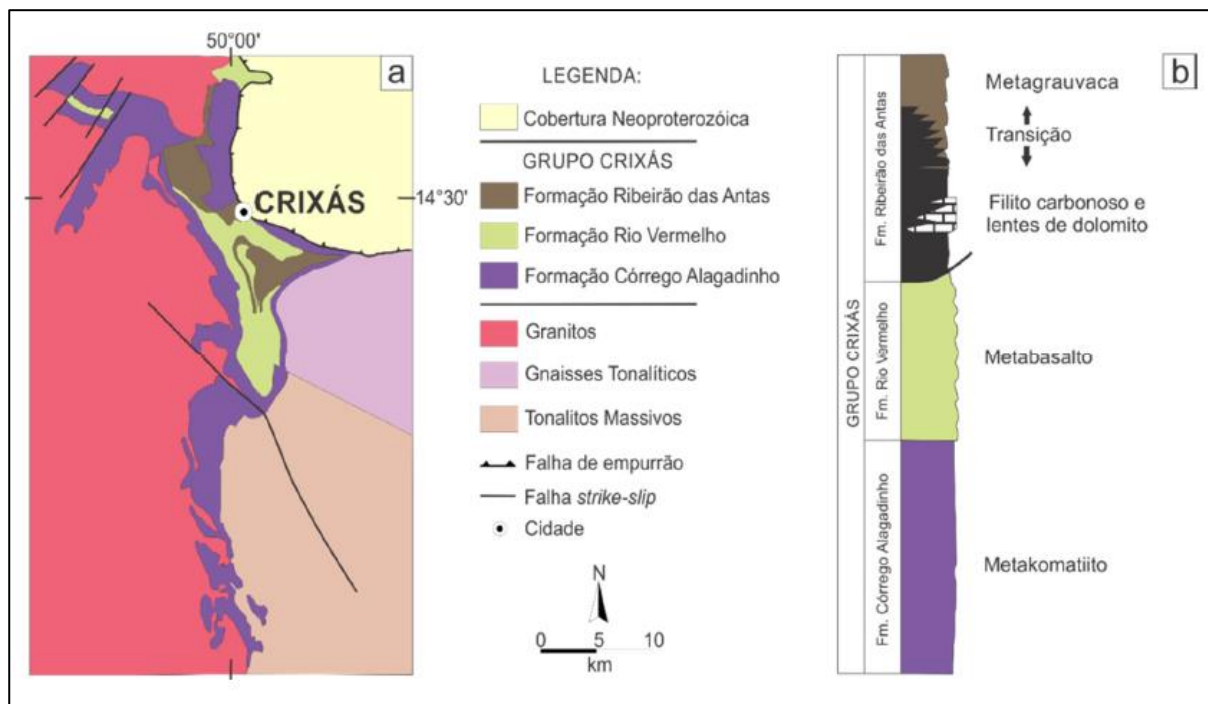


Figura 2.3 - a) Mapa Geológico do Greenstone Belt de Crixás (modificado de Jost & Fortes 2001 in Castoldi 2015). b) Coluna estratigráfica do Grupo Crixás (modificado de Jost *et al.* 2010 in Castoldi 2015).

2.2.1 Formação Córrego Alagadinho

A Formação Córrego Alagadinho é constituída de aproximadamente 500 metros de espessura de komatiitos intercalados com formação ferrífera (Jost & Oliveira 1991). De acordo com Jost *et al.* (2010) os metakomatiitos ocorrem localmente com texturas cumuláticas, spinifex, brechas de fluxo e disjunções poliédricas. Seus protólitos tinham composição peridotítica e piroxenítica e ocorrem como xistos com proporções variadas de serpentina, talco, clorita, carbonato, actinolita, magnetita e cromita.

2.2.2 Formação Rio Vermelho

A Formação Rio Vermelho, com espessura de 350m, é composta de metabasaltos intercalados com formações ferríferas (Jost & Oliveira 1991). Jost *et al.* (2010) afirmam que os protólitos da Formação Rio Vermelho ocorreram como *sills* e intrusões de diques e metamorfizaram em anfibólio

xistos e anfibólio carbonato xistos, normalmente apresentando granulação fina a muito fina e coloração verde escuro. Essas rochas preservam estruturas primárias como *pillow* lavas, texturas variolítica e amigdaloidal.

2.2.3 Formação Ribeirão das Antas

A Formação Ribeirão das Antas, composta de rochas metassedimentares, ocorre na porção norte do *greenstone* e tem espessura mínima de 400m (Jost *et al.* 2010). Contém um membro inferior caracterizado pela associação de filitos carbonosos com formação manganésífera, um membro intermediário de filitos carbonosos com lentes carbonáticas e um membro no topo com metagrauvas (Jost & Oliveira 1991).

Theodoro (1994) segmentou a Formação Ribeirão das Antas em três membros. O membro inferior, vulcanossedimentar, é composto de filitos carbonosos com fragmentos de rocha vítrea vesicular. O membro intermediário é constituído de mámore com oncóides ou relíquias de estromatólitos e brechas carbonáticas sedimentares, de ambiente de barreiras ou planícies de maré. Já o membro superior, de composição siliciclástica, é formado de metarenitos, metasiltitos e metafolhelos acamadados, com estratificação plano-paralela e cruzada, granodecrescência ascendente e depositados por correntes de turbidez.

2.2.4 Evolução Deformacional do *Greenstone Belt* de Crixás

O *Greenstone Belt* de Crixás trata-se de um terreno polideformado, com seu início no período Arqueano. De acordo com Magalhães (1991) e Queiroz (1995) as rochas supracrustais da região de Crixás foram submetidas a quatro eventos deformacionais (D1, D2, D3 e D4).

Massucatto (2004) determinou a ocorrência de quatro eventos deformacionais no *Greenstone Belt* de Crixás, identificando uma fase distensiva durante sua instalação seguida de três eventos compressoriais, sendo a mineralização aurífera condicionada por estes três últimos.

Ao longo da deposição dos sedimentos ocorreu, concomitantemente, um evento distensivo que possibilitou um maior subsídio de sedimentos grosseiros e adensamento da camada de grauvas. Este evento é evidenciado pela presença de falhas normais, sin-deposicionais, relacionadas a um sistema de falhas lítricas, conferindo geometria semelhante a um *graben*. Este evento distensional possibilitou também um adelgaçamento dos basaltos toleíticos e komatiitos (Massucatto 2004).

A deformação mais antiga, após a instalação do *greenstone*, de caráter compressivo E-W em regime rúptil-dúctil, é responsável pela formação da foliação S1, com mergulho para WSW. De

acordo com Massucatto op. cit. este evento é causador de um sistema “*thrust*”, com geometria semelhante a um duplex. As falhas de empurrão geradas neste sistema possuem direção N-S e mergulho para W. Este sistema *thrust* é característico de uma tectônica epidérmica, ou seja, sem abranger o embasamento. Ao longo deste evento deformacional ocorre o mais importante evento hidrotermal, que ocasiona a entrada de ouro no sistema.

No segundo evento deformacional ocorreu um cavalgamento de norte para sul, da Sequência Santa Terezinha sobre o *Greenstone Belt* de Crixás, o que levou a formação de dobras recumbentes com vergência para SW, mais perceptíveis em metapelitos carbonosos e metagrauvacas. Estes dobramentos são causadores de uma clivagem S2 com mergulho preferencial para W e permitem a remobilização do ouro, o que gera uma concentração paralela ao eixo das dobras F2, coincidente com o *plunge* dos corpos de minério (Massucatto 2004).

Ainda segundo Massucatto (2004), o último evento deformacional, relacionado a uma compressão com direção E-W, é responsável pela formação de uma clivagem de crenulação, designada S3, bem marcada em rochas de granulometria fina e que possui direção N-S. Este evento não está relacionado a nenhuma remobilização do ouro ou mudança na geometria dos corpos de minério.

2.2.5 Geologia do Corpo Ingá

O Corpo Ingá tem orientação azimutal para 300°, é localizado na Formação Ribeirão das Antas e é dividido em duas zonas mineralizadas: Zona Superior e Zona Inferior. Na Zona Superior o minério aurífero encontra-se na forma de lentes de sulfeto maciço alojadas em dolomitos, já na Zona Inferior o minério ocorre associado a um Veio de Quartzo espesso e descontínuo e ao xisto grafitoso adjacente, associado a sulfetos (Castoldi 2015).

As rochas hospedeiras que compõem o depósito, da base para o topo, são denominadas metagrauvaca (MG), quartzo-clorita-sericita-granada xisto (GNCX), veio de quartzo (VQZ), xisto carbonoso (GXN) e dolomito (DOL). Ocorrem diques de biotita-clorita xisto e quartzo-granada-sericita xisto cortando a sequência.

O dolomito (ou mármore), designado aqui como DOL, é composto de carbonato (99%), quartzo, feldspato alcalino, biotita, mica branca, plagioclásio, zircão e esfeno, pirrotita e calcopirita. Possui coloração cinza-claro a branco, de vez em quando esverdeado-amarronzado, intercalado com xisto carbonoso, onde podem ocorrer microvenulações de quartzo. Devido a dobramentos, pode ocorrer abaixo do veio de quartzo (VQZ), com porções carbonosas interdigitadas (Castoldi 2015).

O filito ou xisto carbonoso (GXN) apresenta contato difuso com as rochas adjacentes, é cortado pelo veio de quartzo (VQZ) de maneira abrupta e pode ser cortado pelos diques de biotita-

clorita xisto e quartzo-granada-sericita xisto. Pode apresentar carbonatação, alteração fílica, alteração potássica e silicificação devido aos processos de hidrotermalismo. De acordo com a descrição realizada por Castoldi (2015), a mineralogia deste litotipo é quartzo (10-60%), feldspato alcalino (3-8%), carbonato (0-87%), mica branca (0-32%), material carbonoso (0-30%), granada (0-25%), clorita, apatita, clinozoisita, hornblenda, turmalina, plagioclásio, esfeno, zircão, roscoelita, arsenopirita, pirrotita, ilmenita, calcopirita, rutilo, magnetita e pentlandita.

O veio de quartzo massivo (VQZ) apresenta coloração branca, vítreo a leitoso, corta o GXN próximo ao seu contato inferior com o GNCX. Podem ocorrer braços e é comumente dobrado. Possui inclusões de GXN, bastante dobradas e com alteração de clorita. O VQZ é o principal alvo de minério do Ingá, devido ao alto teor de ouro livre e também englobado em arsenopirita, associado ao GXN adjacente. A descrição microscópica realizada por Castoldi (2015) identificou quartzo (95-97%), clorita, carbonato, material carbonoso, mica branca, biotita e ouro.

A litologia GNCX é composta de quartzo (20-40%), feldspato alcalino (4-8%), mica branca (0-35%), biotita (6-25%), material carbonoso (2-25%), hornblenda (0-23%), granada, clorita, clinozoisita, carbonato, plagioclásio, zircão, pirrotita, ilmenita, calcopirita, arsenopirita, magnetita e pentlandita. A rocha apresenta contato difuso com as rochas adjacentes, é cortada por lentes de dolomito e pode cortar o GXN na forma de lentes. Pode ocorrer carbonatação, silicificação e cloritização como alteração hidrotermal (Castoldi 2015).

De acordo com Castoldi op. cit., a metagrauvaca (MG) possui contato gradual interdigitado com o GNCX. A rocha preserva o acamamento sedimentar, possui coloração cinza escuro com alteração clorítica sericítica e há raras venulações de quartzo e carbonatos.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS

Um maciço rochoso é um conjunto de blocos articulados, formados pelo mesmo material da rocha intacta e pelas descontinuidades. Os maciços são heterogêneos, anisótropos e descontínuos, e são resultantes da evolução geológica a que foram submetidos (ISRM 1978, 1981).

Cada maciço rochoso possui uma natureza distinta, dependente da história geológica, do local e dos atributos do meio que condicionam seu comportamento. Assim, é necessário realizar uma caracterização geológico-geotécnica ou geológico-geomecânica, com o intuito de prever o comportamento do maciço com a abertura de uma escavação.

É importante diferenciar caracterização e classificação do maciço rochoso. Caracterizar significa descrever as características das rochas, enquanto classificar significa agrupá-las e hierarquizá-las de acordo com suas características. Para realizar a caracterização geomecânica são utilizados parâmetros definidos pela ISRM (*International Society of Rock Mechanics*) e autores consagrados (Vieira *et al.* 2015).

Diversos métodos de classificação de maciço são utilizados, sendo os mais relevantes os sistemas RMR (*Rock Mass Rating*) (Bieniawski 1973, 1989), Q (*Tunneling Quality Index*) (Barton 1974) e GSI (*Geological Strength Index*) (Hoek 1995).

Para discorrer sobre os sistemas de classificação citados acima se faz necessário introduzir o sistema RQD (*Rock Quality Designation*), proposto por Deere *et al.* (1963), utilizado nos sistemas Q e RMR.

3.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ROCHA (RQD)

O RQD (*Rock Quality Designation*) corresponde a um índice utilizado para designar a qualidade do maciço rochoso, a partir da avaliação de suas características físicas. Este parâmetro leva em consideração o padrão de fraturas existentes na rocha a partir da recuperação de testemunhos de sondagem.

O RQD é calculado a partir da razão da soma dos comprimentos das partes maiores que 10 cm dos testemunhos de sondagem, pelo comprimento total do testemunho (Equação 3.1). A Figura 3.1 ilustra o procedimento correto para obtenção do índice.

$$RQD = \sum \frac{\text{partes do testemunho} > 10\text{cm}}{\text{comprimento total do testemunho}} \times 100 \quad (3.1)$$

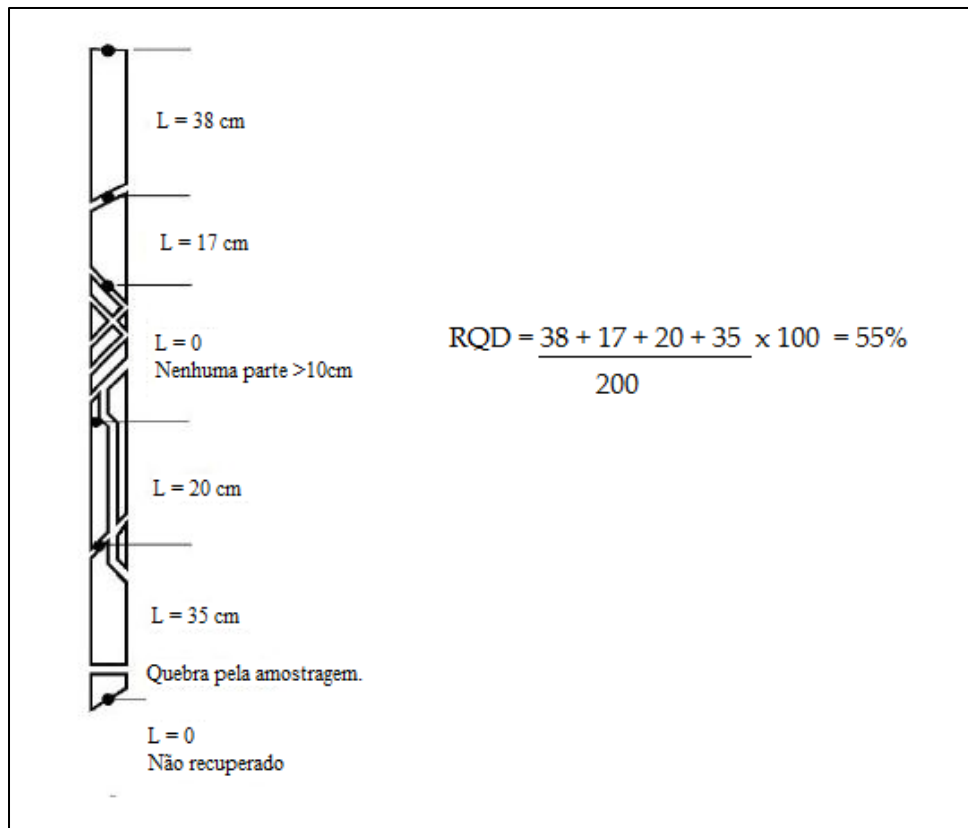


Figura 3.1 - Procedimento para calcular o RQD (modificado de Deere 1988).

O valor de RQD indica a qualidade do maciço de acordo com o Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Qualidade do maciço a partir do RQD.

RQD	Descrição
0 – 25	Muito pobre
25 – 50	Pobre
50 – 75	Regular
75 – 90	Bom
90 – 100	Excelente

Na ausência de testemunhos de sondagem é possível estimar o valor de RQD a partir do número de descontinuidades por unidades de volume, utilizando a Equação (3.2) proposta por Palmstrom em 1974 e modificada em 2005:

$$RQD = 110 - 2,5J_v \quad (3.2)$$

(para $J_v = 4$ a 44)

Onde,

J_v é o contador volumétrico de juntas, dado pela equação (3.3):

$$J_v = \sum (1/S_i) \quad (3.3)$$

Onde,

S_i é o espaçamento médio de cada família de descontinuidades i , em metros.

3.2 CONDIÇÕES DAS DESCONTINUIDADES

Descontinuidade é o termo geral usado para juntas, planos de acamamento, xistosidades, zonas de fraqueza e falhas, ou seja, são feições que interrompem a continuidade da rocha. Um conjunto de descontinuidades com a mesma orientação constitui uma família, que formam um conjunto de famílias que definem um sistema de descontinuidades. As propriedades das descontinuidades que influenciam no comportamento geotécnico do maciço são orientação, espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, resistência das paredes, preenchimento, percolação, número de famílias e tamanho dos blocos (ISRM 1981). A Figura 3.2 exibe esses parâmetros.

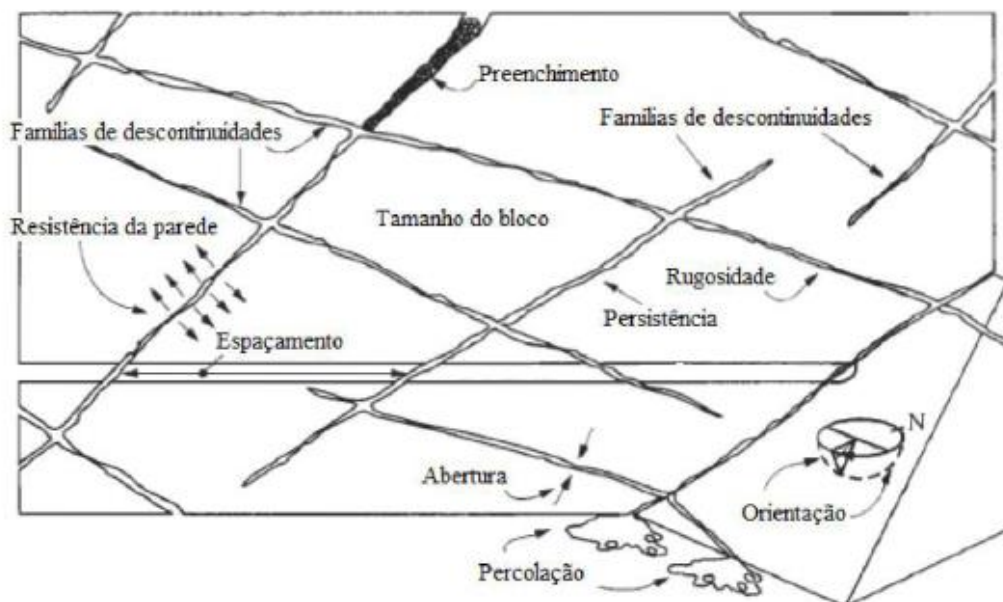


Figura 3.2 - Características presentes nas descontinuidades do maciço rochoso. (ISRM 1981)

No caso de uma descrição mais detalhada, a classificação das descontinuidades deve ser realizada observando-se suas propriedades e somando-se as notas atribuídas a cada um dos cinco parâmetros de acordo com o Quadro 3.2

Quadro 3.2 - Guia para classificação das descontinuidades (Bieniawski 1989).

Persistência	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
	6	4	2	1	0
Separação (Abertura)	Nenhuma	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm
	6	5	4	1	0
Rugosidade	Muito rugosa	Rugosa	Levemente rugosa	Lisa	Lisa polida
	6	5	3	1	0
Preenchimento	Nenhum	Preenchimento duro <5mm	Preenchimento duro >5mm	Preenchimento brando <5mm	Preenchimento brando >5mm
	6	4	2	2	0
Alteração	Não alterado	Levemente alterado	Moderadamente alterado	Altamente alterado	Decomposto
	6	5	3	1	0

3.3 CLASSIFICAÇÃO RMR

A classificação RMR (*Rock Mass Rating*) é um sistema empírico desenvolvido por Bieniawski em 1973 e modificado em 1979 e 1989, baseado em seis parâmetros para classificação do maciço rochoso:

- Resistência à compressão uniaxial
- RQD (*Rock Quality Designation*)
- Espaçamento entre as descontinuidades
- Condições das descontinuidades
- Condições de água
- Orientação das descontinuidades

Apesar dos maciços rochosos serem descontínuos, procura-se aplicar o RMR dividindo o maciço rochoso em porções de comportamento geomecânico homogêneo ou com características geotécnicas semelhantes.

O cálculo de RMR é feito somando-se as notas atribuídas a cada parâmetro e obtendo um resultado que varia entre 0 e 100 e uma nota alta indica uma melhor qualidade do maciço. Podem ser aplicadas também penalizações devido à orientação do plano das descontinuidades em relação ao eixo do túnel. O Quadro 3.3 fornece os valores dos parâmetros de RMR para a classificação do maciço.

Quadro 3.3 - Parâmetros e pontuações da classificação RMR (Bieniaswki 1989).

Parâmetro	Intervalos					
Resistência à compressão da rocha intacta (MPa)	<250	250-100	100-50	50-25	<25	
					25-5	5-1
	15	12	7	4	2	1
RQD (%)	100-90	90-75	75-50	50-25	<25	
	20	17	13	8	3	
Espaçamento (mm) entre as descontinuidades	>2000	2000-600	600-200	200-60	<60	
	20	15	10	8	5	
Condição das descontinuidades (rugosidade, persistência, separação, intemperismo nas paredes e preenchimento)	Muito rugosas Sem separação Não intemperizadas	Ligeiramente rugosas Separação <1mm Ligeiramente intemperizadas	Ligeiramente rugosas Separação <1mm Altamente intemperizadas	Polidas ou preenchimento <5mm ou Separação 1-5mm	Preenchimento >5mm ou Separação >5mm	
	30	25	20	10	0	
Presença de água (relação de poropresão)	Completamente Seco	Úmido	Molhado	Gotejamento	Fluxo Abundante	
	(0)	(0-0,1)	(0,1-0,2)	(0,2-0,5)	(0,5)	
	15	10	7	4	0	
Orientação da descontinuidade (para túneis e minas)	Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável	
	0	-2	-5	-10	-12	

3.3.1 Resistência à Compressão Uniaxial

A resistência das rochas pode ser medida através de ensaios laboratoriais tais como os ensaios de compressão uniaxial ou puntiforme e também em campo utilizando-se o esclerômetro de Schdmit. Também é possível obter o grau de resistência da rocha de acordo com observações de campo utilizando o martelo de geólogo e/ou ponteira de tungstênio e correlacionando com uma faixa de resistência à compressão uniaxial de acordo com o Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Grau de Resistência de Maciços Rochosos (Adaptado de ISRM 1981).

Grau de resistência	Descrição	Característica	Resistência uniaxial estimada (MPa)
R0	Extremamente Branda	Riscada pela unha	0,25 – 1,0
R1	Muito Branda	Esmigalha-se com um golpe de martelo. Riscada por canivete.	1,0 – 5,0
R2	Branda	Marcada com a ponta do martelo em golpe firme. Riscada com dificuldade pelo canivete.	5,0 – 25
R3	Resistência Média	Fraturada com um único golpe de martelo. Não risca com o canivete.	25 – 50
R4	Resistente	Mais de um golpe de martelo para fraturar a rocha.	50 – 100
R5	Muito Resistente	Muitos golpes de martelo para fraturar a rocha.	100 – 250
R6	Extremamente Resistente	Amostras somente lascadas com golpe de martelo.	>250

3.3.2 Orientação das descontinuidades

A orientação das descontinuidades é um dos parâmetros que ajusta o valor do RMR em função do posicionamento espacial do eixo do túnel. O Quadro 3.5 resume os efeitos da orientação dos planos das descontinuidades em relação à orientação da escavação.

Quadro 3.5 - Efeitos da orientação das descontinuidades (Bieniawski 1989).

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

3.3.3 Classes de Maciços

O número RMR permite classificar os maciços rochosos em diferentes categorias, dentro de uma determinada faixa de valores. O Quadro 3.6 exhibe as diferentes classes de maciços rochosos conforme o valor obtido pela soma dos seis parâmetros da Classificação RMR.

Quadro 3.6 - Classes de Maciços - RMR (Bieniawski 1989)

Nota	Classe	Descrição
<21	V	Maciço muito pobre
21 a 40	IV	Maciço pobre
41 a 60	III	Maciço regular
61 a 80	II	Maciço bom
81 a 100	I	Maciço muito bom

3.4 SISTEMA Q

O índice Q é utilizado para determinar a qualidade do maciço rochoso em aberturas subterrâneas, onde altos valores indicam alta estabilidade e valores baixos evidenciam baixa

estabilidade. Os valores de Q variam entre 0 e 1000 e a cada intervalo define uma classe do maciço de acordo com o Quadro 3.7.

Quadro 3.7 - Classificação do maciço rochoso de acordo com Q (modificado de Barton *et al.* 1974).

Valor de Q	Qualidade do Maciço
< 0,01	Péssimo
0,01 – 0,1	Extremamente ruim
0,1 – 1	Muito ruim
1 – 4	Ruim
4 - 10	Regular
10 – 40	Bom
40 – 100	Muito Bom
100 – 400	Extremamente Bom
>400	Excelente

O cálculo de Q é realizado de acordo com a Equação (3.4).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (3.4)$$

Onde:

- RQD (*Rock Quality Designation*): Índice de qualidade do maciço rochoso;
- J_n: Número de famílias de descontinuidades;
- J_r: Índice de rugosidade das descontinuidades;
- J_a: Índice de alteração das descontinuidades;
- J_w: Fator de redução da resistência pela presença de água nas descontinuidades;
- SRF (*Stress Reduction Factor*): Índice de influência do estado de tensões do maciço no entorno da escavação.

O valor de Q pode ser concebido como um grupamento de três preceitos: o quociente RQD/J_n representa o tamanho dos blocos formados pela união dos planos de descontinuidades, a razão J_r/J_a

representa a resistência ao cisalhamento entre os blocos e o fator J_w/SRF representa o ambiente geotécnico.

3.4.1 Número de famílias de descontinuidades (J_n)

Uma família de descontinuidades exibe planos paralelos e com um espaçamento característico entre si. Descontinuidades que não ocorrem sistematicamente ou que tem um espaçamento muito grande são chamadas de aleatórias. Estruturas como a foliação, xistosidade, acamamento, falhas e fraturas são consideradas como uma família de descontinuidades. Os valores de J_n são mostrados no Quadro 3.8.

Quadro 3.8 - Valores de J_n (modificado de Barton *et al.* 1974)

Número de famílias de descontinuidades	J_n
Nenhuma	0.5 – 1
Uma família	2
Uma família mais juntas aleatórias	3
Duas famílias	4
Duas famílias mais juntas aleatórias	6
Três famílias	9
Três famílias mais juntas aleatórias	12
Quatro ou mais famílias, juntas aleatórias, “ <i>sugar cube</i> ”	15
Rocha fragmentada, “ <i>Earth like</i> ”	20

3.4.2 Índice de Rugosidade das Descontinuidades (J_r)

O atrito entre as descontinuidades depende da natureza das suas superfícies, ou seja, se são planares, onduladas, rugosas, lisas, etc. Os termos rugosa, lisa e polida referem-se a escalas centimétricas ou milimétricas e podem ser avaliadas a partir do toque na superfície da descontinuidade. Já os termos planar e ondulada são usados para determinar a rugosidade em grande escala, e deve ser considerada em relação ao tamanho dos blocos. Os valores de J_r são atribuídos de acordo com o Quadro 3.9. A Figura 3.3 mostra exemplos de superfícies de descontinuidades com diferentes valores de J_r .

Quadro 3.9 - Índice de Rugosidade das Descontinuidades (Jr) (Modificado de Barton *et al.* 1974).

Índice de Rugosidade das Descontinuidades	Jr
Juntas descontínuas	4
Rugosa ou irregular, planar	3
Lisa, ondulada	2
Polida, ondulada	1.5
Rugosa, irregular, planar	1.5
Lisa, planar	1
Polida, planar	0.5

Rugosidade das Descontinuidades	Jr
I Áspera	4
II Lisa	3
III Polida com Estria	2
Recortada	
IV Áspera	3
V Lisa	2
VI Polida com Estria	1.5
Ondulada	
VII Áspera	1.5
VIII Lisa	1.0
IX Polida com Estria	0.5
Plana	

Figura 3.3 - Exemplos de superfícies de descontinuidades (modificado de Barton *et al.* 1974).

3.4.3 Índice de alteração das descontinuidades (Ja)

Assim como a rugosidade das superfícies, o preenchimento das descontinuidades também tem grande importância. Dois fatores relevantes são a espessura e a resistência do material de preenchimento. Para determinar o Ja, os tipos de preenchimento das juntas são divididos em três

categorias (A, B e C) baseadas na espessura e grau de contato rocha-rocha quando cortado ao longo do plano da fratura, como mostra o Quadro 3.10.

Quadro 3.10 - Índice de alteração das descontinuidades (Ja) (Modificado de Barton *et al.* 1974).

Alteração das Descontinuidades	Ja
A) Contato rocha-rocha sem deslocamento relativo entre as paredes	
Paredes duras, compactas, preenchimento impermeável	0.75
Paredes sem alteração	1
Paredes levemente alteradas, preenchimento por materiais duros: areia, fragmentos de rocha, etc	2
Paredes com material silto-arenoso com pequena fração argilosa	3
Paredes de material mole (micas, talco, etc.) e/ou com materiais expansivos	4
B) Contato rocha-rocha e deslocamento relativo entre as paredes <10cm	
Partículas arenosas, fragmentos de rocha, etc	4
Preenchimento contínuo e pouco espesso (<5mm) de material argiloso fortemente consolidado	6
Preenchimento contínuo e pouco espesso (<5mm) de material argiloso medianamente ou pouco consolidado	8
Preenchimento de materiais argilosos expansivos (<5mm)	8 a 12
C) Sem contato rocha-rocha, preenchimento mineral espesso	
Zonas de material desintegrado ou rocha quebrada	6
Zonas de preenchimento por argila ou material silto-argiloso	8
Zonas de argila, rocha quebrada ou desintegrada	8 a 12
Zonas contínuas espessas de argila fortemente consolidada	10
Zonas contínuas espessas de argila medianamente ou pouco consolidada	13
Zonas contínuas espessas de argila expansiva	13 a 20

3.4.4 Fator de redução da resistência pela presença de água das descontinuidades (J_w)

A presença de água entre as descontinuidades pode lavar o preenchimento mineral e reduzir o atrito entre os planos das descontinuidades. A pressão de água pode reduzir a tensão normal entre as paredes e facilitar um escorregamento de blocos.

A determinação do índice J_w é baseada na vazão e pressão de água observadas na abertura subterrânea, como mostra o Quadro 3.11.

Quadro 3.11 - Fator de redução da resistência pela presença de água das descontinuidades (J_w) (Modificado de Barton *et al.* 1974)

Fator de redução pela água	J_w
Escavação seca ou com pequena afluência (úmido ou poucas gotas)	1
Média afluência, carreamento ocasional do preenchimento das descontinuidades (Muitas gotas, “chuva”)	0.66
Afluência elevada de água em rochas competentes com fraturas não preenchidas	0.5
Afluência elevada de água com considerável carreamento do preenchimento	0.33
Afluência excepcionalmente alta ou alta pressão de água, decaimento com o tempo	0.2-0.1
Afluência excepcionalmente alta ou alta pressão de água, sem decaimento com o tempo	0.1-0.05

3.4.5 Influência do Campo de Tensões do Maciço ao Redor da Cavidade (SRF)

O SRF descreve a relação entre a tensão e a resistência do maciço ao redor da abertura subterrânea. Este parâmetro pode ser um fator de alívio de tensão devido à escavação por zonas de cisalhamento e rochas argilosas, esforços em rochas competentes, deformação e fluidificação em rochas plásticas incompetentes (Christofolletti 2014).

Os parâmetros para definição do SRF são exibidos no Quadro 3.12. σ_c é a resistência à compressão uniaxial, σ_1 é o maior valor de tensão existente previamente à escavação e σ_θ é a resistência à tração da rocha.

Quadro 3.12 - Fator de redução da resistência pela tensão (SRF) (Modificado de Barton *et al.* 1974).

Fator de redução pela tensão			SRF
A) Zonas de fraqueza interceptando a escavação			
Múltiplas ocorrências de zonas de fraqueza, contendo argila ou rocha decomposta ou longas seções com rocha incompetente (qualquer profundidade)			10
Múltiplas zonas de cisalhamento em rochas competentes isentas de argila e com blocos de rochas desagregados (qualquer profundidade)			7,5
Zona de fraqueza com ou sem argila ou rocha quimicamente desintegrada (profundidade < 50m)			5
Solto, juntas abertas, muito fraturado ou "sugar cube" (qualquer profundidade)			5
Zona de cisalhamento com ou sem argila ou rocha quimicamente desintegrada (profundidade > 50m)			2,5
B) Rochas Competentes, principalmente maciças, problemas de tensão	σ_c / σ_1	σ_T / σ_1	
Tensões baixas, superficiais, juntas abertas	>200	<0,01	2.5
Tensões médias, condição favorável à tensão	200-10	0,01-0,3	1
Altas tensões, estrutura bastante comprimida. Usualmente favorável a estabilidade. Pode também ser desfavorável à estabilidade dependendo da orientação da tensão comparada aos planos de fraqueza.	10 - 5	0,3-0,4	0.5-2 2-5
Moderado deslocamento em rocha maciça	5 - 3	0,5-0,65	5 - 50
Deslocamento e explosão de rocha após alguns minutos em rocha maciça	3 - 2	0,65-1	50 - 200
Intensa explosão de rocha "rockburst" e deformação imediata em rocha maciça	<2	>1	200 - 400
C) <i>Squeezing</i> da rocha: Deformação plástica em rocha incompetente sob a influência de alta pressão		σ_T / σ_1	
<i>Squeezing</i> moderado e consequente pressão de rocha		1 - 5	5 - 10
<i>Squeezing</i> intenso e consequente pressão de rocha		>5	10 - 20
D) Expansibilidade da rocha: Expansão química dependente da presença de água			
Expansibilidade moderada e consequente pressão de rocha			5 - 10
Expansibilidade alta e consequente pressão de rocha			10 - 15

Notas:

- (i) Se as zonas de baixa resistência forem relevantes, porém não interceptarem a escavação, deve-se reduzir de 25 a 50% o valor de SRF.
- (ii) Em caso de tensões subsuperficiais considerar $SRF = 5$ se a profundidade da abóbada da galeria for menor que a largura do vão.
- (iii) Nos maciços muito anisotrópicos corrigir os valores de σ_c e σ_θ de acordo com os fatores subsequentes: Se $\sigma_1/\sigma_3 < 10$, diminuir σ_c para $0,8\sigma_c$ e σ_θ para $0,6\sigma_\theta$ e se $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ reduzir σ_c para $0,6\sigma_c$ e σ_θ para $0,6\sigma_\theta$.

3.4.6 Índice de Qualidade de Rocha Modificado (Q')

Com a realização de modelos numéricos já se tem informações sobre o campo de tensões atuantes, o que torna irrelevante estimar o valor de SRF. Dessa forma, para não considerar duplamente o efeito das tensões, deve-se ignorar o SRF, obtendo assim o índice de qualidade de rocha modificado Q' ou N (*Rock Mass Number*), determinado pela Equação (3.5) (Goel *et al.* 1995):

$$Q' = N = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times J_w \quad (3.5)$$

3.5 TENSÕES

O maciço rochoso no local da escavação sofre a ação de tensões *in situ* e tensões induzidas. As tensões *in situ* são tensões naturais, determinadas pelas forças gravitacionais e tectônicas, já as tensões induzidas são causadas pela própria escavação.

Existem três componentes da tensão, σ_1 , σ_2 e σ_3 , em ordem de magnitude decrescente e são identificados como tensão máxima, tensão intermediária e tensão mínima (Brady & Brown 2004). A Figura 3.4 mostra as componentes da tensão em um bloco de rocha.

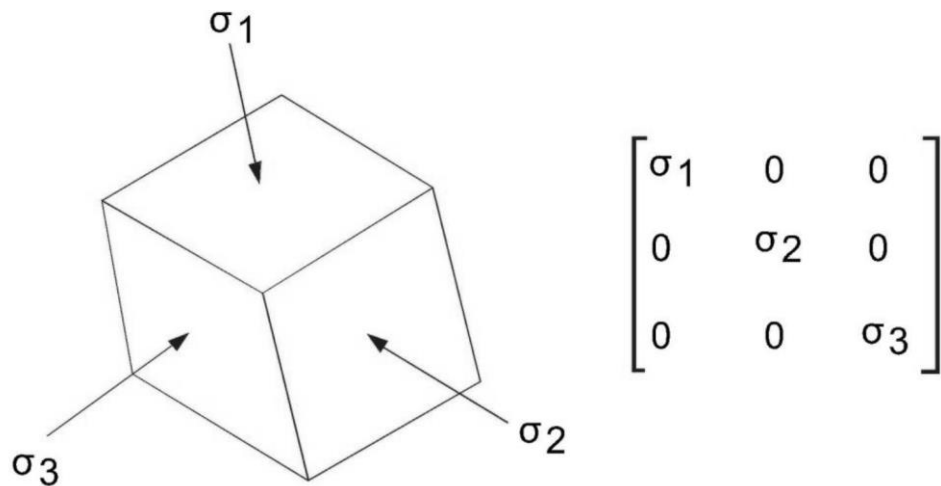


Figura 3.4 - Principais componentes da tensão atuantes (Hudson & Harrison 2000).

A tensão vertical σ_v pode ser definida como resultante do peso da coluna de rocha sobrejacente e muitas vezes pode ser estimada como a multiplicação da densidade média pela espessura do pacote rochoso vezes a gravidade, principalmente em locais onde há uniformidade na composição de rochas (Trópia 2013).

A escavação subterrânea ocasiona em uma redistribuição das tensões *in situ* ao seu redor. As tensões induzidas são função da tensão *in situ* e da geometria da escavação. A Figura 3.5 mostra as tensões existentes ao redor de um túnel escavado.

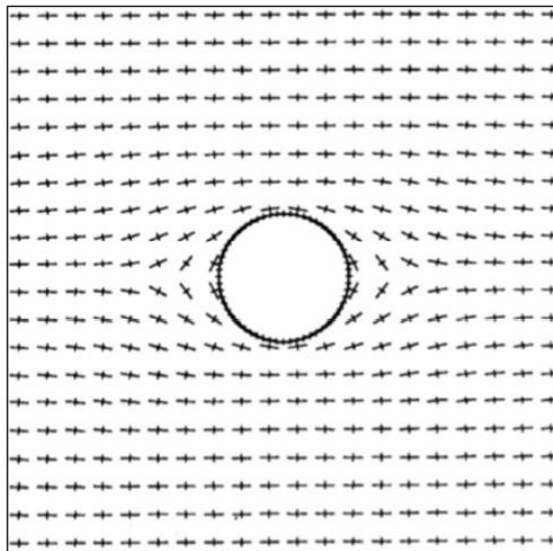


Figura 3.5 – Redistribuição das tensões ao redor de um túnel escavado. As barras longas representam a tensão principal (σ_1) e as barras curtas representam a tensão mínima (σ_3) (Hoek 2007).

3.5.1 Disking

Um importante indicador do campo de tensões atuantes é a ocorrência do *disking*, que pode ser observada na caracterização geotécnica dos testemunhos de sondagem. Este fenômeno é um empastilhamento que ocorre perpendicular ao eixo do testemunho (Figura 3.6). Nos locais onde ocorre o *disking* pode haver potencial de concentração de tensões e, portanto, uma maior instabilidade.

De acordo com Trópia (2013), a presença de *disking* é devido a uma mudança no estado de tensões *in situ*, devido ao alívio de tensões durante a perfuração. A presença de *disking* indica que as tensões *in situ* são suficientemente altas para originar rupturas em maciços de caráter rúptil ou pode ser resultante da tensão induzida pela escavação no local onde se encontra o equipamento de sondagem.



Figura 3.6 - Exemplo da ocorrência de *disking* em testemunho de sondagem (Lim & Martin 2010)

CAPÍTULO 4

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO IN SITU

Foi realizado um mapeamento geotécnico na mina Ingá, na galeria 689 Sul, onde decorreram três tipos de mapeamento: o mapeamento de domínios, o mapeamento de janela e o mapeamento das principais estruturas.

Nos três tipos de mapeamento buscou-se analisar a qualidade do maciço rochoso e determinar todos os parâmetros geotécnicos necessários para as classificações geotécnicas RQD, Q' e RMR. O mapeamento de domínios procurou dar ênfase às principais classes geotécnicas no túnel, no mapeamento de janela foram levantados pontos com informações mais detalhadas e no mapeamento de estruturas foi levantada a orientação espacial das famílias de fraturas mais persistentes.

4.6 MAPEAMENTO DE DOMÍNIOS

O mapeamento de domínio foi realizado a partir do caminhamento na galeria 689S no sentido de seu desenvolvimento. Ao longo do mapeamento foram observados a litologia e o número de famílias de descontinuidades em ambos os lados da galeria. Cada domínio geotécnico foi delimitado no mapa (Figura 4.1) de acordo com as observações de campo.

Este tipo de mapeamento foi realizado com o objetivo de facilitar o mapeamento de janela, definindo classes geotécnicas semelhantes para que seja necessária uma densidade de pontos menor no mapeamento de janela, que é o foco principal deste trabalho.

Foram observados três domínios na galeria 689S: GXN +2, GXN +1 e VQZ+1. O domínio GXN +2 refere-se ao domínio da litologia GXN (Grafita Xisto) com duas famílias de descontinuidades mais fraturas aleatórias, o domínio GXN+1 refere-se ao domínio da litologia GXN (Grafita Xisto) com uma família de descontinuidades mais fraturas aleatórias, já o VQZ+1 corresponde à litologia VQZ (Veio de Quartzito) com uma família de fraturas mais descontinuidades aleatórias.

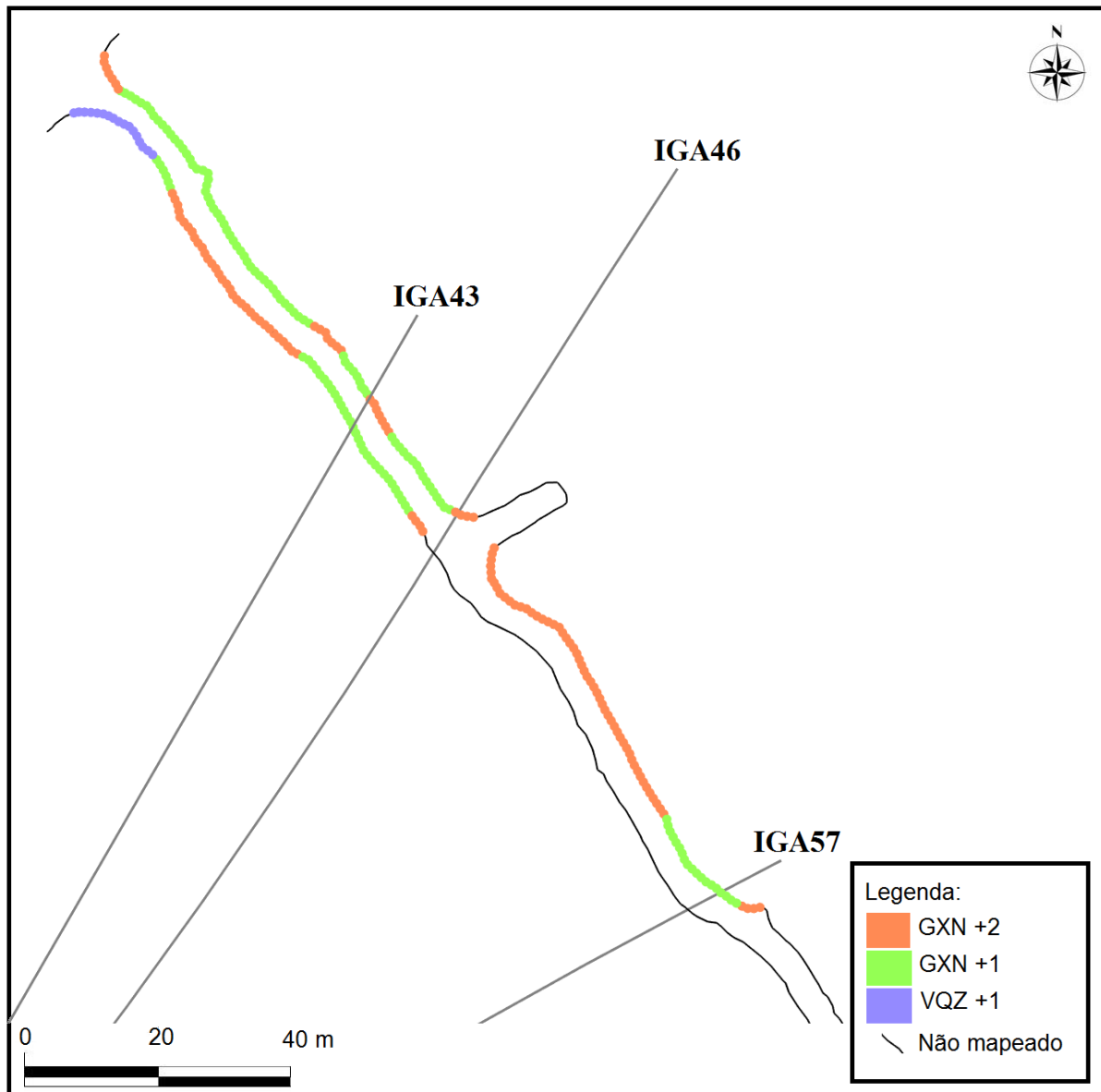


Figura 4.1 - Mapa de Domínios da Galeria 689S.

4.7 MAPEAMENTO DE JANELA

No mapeamento de janela foi levantado um ponto a cada mudança de domínio geomecânico e nos locais predeterminados relativos aos furos de sondagem analisados neste trabalho. Nesses pontos foi realizada a caracterização do maciço, através do levantamento das informações necessárias para realizar o cálculo de RQD, Q' e RMR.

Foram mapeados 14 pontos, onde foram verificadas as medidas estruturais da foliação (S_n), do acamamento (S_0), das demais famílias de fraturas e fraturas aleatórias. O mapa de pontos mapeados é exibido na Figura 4.2.

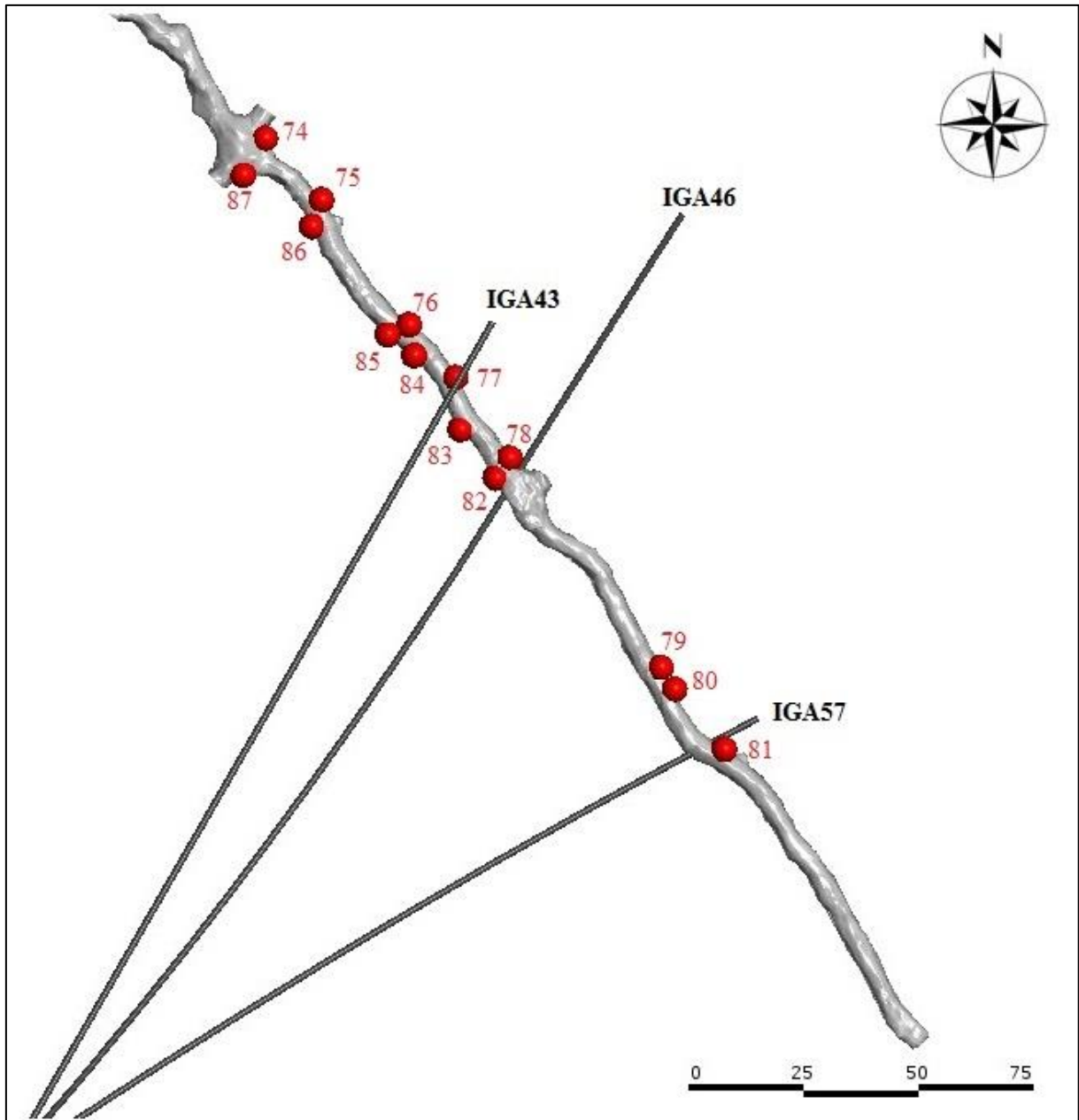


Figura 4.2 - Mapa de pontos levantados no mapeamento de janela.

Foi analisada em cada ponto a litologia, qual a principal descontinuidade responsável pelo fraturamento do maciço, os dados estruturais das descontinuidades (Figura 4.3), o espaçamento entre as descontinuidades e os demais parâmetros para realização das classificações Q e RMR.

A partir dos dados coletados em campo, calculou-se o RQD através da Equação (3.2), o Q' através da Equação (3.5) e o RMR através da soma dos parâmetros. Os valores de RQD, Q' e RMR para cada ponto mapeado são exibidos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Valores obtidos em cada ponto do mapeamento para as classificações geomecânicas.

Ponto	RQD	Q'	RMR (%)
74	72.5	12.08	66.43
75	85	28,33	74,10
76	73.89	12,31	66,60
77	80.83	13,47	67,41
78	77,86	12,97	67,07
79	78,9	13,15	67,19
80	85	28,33	74,10
81	80	13,33	67,38
82	85	28,33	74,10
83	80,57	13,42	67,38
84	85	28,33	74,10
85	78,42	13,07	67,13
86	85	28,33	74,10
87	100	50	79,21

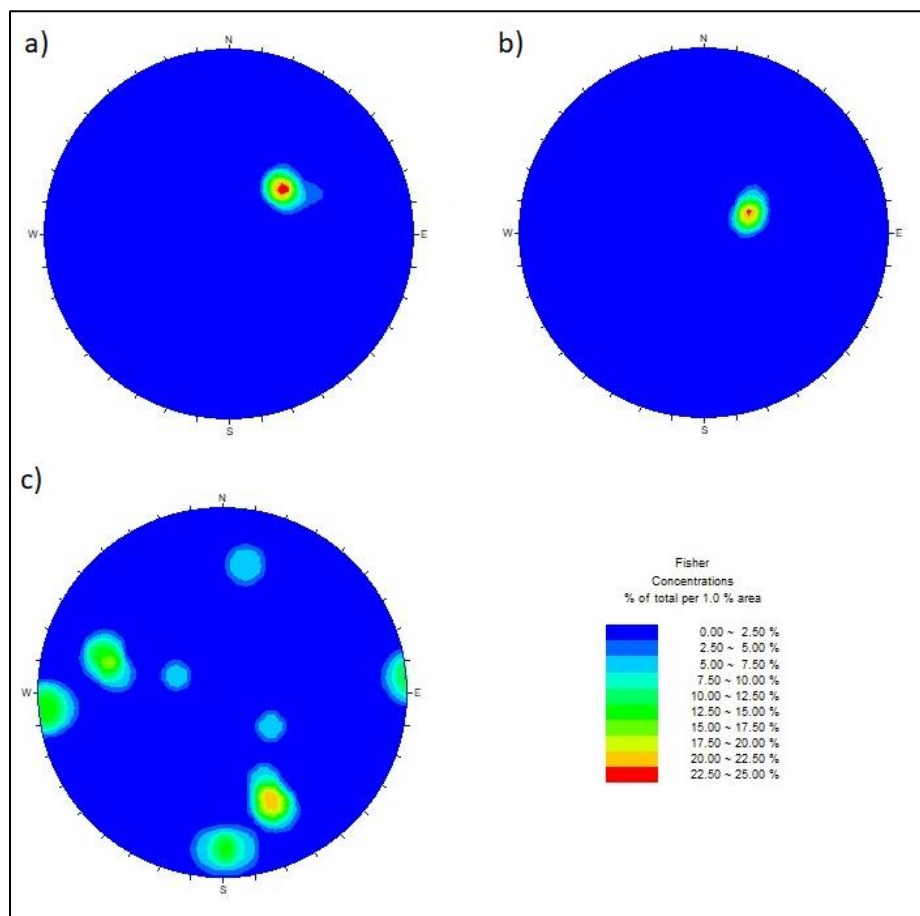


Figura 4.3 – Estereograma exibindo os dados estruturais obtidos para a) Foliação (Sn); b) Acamamento (S0) e c) Fraturas aleatórias (Fr).

4.7.1 Espaçamento

Em cada ponto mapeado foi definido o espaçamento mínimo e máximo para cada família de descontinuidades. Em geral, o espaçamento médio da foliação S_n foi considerado 0,1m. Para o restante das fraturas mapeadas o espaçamento mínimo variou entre 0,1m e 0,7m e o espaçamento máximo variou entre 0,1 e 0,9 m. O índice J_v foi calculado a partir do espaçamento médio, de acordo com a Equação (3.3).

4.7.2 Número de famílias de fraturas

O número de famílias de fraturas (J_n) foi observado em cada ponto mapeado. Foram consideradas famílias apenas as descontinuidades persistentes e com espaçamento considerável dentro da escala de mapeamento. Os valores de J_n obtidos variaram entre 3, no caso de uma família de descontinuidades mais fraturas aleatórias e 6, no caso de duas famílias de descontinuidades mais fraturas aleatórias. É importante ressaltar que uma mudança no valor de J_n pode alterar significativamente o valor de Q' , como mostra a Equação (3.5), dessa forma é importante que esse índice seja bem determinado.

4.7.3 Rugosidade

Foram observadas duas formas diferentes da rugosidade das paredes das descontinuidades. Na foliação (S_n) e no acamamento (S_0) da litologia GXN foi observado que a parede é lisa e planar, conferindo valor 1 ao índice J_r . Já nas demais fraturas, os planos entre as descontinuidades são rugosos, irregulares e planares, o que leva ao índice J_r de 1,5.

4.7.4 Preenchimento

As descontinuidades S_n e S_0 não apresentam preenchimento, já algumas fraturas ocorrem preenchidas por carbonatos. Às fraturas preenchidas é dado o valor 2 ao índice J_a , enquanto nas fraturas não preenchidas, esse índice é igual a 1.

4.7.5 Persistência

Foram consideradas persistentes as fraturas com comprimento suficiente para atravessar a galeria de um lado ao outro. As fraturas persistentes foram mapeadas separadamente e definidas como macro fraturas.

4.8 MAPEAMENTO DE ESTRUTURAS

O mapeamento de estruturas foi feito com base na localização e nas medidas estruturais das macro fraturas, ou seja, aquelas que tem persistência e muitas vezes atravessam ambos os lados da galeria. No internível 689S foram mapeadas 11 macro fraturas, como mostra a Tabela 4.2. A Figura 4.4 mostra o estereograma com a análise estrutural, realizada através do *software* “Dips”, com os dados das macro fraturas observadas em campo.

Tabela 4.2 - Medidas estruturais das macro fraturas.

Fratura	Mergulho	Direção do mergulho
1	75	0
2	80	0
3	80	5
4	85	5
5	60	345
6	65	347
7	60	342
8	80	183
9	35	305
10	80	10
11	68	110

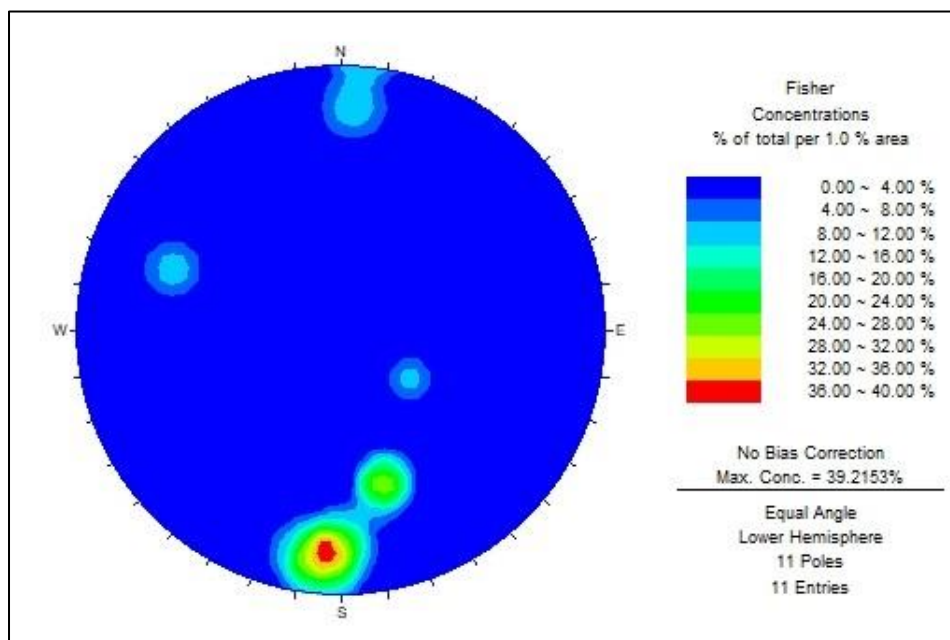


Figura 4.4 - Estereograma exibindo os dados de mapeamento obtido para as macro fraturas.

CAPÍTULO 5

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

5.1 SONDAGEM

A sondagem no maciço rochoso tem por objetivo de realizar investigações geológicas e geotécnicas. As principais finalidades da sondagem são a definição dos contatos litológicos, a verificação da continuidade dos corpos de minério e a exploração em busca de corpos que possam vir a ser prospectados no futuro. Os testemunhos de sondagem são analisados pelos geólogos para determinação da litologia, mineralogia e estruturas, posteriormente, parte do testemunho é amostrada para definição do teor de ouro através de testes laboratoriais e as informações obtidas são armazenadas no banco de dados.

São realizados dois diferentes tipos de sondagem, a exploratória e a *infill* (sondagem de detalhe). A sondagem de detalhe é utilizada para promover informação geológica adicional, de forma a aumentar o nível de confiabilidade, já a sondagem exploratória é realizada a partir da superfície. Na MSG a descrição geotécnica é realizada nos testemunhos *infill* completamente, já os testemunhos exploratórios são descritos no intervalo de 100m acima do *hangwall* do minério até o final do testemunho.

A descrição geotécnica dos testemunhos de sondagem é realizada com o objetivo de gerar o modelo geotécnico computacional das minas subterrâneas. O desenvolvimento de uma malha de descrição geotécnica de 20x20m está em processo para que possa ser elaborado um modelo geomecânico de alta confiabilidade, de forma a incorporar informações à caracterização do maciço através do mapeamento geotécnico das galerias.

5.2 LOCALIZAÇÃO DOS TESTEMUNHOS DESCRITOS

Foram descritos três testemunhos de sondagem, sendo dois deles próximos à galeria 689S e um interceptando a galeria. O testemunho IGA43 passa próximo à galeria na profundidade de 179,64 a 199,67 metros, já o testemunho IGA57 passa próximo à galeria entre 178 e 190 metros e o testemunho IGA46 intercepta a galeria na profundidade de 178,09 a 199,71 metros. A Figura 5.1 mostra a disposição dos testemunhos de sondagem em relação à galeria 689S.

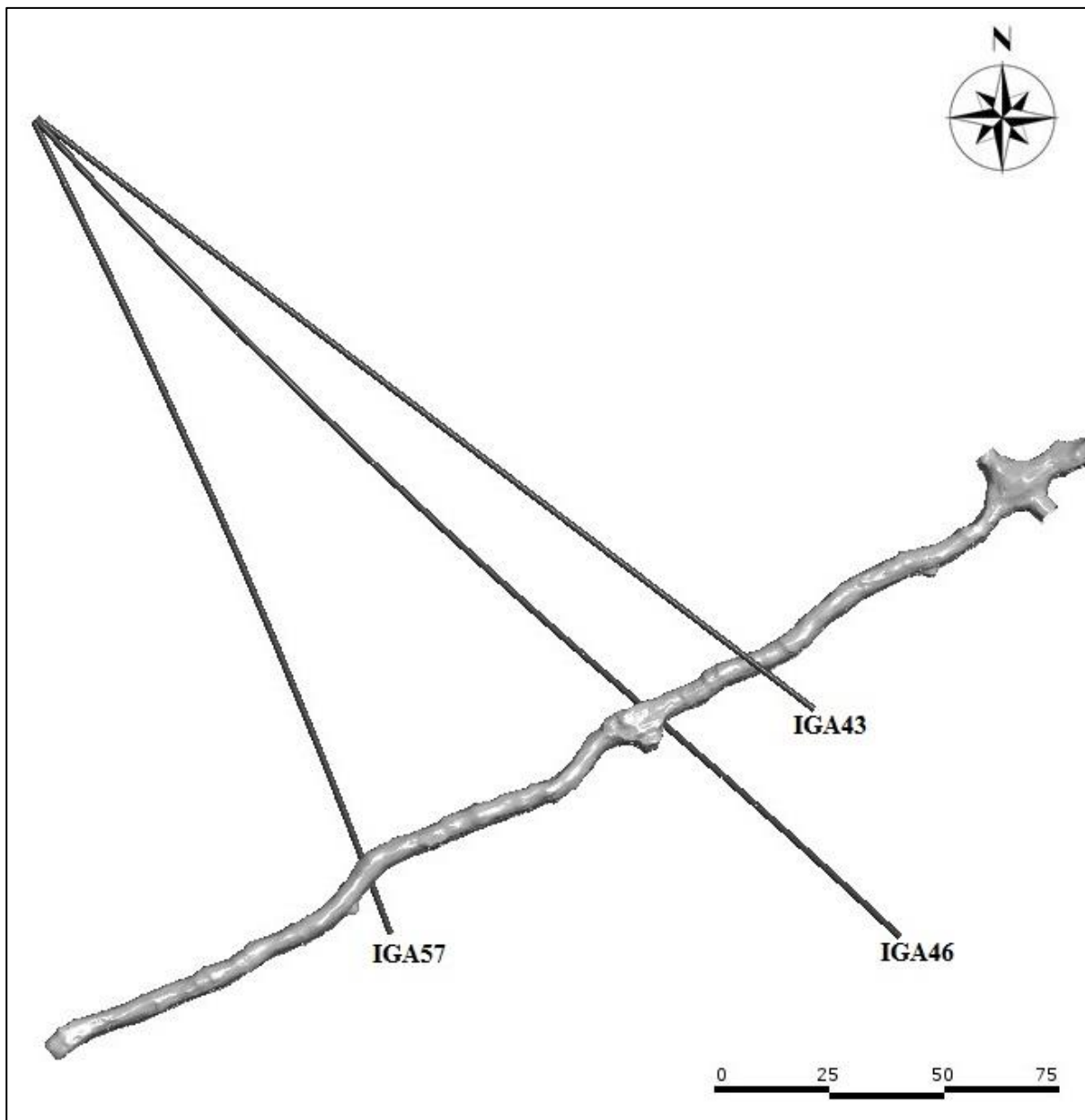


Figura 5.1 - Localização esquemática dos testemunhos de sondagem em relação à galeria 689S.

5.3 DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DO TESTEMUNHO IGA43

O testemunho do testemunho IGA43 tem 213,04 metros de profundidade. Foi considerada como profundidade de interesse neste estudo de 197,9 a 199,7 metros, porção que passa próxima a galeria 689S. Nesta parcela do testemunho, a litologia Xisto Carbonoso (GXN) apresenta duas famílias de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias e rugosidade das paredes das descontinuidades lisa e planar. O valor de RQD obtido foi de 93%. A foto das caixas do testemunho IGA43 é exibida na Figura 5.2 e a descrição completa do testemunho encontra-se no Apêndice II.

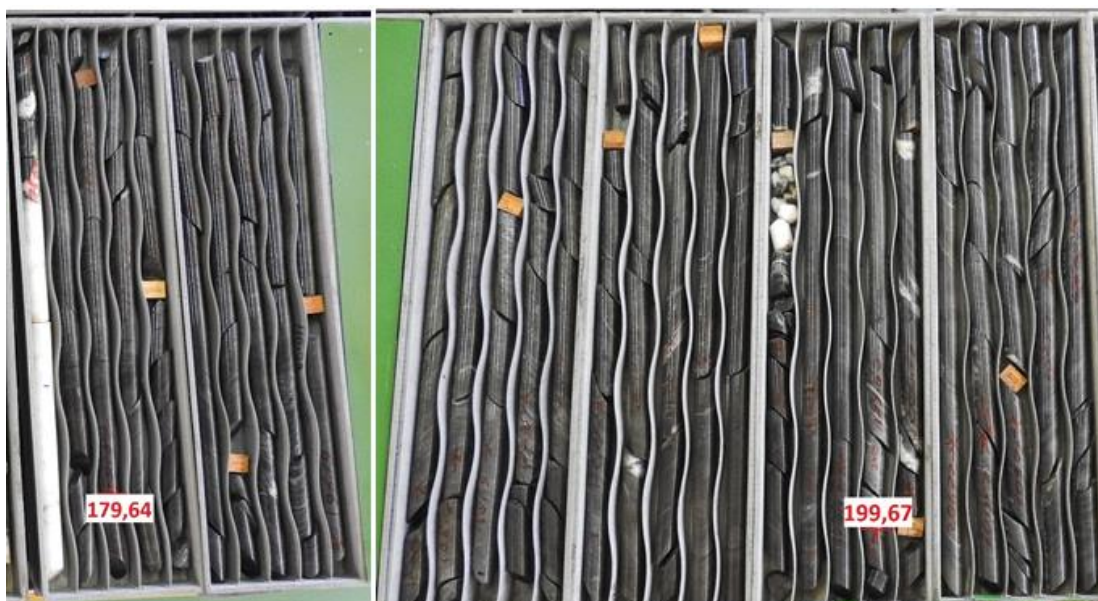


Figura 5.2 - Fotografia do testemunho IGA43.

5.4 DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DO TESTEMUNHO IGA46

O testemunho IGA46 (Figura 5.3) possui 202,72 metros e intercepta a galeria de 178 a 194,1 metros. Neste segmento ocorrem duas famílias de descontinuidades, mais descontinuidades aleatórias e a rugosidade das paredes é lisa e planar. O RQD, calculado com base no número de descontinuidades por metro, utilizando a Equação (3.2) corresponde a 90%.



Figura 5.3 - Fotografia do testemunho IGA46.

5.5 DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DO TESTEMUNHO IGA57

O testemunho de sondagem IGA57 (Figura 5.4) passa próximo a galeria 689S de 178,0 a 194,1 metros. Neste trecho foram encontradas duas famílias de descontinuidades, mais descontinuidades aleatórias e a rugosidade das paredes das descontinuidades foi considerada lisa e planar. O valor de RQD encontrado, considerando o número de descontinuidades por metro, foi de 92%.



Figura 5.4 - Fotografia do testemunho IGA57.

5.6 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CORRELAÇÃO

Foi determinado um fator de correlação percentual para cada ponto mapeado, em cada sistema de classificação (RQD, Q' e RMR). A determinação do fator de correlação é importante para que possa ser previamente calculada a degradação do maciço após a escavação, devido ao desmonte de rochas e à concentração das tensões no entorno da galeria.

Foram levantados em cada testemunho descrito os pontos que interceptam ou são mais próximos à galeria 689S. Nesses pontos, nos testemunhos de sondagem e no mapeamento, foi realizada a caracterização e classificação geotécnica conforme os sistemas Q' e RMR.

Os dados geotécnicos obtidos no testemunho IGA43 foram comparados ao ponto 77 do mapeamento de janela, enquanto os resultados obtidos no testemunho IGA46 foram comparados à média aritmética dos resultados dos pontos 78 e 82 do mapeamento de janela. Já os valores obtidos do testemunho IGA57 foram comparados ao ponto 81 do mapeamento.

A Figura 5.5 e a Figura 5.6, respectivamente, exibem o gráfico de comparação entre os resultados de Q' e RMR obtidos no mapeamento geotécnico e na descrição de testemunhos. Observa-se que estes valores são sempre maiores para os testemunhos de sondagem, o que corrobora que há uma degradação do maciço após a abertura da galeria.

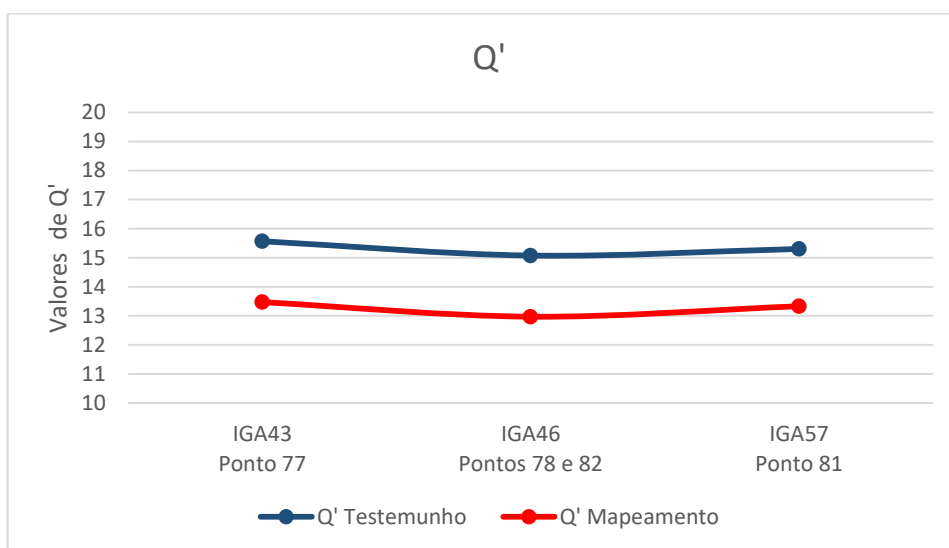


Figura 5.5- Gráfico comparativo dos resultados de Q' obtidos nos testemunhos de sondagem e no mapeamento.

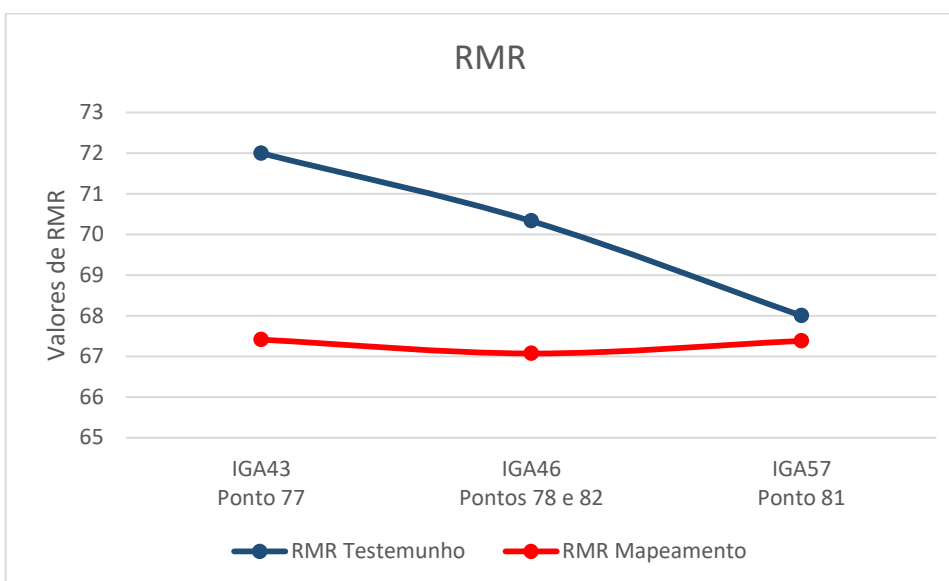


Figura 5.6 - Gráfico comparativo dos resultados de RMR obtidos nos testemunhos de sondagem e no mapeamento.

Com o intuito de comparar os resultados e avaliar o dano causado ao maciço pela escavação, foi calculado o fator de correlação, para cada sistema de classificação, de acordo com as Equações (1.1) e (1.2). Os dados de entrada da descrição de testemunhos de sondagem e mapeamento geotécnico *in situ* encontram-se nos Apêndices I, II, III e IV. A Tabela 5.1 resume os valores de Q' e RMR no mesmo ponto para o mapeamento *in situ* e para a descrição de testemunhos.

Tabela 5.1 - Fatores de Correlação obtidos na comparação entre a descrição de testemunhos e o mapeamento *in situ*.

Testemunho	Q' do testemunho	Q' do mapeamento	RMR do testemunho	RMR do mapeamento	Fator de Correlação (Q')	Fator de Correlação (RMR)
IGA43	15,6	13,5	72	67,4	16%	7%
IGA46	15,1	13,0	70,3	67,1	16%	5%
IGA57	15,3	13,3	68	67,4	15%	1%

Observa-se que foram obtidos resultados diferentes para os sistemas de classificação. Para o sistema Q' calcula-se que houve uma degradação do maciço entre 15% e 16%, enquanto para a classificação RMR essa degradação está entre 1% e 7%.

De forma análoga, a Figura 5.7 exibe um gráfico comparativo entre os valores de RQD obtidos para a descrição geotécnica de testemunhos e para o mapeamento *in situ*. Comparando-se os valores de RQD encontrados tem-se os resultados exibidos na Tabela 5.2, que mostra os valores de RQD antes e após a escavação e o fator de correlação calculado para o RQD.

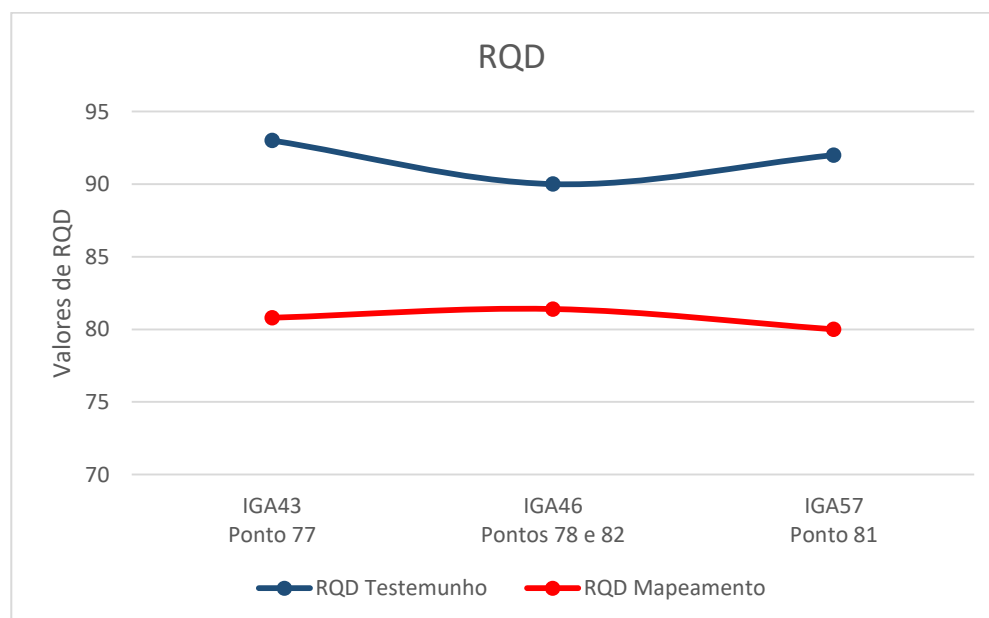


Figura 5.7 - Comparação entre os valores de RQD obtidos antes e após a escavação.

Tabela 5.2 - Fatores de correlação obtidos através do RQD da descrição de testemunhos e do mapeamento.

Testemunho	RQD do Testemunho	RQD do Mapeamento	Fator de Correlação (RQD)
IGA43	93	80,8	15%
IGA46	90	81,4	11%
IGA57	92	80	15%

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

A classificação e caracterização geotécnica de testemunhos de sondagem e o mapeamento geotécnico realizado na galeria 689S da mina Ingá permitiram obter fatores de correlação que definem o grau de degradação do maciço rochoso acarretado pela ação do campo de tensões e pela detonação por desmonte de rocha.

Utilizando um fator de correlação é possível prever o comportamento do maciço, levando em consideração que a rocha sofre uma perda de sua qualidade na galeria, ao redor da escavação. O trabalho permitiu confirmar a hipótese de que o maciço rochoso sofre sobre uma degradação após a abertura da galeria subterrânea.

Verifica-se que com a abertura da galeria o parâmetro que confere a diminuição da qualidade do maciço é o RQD, visto que o número de famílias, a rugosidade e a alteração das descontinuidades pouco se modificam nos testemunhos de sondagem e no mapeamento *in situ*. Dessa forma, pode-se concluir que a detonação e/ou o aumento da tensão ocasionaram um acréscimo no número de fraturas no maciço, diminuindo o espaçamento entre as fraturas e conferindo um valor menor ao RQD.

Através desta pesquisa também foi possível constatar que o sistema de classificação RMR é limitado para o cálculo do fator de correlação, sendo os valores obtidos através do Sistema Q' mais confiáveis. O número RMR é obtido através de um somatório, enquanto o Q' é definido por uma soma de razões, assim supõe-se que uma pequena alteração em algum dos parâmetros observados pouco modifica o valor de RMR.

Não foi possível correlacionar a descrição de testemunhos com o mapeamento de domínios, uma vez que os furos de sondagem estavam próximos das transições de classes, e por isso poderia sofrer interferências, dessa forma, não foi apresentada a relação do mapeamento de domínios com a descrição de testemunhos de sondagem.

O mapeamento de estruturas permitiu identificar uma família de fraturas de direção leste-oeste e inclinação subvertical que possivelmente tem influência na estabilidade do maciço, entretanto, para que essas fraturas fossem comparáveis à descrição de testemunhos de sondagem seria necessário que estes fossem previamente orientados.

Sugere-se que as atividades de mapeamento geomecânico, descrição geotécnica de testemunhos e comparação entre os resultados de classificação do maciço em ambos os casos sejam realizadas também em outras galerias da mina e para outras litologias, de forma a obter uma maior

quantidade de resultados, de modo que seja possível obter um fator de correlação com confiabilidade estatística superior à alcançada neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F.F.M. de, Hasui Y., Brito-Neves B.B de, Fuck R. A. 1977. As províncias estruturais do Brasil. In: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande, p. 363-391.
- Almeida F.F.M. de, Hasui Y., Brito-Neves B.B de, Fuck R. A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science*, **17**:1-29.
- Barton N., Lien, R., Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **6**:189-236
- Bieniawski Z.T. 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *South African Institution of Civil Engineering*, **15**:335-343
- Bieniawski Z.T. 1989. *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering*. New York, John Wiley & Sons, 250 p.
- Brady, B.H., Brown, E.T. 2004 *Rock mechanics for underground mining*. 3rd. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 628 p.
- Castoldi, M.A.S. 2015. *O distrito aurífero de Crixás-GO: caracterização do novo corpo de minério* Ingá. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 177 p.
- Christofolletti, C. 2014. *Correlação entre as classificações geomecânicas RMR e Q e sua relevância geológica*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 310 p.
- Danni J.C.M. 1988. Os greenstone belts da Província Tocantins no Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **18**:381-390
- Deere, D. U. 1963. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes *Journal of International Rock Mechanics*. 1:16-22.
- Fortes, P.T.F.O., Pimentel, M.M., Santos, R.V., Junges, S.L. 2003. Sm-Nd studies at Mina III gold deposit, Crixás, Greenstone Belt, Central Brazil: implications for the depositional age of the upper metasedimentary rocks and associated Au mineralization. *Journal of South America Earth Sciences*. **16**: 503-516.
- Goel, R.K., Jethwa, J.L., Paithankar, A.G. 1995. Indian Experiences with Q and RMR Systems. *Tunneling and Underground Space Technology*. Elsevier. 10(1):97-109.
- Hasui, Y. 2012 Compartimentação geológica do Brasil. In: Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M., Bartorelli, A., Geologia do Brasil. São Paulo, Beca Editora, p. 112-123.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden. W.F. 1995. *Support of underground excavations in hard rock*. Rotterdam, Balkema, 210 p.
- Hoek, E. 2007. *Practical Rock Engineering*. Vancouver, Rocscience, 237p.
- Hudson, J.A., Harrison, J.P. 2000. *Engineering rock mechanics: an introduction to the principles*. Oxford, Pergamon, 458p.
- ISRM, 1978. Suggested Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials. *International Society for Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, **15**: 319-368
- ISRM, 1981. *Rock Characterization Testing and Monitoring*. Oxford, International Society for Rock Mechanics, 212 p.
- Jost, H. & Oliveira, A.M. 1991. Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás region, Goiás, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **4**: 201-214.
- Jost, H., Scandolara, J.E. 2010. Características estruturais, petrográficas e geoquímicas de enxame de diques máficos intrusivos em rochas metassedimentares do greenstone belt de Crixás, Goiás. *Geologia USP. Série Científica*, **10**: 119-134.

- Lacerda Filho, J.V. de, Rezende, A., Silva, A. da. 1999. *Geologia e recursos minerais do estado de Goiás e do Distrito Federal*. Goiânia, CPRM, 200 p.
- Lim, S.S., Martin, C. D., Christiansson, R. 2006. *Estimating in-situ stress magnitudes from core diskings*. In: *Situ Rock Stress*. London, Taylor & Francis Group, p. 159-166.
- Magalhães, L.F. 1991. *Cinturão de Cisalhamento de Empurrão Córrego Geral-Meia Patoca: Geologia, Deformação, Alteração Hidrotermal e Mineralizações Auríferas Associadas Crixás-Goiás*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 233 p.
- Massucato, A.J. 2004. Relatório de Geologia Estrutural - Aspectos Estruturais do Greenstone Belt de Crixás – GO, Crixás, AngloGold Ashanti, 30p. Relatório Interno.
- Padula R.C. 2016. *Determinação de fatores de correlação a partir da caracterização do maciço rochoso na mina de Cuiabá – Sabará/MG*, Dissertação de Mestrado, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 195 p.
- Palmstrom A. 1974. *Characterization of jointing density and the quality of rock masses (in Norwegian)*. Internal report, A.B. Berdal, Norway, 26 p.
- Palmstrom, A. 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*. **20**: 362-377.
- Pimentel M.M., Fuck R.A., Jost H., Ferreira Filho C.F., Araújo S.M. 2000. The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological Congress Special Publication, Rio de Janeiro, p. 195-229
- Pimentel, M.M., Jost, H., Fuck, R.A. 2004 O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: Mantesso Neto, V. et al. (Org.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 355-368.
- Queiroz C.L., Alkmim F.F. & Kuyumjian R.M. 1995. Arcabouço estrutural e evolução tectônica do greenstone belt de Crixás, GO. In: SBG - V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, p. 74-75.
- Sabóia, L.A. 1979. Os greenstone belts de Crixás e Goiás, Go. *Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Centro-Oeste, Boletim Informativo*, **9**:44-72.
- Sabóia, L.A. & Teixeira, N.A. 1980. Lavas ultrabásicas da unidade basal do greenstone belt de Crixás (GO): Uma nova classe de rochas ultrabásicas no Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **10**: 28-42.
- Sabóia, L.A., Teixeira, N.A., Castro, J.H.G., Texeira, A.S. 1981. Geologia do greenstone belt de Crixás (GO) e suas implicações geotectônicas. In: SBG. *Simpósio sobre o Cráton de São Francisco e suas Faixas Marginais*, Salvador, Anais, p. 39-50.
- Theodoro, S.M.C.H., Jost H. 1994. Modelo deposicional dos metassedimentos do greenstone belt de Crixás. In: 38º Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, Balneário Camburiú, *Anais: SBG*, p. 76-77.
- Tropia, I.R. 2013. *Análise das tensões in situ em ambiente de lavra subterrânea – Mina Cuiabá – Sabará/MG*. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 140 p.
- Vieira, V., Brito, S.N.A., Lopes, T.C., Faria, B.T. 2015. Caracterização geológico-geotécnica e classificação geomecânica. In: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Bento Gonçalves, Anais, 10p

Apêndice I: Dados obtidos no mapeamento de janela realizado na galeria 689S.

Mapeamento de Janela - 689S																					
Ponto	Litologia	Tipo de Descontinuidade	Mergulho	Direção	Jv	RQD	Espaç. Min	Espaç. Max	Média	Jv	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q'	Q	Classe	RQD/Jn tamanho bloco	RMR
74	GXN	SN	45	238	15	72.5	0.1	0.1	0.1	15.00	72.50	6	1	1	1	1	12.0833333	12.0833333	Bom	12.08	66.43
		FR	90	265			0.1	0.3	0.2				1.5	2	1	1					
		S0	30	245									1	1	1	1					
75	GXN	SN	40	228	10	85	0.1	0.1	0.1	10.00	85.00	3	1	1	1	1	28.3333333	28.3333333	Bom	28.33	74.10
		S0	30	253									1	1	1	1					
76	GXN	SN	40	225	14.4444444	73.8888889	0.1	0.1	0.1	14.44	73.89	6	1	1	1	1	12.3148148	12.3148148	Bom	12.31	66.60
		FR	80	0			0.1	0.35	0.225				1.5	2	1	1					
		S0	35	237									1	1	1	1					
		FR	55	335									1.5	2	1	1					
		FR	85	85									1.5	2	1	1					
77	GXN	SN	55	245	11.6666667	80.8333333	0.1	0.1	0.1	11.67	80.83	6	1	1	1	1	13.4722222	13.4722222	Bom	13.4722222	67.4056696
		S0	25	252			0.1	0.1	0.1				1	1	1	1					
		FR	70	335			0.6	0.6	0.6				1.5	2	1	1					
		FR	85	0									1.5	2	1	1					
78	GXN	SN	40	232	12.8571429	77.8571429	0.1	0.1	0.1	12.86	77.86	6	1	1	1	1	12.9761905	12.9761905	Bom	12.98	67.07
		FR	80	3			0.3	0.4	0.35				1.5	2	1	1					
		FR	70	190									1.5	2	1	1					
79	GXN	SN	40	225	12.4390244	78.902439	0.1	0.1	0.1	12.44	78.90	6	1	1	1	1	13.1504065	13.1504065	Bom	13.15	67.19
		FR	65	335			0.7	0.12	0.41				1.5	2	1	1					
80	GXN	SN	40	224	10	85	0.1	0.1	0.1	10.00	85.00	3	1	1	1	1	28.3333333	28.3333333	Bom	28.33	74.10
81	GXN	SN	40	230	12	80	0.1	0.1	0.1	12.00	80.00	6	1	1	1	1	13.3333333	13.3333333	Bom	13.33	67.31
		FR	65	338			0.1	0.9	0.5				1.5	2	1	1					
82	GXN	SN	42	225	10	85	0.1	0.1	0.1	10.00	85.00	3	1	1	1	1	28.3333333	28.3333333	Bom	28.33	74.10
		FR	30	110									1.5	2	1	1					
83	GXN	SN	45	225	11.7699115	80.5752212	0.1	0.1	0.1	11.77	80.58	6	1	1	1	1	13.4292035	13.4292035	Bom	13.43	67.38
		FR	80	355			0.13	1	0.565				1.5	2	1	1					
84	GXN	SN	40	227	10	85	0.1	0.1	0.1	10.00	85.00	3	1	1	1	1	28.3333333	28.3333333	Bom	28.33	74.10
		FR	60	100									1.5	2	1	1					
85	GXN	SN	40	242	12.6315789	78.4210526	0.1	0.1	0.1	12.63	78.42	6	1	1	1	1	13.0701754	13.0701754	Bom	13.07	67.13
		FR	35	305			0.16	0.6	0.38				1.5	2	1	1					
86	GXN	SN	40	235	10	85	0.1	0.1	0.1	10.00	85.00	3	1	1	1	1	28.3333333	28.3333333	Bom	28.33	74.10
87	VQZ	FR	68	105	1.74	100	0.15	1	0.575	1.74	100	3	1.5	1	1	1	50	50	Muito bom	33.33	79.21

Apêndice II: Descrição geotécnica e resultados obtidos do testemunho IGA43.

Descrição Geotécnica - IGA 43																					
De (m)	Até (m)	Litologia	Resistên- cia	Disc./ metro	Tipo de Desconti- nuidade	Espaça- mento	Abertura	Rugosi- dade	Preen- chimento	Alte ração	Resis- tência	Persis- tência	Água Subter- rânea	RQD(%)	RMR	Jn	Jr	Já	Jw	Q (RMR)	Q'
0.00	2.80	DOL	R5	7.86	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	81	68	6.00	1.50	2.00	1.00	14.39	10.17
2.80	4.60	CKV	R5	10.00	SN	8	6	3	6	6	7	0	15	74	64	6.00	2.00	1.00	1.00	9.23	24.53
4.60	9.70	DOL	R5	6.86	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	85	68	6.00	1.50	2.00	1.00	14.39	10.61
9.70	10.15	DOL	R4	71.11	SN	5	5	2	4	6	11	0	15	1	51	20.00	1.50	2.00	1.00	2.18	0.02
10.15	12.05	DOL	R5	15.79	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	53	64	12.00	1.50	2.00	1.00	9.23	3.32
12.05	14.02	DOL	R5	4.06	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	94	73	6.00	1.50	2.00	1.00	25.08	11.71
14.02	15.62	CKV	R5	3.13	SN	10	6	3	6	6	7	0	15	96	73	6.00	2.00	1.00	1.00	25.08	32.01
15.62	19.72	DOL	R5	6.34	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	87	68	6.00	1.50	2.00	1.00	14.39	10.83
19.72	23.20	CKV	R5	5.17	SN	8	6	1	6	6	7	0	15	90	69	6.00	1.00	1.00	1.00	16.08	15.08
23.20	28.35	DOL	R5	5.24	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	90	71	6.00	1.50	2.00	1.00	20.09	11.28
28.35	30.46	DOL	R5	16.11	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	52	64	6.00	1.50	2.00	1.00	9.23	6.52
30.46	45.12	GXN	R5	10.30	SN	8	5	1	4	6	10	0	15	72	62	9.00	1.00	2.00	1.00	7.39	4.03
45.12	49.82	DOL	R5	3.83	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	94	73	6.00	1.50	2.00	1.00	25.08	11.79
49.82	58.36	GXN	R5	4.33	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	93	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.49
58.36	62.36	DOL	R5	4.75	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	92	73	6.00	1.50	2.00	1.00	25.08	11.47
62.36	65.86	GXN	R5	6.57	SN	8	6	1	6	6	10	0	15	86	69	6.00	1.00	1.00	1.00	16.08	14.32
65.86	77.06	CBCX	R5	4.29	SN	10	5	5	4	6	13	0	15	93	78	6.00	3.00	2.00	1.00	43.72	23.27
77.06	96.35	DOL	R5	2.80	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	97	73	6.00	1.50	2.00	1.00	25.08	12.09
96.35	98.40	DOL	R5	17.07	SN	5	5	2	4	6	11	0	15	49	56	12.00	1.50	2.00	1.00	3.79	3.07
98.40	109.74	DOL	R5	3.44	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	95	73	6.00	1.50	2.00	1.00	25.08	11.91
109.74	120.34	CBCX	R5	3.49	SN	10	6	3	6	6	13	0	15	95	79	6.00	2.00	1.00	1.00	48.86	31.72
120.34	176.60	DOL	R5	3.45	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	95	73	6.00	1.50	2.00	1.00	25.08	11.91
176.60	179.64	VQZ	R5	4.61	FR	10	5	5	4	6	13	2	15	92	80	6.00	3.00	2.00	1.00	54.60	23.04
179.64	197.19	GXN	R5	4.05	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	94	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.62
197.19	197.99	VQZ	R5	18.75	FR	5	5	5	4	6	13	2	15	44	63	6.00	3.00	2.00	1.00	8.26	11.02
197.99	199.67	GXN	R5	4.17	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	93	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.57
199.67	202.72	GVCX	R5	3.61	SN	10	5	1	4	6	7	0	15	95	68	6.00	1.00	2.00	1.00	14.39	7.91
202.72	213.04	MG	R5	4.26	SN	10	5	1	4	6	13	0	15	93	74	6.00	1.00	2.00	1.00	28.03	7.76

Apêndice III: Descrição geotécnica e resultados obtidos do testemunho IGA46.

Descrição Geotécnica - IGA 46																					
De (m)	Até (m)	Litologia	Resistên- cia	Disc./ metro	Tipo de Desconti- nuidade	Espaça- mento	Abertura	Rugosi- dade	Preen- chimento	Alte ração	Resis- tência	Persis- tência	Água Subter- rânea	RQD(%)	RMR	Jn	Jr	Já	Jw	Q (RMR)	Q'
0.00	20.69	DOL	R5	4.20	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	93	73	3.00	1.50	2.00	1.00	25.08	23.32
20.69	25.84	GNCX	R5	3.69	SN	10	5	2	4	6	7	0	15	95	69	3.00	1.50	2.00	1.00	16.08	23.66
25.84	43.70	GYN	R5	4.54	SN	10	5	1	4	6	10	0	15	92	71	6.00	1.00	2.00	1.00	20.09	7.70
43.70	45.90	GYN	R4	26.36	SN	5	6	0	6	6	10	0	15	26	56	9.00	0.50	1.00	1.00	3.79	1.45
45.90	49.50	GYN	R5	3.61	SN	10	5	1	4	6	10	0	15	95	71	6.00	1.00	2.00	1.00	20.09	7.90
49.50	53.63	DOL	R5	6.05	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	88	68	6.00	1.50	2.00	1.00	14.39	10.95
53.63	60.32	DIQUE	R5	3.74	SN	10	5	2	4	6	14	0	15	95	76	3.00	1.50	2.00	1.00	35.01	23.63
60.32	63.83	DOL	R5	3.99	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	94	73	3.00	1.50	2.00	1.00	25.08	23.47
63.83	70.07	GYN	R5	2.88	SN	10	5	1	4	6	10	0	15	97	71	6.00	1.00	2.00	1.00	20.09	8.05
70.07	159.60	DOL	R5	3.18	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	96	73	6.00	1.50	2.00	1.00	25.08	11.99
159.60	165.85	GYN	R5	7.84	SN	8	6	1	6	6	10	0	15	81	69	6.00	1.00	1.00	1.00	16.08	13.58
165.85	166.65	VQZ	R5	3.75	SN	10	5	5	4	6	13	0	15	95	78	3.00	3.00	2.00	1.00	43.72	47.25
166.65	190.10	GNCX	R5	2.77	SN	10	5	2	4	6	7	0	15	97	69	3.00	1.50	2.00	1.00	16.08	24.20
190.10	191.52	VQZ	R5	5.63	SN	8	5	2	4	6	13	0	15	89	70	3.00	1.50	2.00	1.00	17.97	22.25
191.52	230.35	MG	R5	5.18	SN	8	5	1	4	6	13	0	15	90	72	3.00	1.00	2.00	1.00	22.45	15.07
230.35	230.90	GYN	R4	45.45	SN	5	6	0	6	6	10	0	15	6	51	12.00	0.50	1.00	1.00	2.18	0.25
230.90	253.30	MG	R5	6.70	SN	8	5	1	4	6	13	0	15	85	69	6.00	1.00	2.00	1.00	16.08	7.12
253.30	254.30	VQZ	R5	12.00	SN	8	5	5	4	6	13	0	15	66	69	6.00	3.00	2.00	1.00	16.08	16.57
254.30	258.20	MG	R5	5.38	SN	8	5	1	4	6	13	0	15	90	69	6.00	1.00	2.00	1.00	16.08	7.48
258.20	259.65	MG	R4	22.07	SN	5	5	1	4	6	13	0	15	35	57	9.00	1.00	2.00	1.00	4.24	1.96
259.65	261.35	VQZ	R5	25.29	SN	5	5	2	4	6	13	0	15	28	58	9.00	1.50	2.00	1.00	4.74	2.34
261.35	266.44	MG	R5	7.07	SN	8	5	1	4	6	13	0	15	84	69	6.00	1.00	2.00	1.00	16.08	7.01
176.60	179.64	VQZ	R5	4.61	FR	10	5	5	4	6	13	2	15	92	80	6.00	3.00	2.00	1.00	54.60	23.04
179.64	197.19	GYN	R5	4.05	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	94	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.62
197.19	197.99	VQZ	R5	18.75	FR	5	5	5	4	6	13	2	15	44	63	6.00	3.00	2.00	1.00	8.26	11.02
197.99	199.67	GYN	R5	4.17	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	93	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.57
199.67	202.72	GNCX	R5	3.61	SN	10	5	1	4	6	7	0	15	95	68	6.00	1.00	2.00	1.00	14.39	7.91
202.72	213.04	MG	R5	4.26	SN	10	5	1	4	6	13	0	15	93	74	6.00	1.00	2.00	1.00	28.03	7.76

Apêndice IV: Descrição geotécnica e resultados obtidos do testemunho IGA57.

Descrição Geotécnica - IGA 57																					
De (m)	Até (m)	Litologia	Resistên- cia	Disc./ metro	Tipo de Desconti- nuidade	Espaça- mento	Abertura	Rugosi- dade	Preen- chimento	Alte ração	Resis- tência	Persis- tência	Água Subter- rânea	RQD(%)	RMR	Jn	Jr	Já	Jw	Q (RMR)	Q'
0.00	15.40	DOL	R5	6.75	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	85	68	6.00	1.50	2.00	1.00	14.39	10.66
15.40	19.40	MG	R5	3.75	SN	10	5	2	4	6	13	0	15	95	75	6.00	1.50	2.00	1.00	31.33	11.81
19.40	21.66	DOL	R5	5.75	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	89	68	3.00	1.50	2.00	1.00	14.39	22.15
21.66	36.55	GXN	R5	5.71	SN	8	5	1	4	6	10	0	15	89	66	6.00	1.00	2.00	1.00	11.52	7.40
36.55	38.50	GXN	R4	34.87	SN	5	6	0	6	6	10	0	15	14	51	12.00	0.50	1.00	1.00	2.18	0.57
38.50	43.20	GXN	R5	3.40	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	95	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.89
43.20	43.76	DOL	R5	7.14	SN	8	5	2	4	6	11	0	15	84	68	3.00	1.50	2.00	1.00	14.39	20.98
43.76	45.00	VQZ	R5	11.29	FR	8	5	2	4	6	13	2	15	69	68	3.00	1.50	2.00	1.00	14.39	17.21
45.00	57.90	DOL	R5	3.02	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	96	73	3.00	1.50	2.00	1.00	25.08	24.06
57.90	58.45	GXN	R5	5.45	SN	8	6	1	6	6	10	0	15	90	69	3.00	1.00	1.00	1.00	16.08	29.86
58.45	58.85	GXN	R5	20.00	SN	5	6	0	6	6	10	0	15	41	56	9.00	0.50	1.00	1.00	3.79	2.26
58.85	61.20	GXN	R5	5.11	SN	8	6	1	6	6	10	0	15	91	72	6.00	1.00	1.00	1.00	22.45	15.11
61.20	90.51	DOL	R5	2.80	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	97	73	6.00	1.50	2.00	1.00	25.08	12.09
90.51	100.48	CBCX	R5	3.71	SN	10	5	2	4	6	13	0	15	95	75	6.00	1.50	2.00	1.00	31.33	11.83
100.48	148.49	DOL	R5	2.81	SN	10	5	2	4	6	11	0	15	97	73	3.00	1.50	2.00	1.00	25.08	24.18
148.49	155.65	MG	R3	18.99	SN	5	5	1	4	6	13	0	15	43	57	15.00	1.00	2.00	1.00	4.24	1.45
155.65	166.50	MG	R5	4.70	SN	10	5	1	4	6	13	0	15	92	74	6.00	1.00	2.00	1.00	28.03	7.66
166.50	167.35	MG	R3	94.12	SN	5	5	1	4	6	13	0	15	0	52	15.00	1.00	2.00	1.00	2.43	0.00
167.35	170.90	MG	R5	4.79	SN	10	5	1	4	6	13	0	15	92	74	6.00	1.00	2.00	1.00	28.03	7.63
170.90	176.97	GXN	R5	3.29	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	96	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.94
176.97	178.00	VQZ	R5	8.74	FR	8	5	5	4	6	13	2	15	78	75	3.00	3.00	2.00	1.00	31.33	39.10
178.00	194.09	GNCX	R5	4.72	SN	10	5	1	4	6	7	0	15	92	68	3.00	1.00	2.00	1.00	14.39	15.30
176.60	179.64	VQZ	R5	4.61	FR	10	5	5	4	6	13	2	15	92	80	6.00	3.00	2.00	1.00	54.60	23.04
179.64	197.19	GXN	R5	4.05	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	94	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.62
197.19	197.99	VQZ	R5	18.75	FR	5	5	5	4	6	13	2	15	44	63	6.00	3.00	2.00	1.00	8.26	11.02
197.99	199.67	GXN	R5	4.17	SN	10	6	1	6	6	10	0	15	93	74	6.00	1.00	1.00	1.00	28.03	15.57
199.67	202.72	GNCX	R5	3.61	SN	10	5	1	4	6	7	0	15	95	68	6.00	1.00	2.00	1.00	14.39	7.91
202.72	213.04	MG	R5	4.26	SN	10	5	1	4	6	13	0	15	93	74	6.00	1.00	2.00	1.00	28.03	7.76