

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

METODOLOGIA PARA CADASTRO GEORREFERENCIADO
DE PEDREIRAS – ESTUDO DE CASO DE DUAS PEDREIRAS
NO ENTORNO DE GOIÂNIA/GO

CLAUDIA ARACELLI CHAMPI CUTI

ORIENTADOR: Prof. LUIS FERNANDO MARTINS RIBEIRO, DSc

CO-ORIENTADOR: Prof. CARLOS LAURO VARGAS, DSc

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: GDM - 167/08

BRASÍLIA-DF: MARÇO / 2008

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA PARA CADASTRO GEORREFERENCIADO
DE PEDREIRAS – ESTUDO DE CASO DE DUAS PEDREIRAS
NO ENTORNO DE GOIÂNIA/GO**

CLAUDIA ARACELLI CHAMPI CUTI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

**Prof. Luis Fernando Martins Ribeiro, DSc (ENC/FT, UnB)
(ORIENTADOR)**

**Prof. Carlos Alberto Lauro Vargas, Dsc (EEC, UFG)
(CO-ORIENTADOR)**

**Prof. Newton Moreira de Souza, Dsc (ENC/FT, UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Prof. Marco Antônio Fonseca, Dsc (DEGEO/UFOP)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 01 de Março de 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA

CHAMPI CUTI, CLAUDIA ARACELLI

Metodologia para cadastro georreferenciado de pedreiras - estudo de caso de duas pedreiras no entorno de Goiânia/GO.

xii, 125 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2008)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Cadastro

2. Sistemas de Informação Geográfica

3. Pedreiras

4. Classificação geomecânica

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CHAMPI-CUTI, C.A. (2008). Metodologia para cadastro georreferenciado de pedreiras – estudo de caso de duas pedreiras no entorno de Goiânia/GO. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM- 167/08, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 125 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Claudia Aracelli Champi Cuti

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Metodologia para cadastro georreferenciado de pedreiras – estudo de caso de duas pedreiras no entorno de Goiânia/GO.

GRAU / ANO: Mestre / 2008

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Claudia Aracelli Champi Cuti

CEP 70846120

SQN 405 Bloco L Apto Térreo s/n

Asa Norte – Brasília/DF – Brasil

claudiachampi@unb.br

Dedicatoria

A Dios por cuidarme, guiarme en cada momento y darme la fuerza necesaria para culminar este trabajo.

A mi esposo José por el amor, paciencia y apoyo en todos los momentos.

A mis padres Manuel y Otilia, hermanos Jeaneth, Dunia, Jonathan, Agustín, Katherine y Rosario por el amor, cariño y por ser mi mayor fuerza.

A mi papá Agustín (in memoriam) por los innumerables recuerdos de alegría que permanecerán gravados en mi memoria.

AGRADECIMENTOS

Ao término de um trabalho, é importante lembrar daqueles que estiveram ao nosso lado durante toda jornada, seja auxiliando, direta ou indiretamente, por meio de atos, de palavras, ou simplesmente pela importante presença. Assim, não posso deixar de prestar meus eternos agradecimentos:

A Deus pelo dom da vida, por guiar-me em todos os momentos, e por colocar no meu caminho pessoas maravilhosas que estiveram comigo no momento preciso.

A José Laguna, meu esposo, pelo apoio incondicional.

Aos meus familiares: meus pais, Manuel e Otilia, pelos ensinamentos de luta; ao meus irmãos, Jeaneth, Dunia, Jonathan, Agustín, Katherine e Rosário, por serem meu incentivo; aos meus sobrinhos, Clara e Alexis, pelas brincadeiras que alegam muitos momentos da minha vida; aos meus avós, *papá* Agustín (*in memoriam*) [suas lembranças sempre me dão força], *mamá* Filomena, por sua preocupação e por cuidar de mim; aos meus tios, primos e cunhados, pelo carinho. Um profundo agradecimento ao meu sogro Leônidas, à minha sogra Clotilde, em especial à minha cunhada Juana, pela ajuda e carinho nestes últimos anos.

Ao orientador deste trabalho, Prof. Luis Fernando Martins, e ao co-orientador, Prof. Carlos Alberto Lauro, pelas sugestões para esta dissertação.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Geotecnia da UnB, pelos conhecimentos transmitidos. Um agradecimento especial ao meu professor e amigo Pablo Meza Aréstegui, pelos primeiros conhecimentos e incentivo em estudar Geotecnia.

Aos colegas e amigos: Eder Santos, Luis Tejada, Elza Jacinto, Giovane Batalione, Conceição Costa, Rafaela Silveira, Raul Durand, Cássio Silva, Jaqueline Feitoza, James Silva, Carmen, Petrônio, Raimundo, Roberto Cardim, João Paulo, Luis Antunes, Ângela, Wisley, Taty, Domingo, pela grande amizade, apoio e companhia saudáveis no decorrer do mestrado.

Às amigas que conviveram comigo em república: Janaína Araújo, Maria Tâmara, Hellen, Ângela Almeida, e Salome. Agradeço especialmente à Joseleide Silva, pela sua alegria e amizade desde a minha chegada em Brasília. Obrigada!

À CAPES, pelo apoio financeiro, sem o qual não teria sido possível realizar este mestrado. Às Pedreira Araguaia e Pedreira Anhanguera S.A, por permitir o acesso a suas informações. À FURNAS, pelo apoio na realização dos ensaios de laboratório.

Por fim, agradeço também àqueles que por acaso deixei de citar, mas que de alguma forma contribuíram com esta pesquisa e sem sua ajuda não atingiria o sucesso que é este mestrado.

METODOLOGIA PARA CADASTRO GEORREFERENCIADO DE PEDREIRAS – ESTUDO DE CASO DE DUAS PEDREIRAS NO ENTORNO DE GOIÂNIA/GO

RESUMO

A mineração é sem dúvida um fator determinante do desenvolvimento do país, não somente pela geração de riquezas mas também representa um mecanismo de progresso e desenvolvimento de diversas regiões. Contudo, percebe-se que nem todas as empresas do setor dispõem de dados que possam otimizar o processo produtivo e quantificar os impactos ambientais gerados por estas atividades.

Neste sentido, é necessário estabelecer metodologias que possam auxiliar na compilação de dados e informações que possam contribuir para o desenvolvimento sustentável do setor mineral, visando reduzir a produção de rejeitos pelo aumento da eficiência da produção mineral.

Esta dissertação trata do cadastramento das pedreiras no entorno de Goiânia e apresenta informações básicas de localização e características das pedreiras, assim como dados geomecânicos que foram obtidos em laboratório e campo, para assim criar uma base de dados que possa ser utilizada pelo público e próprias pedreiras para outras finalidades. Este estudo se baseia na utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e em classificações geomecânicas.

O trabalho realizado envolveu um raio de 32 km ao redor da cidade de Goiânia para seleção das pedreiras. Na região foram identificadas nove pedreiras. Para realização deste trabalho foram selecionadas duas pedreiras Araguaia e Anhanguera localizadas nos municípios de Aparecida de Goiânia e Caturai respectivamente, considerando principalmente a disponibilidade das informações.

Para o estudo de localização das pedreiras utilizou-se o programa SPRING e posteriormente para o cadastro de informações e confecção dos mapas trabalhou-se no programa ArcGIS. Neste contexto, foram elaboradas fichas cadastrais contendo dados básicos das pedreiras como nomes, coordenadas geográficas, produção, reservas e algumas informações referentes a características dos rejeitos produzidos por cada pedreira, além de estudos de impactos ambientais. Ressalta-se que parte dos dados para formação da ficha cadastral foram transmitidos pelos responsáveis de cada pedreira estudada.

A caracterização geomecânica dos maciços foi realizada para classificar os maciços e acrescentar a base de dados. Essa caracterização envolveu investigações de campo em conjunto com ensaios de laboratório, por meio dos métodos de classificação RMR₈₉ (*Rock Mass Rating*) e o GSI (*Geological Strength Index*). Para isso obteve-se os seguintes parâmetros: resistência a compressão uniaxial, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de poisson. Assim com todos esses dados, foi possível realizar o cadastro georreferenciado com 30 atributos para cada pedreira avaliada e estabelecer uma metodologia para cadastro georreferenciado de pedreiras.

Sumario

CAPÍTULO 1 : INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos.....	5
1.1.1. Objetivo Geral	5
1.1.2. Objetivos Específicos	5
1.1.3. Escopo da dissertação	6
CAPÍTULO 2 : MARCO TEÓRICO	7
2.1. Agregados de Construção	7
2.1.1. Areia	8
2.1.2. Pedra britada	8
2.2. Geoprocessamento	9
2.2.1. Sensoriamento remoto	10
2.2.2. Sistema de Informação Geográfica (SIG)	13
2.2.3. Cadastro técnico multifinalitário	14
2.3. Caracterização de maciço rochoso	16
2.3.1. Mapeamento Superficial de Estruturas Expostas	17
2.3.2. Análise Estrutural	18
2.3.3. Investigações geomecânicas de campo e laboratório	19
2.3.3.1. Índice de Qualidade de Rocha (RQD).....	22
2.3.3.2. Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial	24
2.3.3.3. Determinação da Resistência à Tração	28
2.4. Classificações geomecânicas para maciços rochosos.....	29
2.4.1. Sistema de Classificação RMR.....	29
2.4.2. Sistema de Classificação SMR	33
2.4.3. Sistema de Classificação RMi	35
2.4.4. Sistema de classificação geomecânica Q.....	38
2.4.5. Índice de Resistência Geológica - GSI.....	43
2.4.6. Classificação geomecânica com fins de escavação a fogo	45
CAPÍTULO 3 : ÁREA DE ESTUDO	49
3.1. Localização e acesso.....	49
3.2. Aspectos Socioeconômicos	50
3.3. Clima, Fisiografia, Geomorfologia e Hidrografia	51
3.4. Geologia.....	53
3.4.1. Complexo granulítico Anapolis-Itaçu	55
3.4.2. Complexos Indiferenciados - Associação Ortognáissica-Migmatítica.....	55
3.4.3. Sequências Metavulcano-sedimentar	56
3.4.3.1. Unidade Metavulcânica	56
3.4.3.2. Unidade Metassedimentar/Mista	56
3.4.4. Grupo Araxá	57
3.4.5. Granitos Sintectônicos - Granitóides Gama 3 (G3).....	57
3.4.6. Cobertura terciária quaternária	58

3.4.7.	Cobertura Quaternaria	58
3.5.	Geologia Estrutural	58
3.5.1.	Domínio da Infra-Estrutura	59
3.5.2.	Domínio da Supra-Estrutura	61
 <i>CAPÍTULO 4 : METODOLOGIA E MATERIAIS</i>		63
4.1.	Etapas da pesquisa	63
4.2.	Materiais	65
4.2.1.	Imagens satélites	65
4.2.2.	Dados cartográficos	65
4.2.3.	Programas computacionais	66
4.3.	Equipamentos	66
4.4.	Desenvolvimento da metodologia	67
4.4.1.	Programa de geoprocessamento	67
4.4.1.1.	Construção do banco de dados	68
4.4.1.2.	Processamento digital	72
4.4.2.	Verificação da localização preliminar e visita as pedreiras.....	78
4.4.3.	Fichas de cadastro.....	79
4.4.4.	Levantamento Geomecânico	81
4.4.5.	Ensaio de Laboratório	85
4.4.5.1.	Ensaio de Resistência a Compressão Uniaxial	85
4.4.5.2.	Ensaio de Resistência a Tração	87
 <i>CAPÍTULO 5 : APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</i>		89
5.1.	Elaboração dos Mapas Temáticos	89
5.1.1.	Localização das pedreiras	89
5.1.2.	Características das pedreiras.....	91
5.2.	Classificação geomecânica de maciços rochosos	96
5.3.	Cadastro georreferenciado	105
5.4.	Apresentação das pedreiras cadastradas	107
 <i>CAPÍTULO 6 : CONCLUSÕES E SUGESTÕES</i>		109
6.1.	Conclusões.....	109
6.2.	Sugestões para futuras pesquisas	110
 <i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>		112
 <i>APÊNDICE</i>		116
A	FICHAS DE CADASTRO	117
B	FICHAS DE LEVANTAMENTO GEOMECÂNICO	119

Lista de tabelas

Tabela		Página
Tabela 2.1.	Classificação dimensional dos agredados (NBR 7225).....	7
Tabela 2.2.	Principais satélites.	11
Tabela 2.3.	Aplicações das bandas da Câmara CCD do satélite CBERS.....	12
Tabela 2.4.	Categoria da rocha segundo o grau de alteração (modificado - ISRM, 1981). 20	
Tabela 2.5.	Categoria da rocha segundo a coerência (modificado - ISRM, 1981).....	20
Tabela 2.6.	Categoria da rocha segundo o fraturamento (modificado - ISRM, 1981).....	21
Tabela 2.7.	Qualidade do maciço rochoso - RQD (modificado Deere, 1967).	23
Tabela 2.8.	Classificação em função da resistência uniaxial (modificado - ISRM, 1981)..	27
Tabela 2.9.	Sistema de Classificação Geomecânica RMR (Bieniawski, 1989).	31
Tabela 2.10.	Fator de ajuste para as juntas para o cálculo de SMR (Romana, 1985).	34
Tabela 2.11.	Fator de ajuste segundo o método de escavação - SMR (Romana, 1985).....	34
Tabela 2.12.	Classificação da estabilidade segundo o SMR (Romana, 1985)	34
Tabela 2.13.	Rupturas segundo o valor do SMR (modificado - Romana, 1985)	35
Tabela 2.14.	Valores do fator de rugosidade (JR) do RMi (modificado-Palmström, 1996) .	36
Tabela 2.15.	Fator de tamanho e continuidade (JL) do RMi (Palmström, 1996).....	37
Tabela 2.16.	Fator de alteração da descontinuidade (JA) do RMi (Palmström, 1996)	37
Tabela 2.17.	Classificação Geomecânica RMi (Palmström, 1996).....	38
Tabela 2.18.	Classificação do parâmetro RQD para o índice Q (Barton at al., 1974)	39
Tabela 2.19.	Classificação do parâmetro Jn para o índice Q (Barton et al., 1974)	40
Tabela 2.20.	Classificação do parâmetro Jr para o índice Q (Barton et al., 1974).....	40
Tabela 2.21.	Classificação do parâmetro Ja para o índice Q (Barton et al., 1974).....	40
Tabela 2.22.	Classificação do parâmetro Jw para o índice Q (Barton et al., 1974)	41
Tabela 2.23.	Classificação do parâmetro SRF para o índice Q (Barton et al., 1974).....	42
Tabela 2.24.	Classes de maciços rochosos em função de Q (Barton et al., 1974)	43
Tabela 2.25.	Método para estimar o GSI (Modificado Truzman).....	45
Tabela 4.1.	Imagens CBERS-2.....	65
Tabela 4.2.	Dimensões dos corpos de prova	86
Tabela 4.3.	Dimensões dos corpos de prova	88
Tabela 5.1.	Coordenadas geográficas e áreas das pedreiras	90
Tabela 5.2.	Resultados do ensaio à compressão uniaxial.	98
Tabela 5.3.	Resistência à tração.	100
Tabela 5.4.	Estimação do GSI	104
Tabela 5.5.	Resultados da Classificação geomecânica.....	104

Lista de figuras

Figura		Página
Figura 2.1.	Classificação dos agregados para construção civil.....	8
Figura 2.2.	Espectro eletromagnético (Jensen, 2000).	11
Figura 2.3.	Entrada e saída de dados (LABGIS).....	14
Figura 2.4.	Processo de obtenção de agregados.....	16
Figura 2.5.	Janelas de amostragem	17
Figura 2.6.	Amostragem linear	18
Figura 2.7.	Medição de orientações (Hutchinson, 1996)	19
Figura 2.8.	Processo para medir e calcular o RQD (modificado - Bieniawski, 1989).....	22
Figura 2.9.	Estimativa do RQDw.....	23
Figura 2.10.	Amostra de rocha submetida à compressão uniaxial.....	24
Figura 2.11.	Curvas tensão-deformação	25
Figura 2.12.	Amostra de rocha submetida à compressão diametral.....	28
Figura 2.13.	Efeito das geoestruturas na fragmentação do maciço rochoso.	46
Figura 2.14.	Efeito da direção das descontinuidades na fragmentação do maciço rochoso. 46	
Figura 2.15.	Efeito da persistência das descontinuidades na fragmentação do maciço rochoso.....	47
Figura 3.1.	Localização do município de Goiânia e arredores.....	49
Figura 3.2.	Principais acessos na área de estudo (DNIT).	50
Figura 3.3.	Domínios de solos (CPRM, 2001).....	52
Figura 3.4.	Arcabouço Estratigráfico da Folha Goiânia SE-22-X-B	54
Figura 3.5.	Estilo tectônico tangencial de empurrões dúcteis e mesoestruturas relacionados à Supra- Estrutura (Oliveira, C. C. et. al., 1994)	59
Figura 3.6.	Relação entre os planos axiais das fases de deformação F2e F3.....	62
Figura 4.1.	Fluxograma da metodologia.	64
Figura 4.2.	Criação do banco de dados	68
Figura 4.3.	Definição dos modelos de dados.	70
Figura 4.4.	Criação e definição do projeto.....	71
Figura 4.5.	Plano de informação (PI).....	72
Figura 4.6.	Realce da imagen.....	73
Figura 4.7.	Obtenção do índice de vegetação.	74
Figura 4.8.	Filtragem.....	75
Figura 4.9.	Componentes Principais.	76
Figura 4.10.	Imagem segmentada.	76
Figura 4.11.	Classificação por treinamento e auxílio do GoogleEarth na identificação das pedreiras.....	77
Figura 4.12.	Localização preliminar das pedreiras pertencentes a área de estudo.....	78
Figura 4.13.	Ficha de cadastro	80
Figura 4.14.	Ficha de Levantamento Geomecânico.....	81
Figura 4.15.	Localização das janelas de amostragem – Pedreira Araguaia.	82
Figura 4.16.	Localização das janelas de amostragem – Pedreira Anhanguera.	83
Figura 4.17.	Vista Panorâmica das janelas - Pedreira Araguaia.	83
Figura 4.18.	Vista Panorâmica das janelas - Pedreira Anhanguera.	84
Figura 4.19.	Medição da rugosidade com o perfilômetro	84
Figura 4.20.	Preparação dos corpos de prova.	85

Figura 4.21.	(a) Montagem do equipamento - ensaio resistência à compressão uniaxial (b) Amostra pronta para a realização do ensaio; (c) aquisição de dados	86
Figura 4.22.	Tipo de Ruptura: (a) Ruptura Amostra “A”; (b) Ruptura Amostra “B” – Pedreira Anhanguera	87
Figura 4.23.	(a) Amostras prontas – ensaio de resistência à tração; (b) Vista do equipamento para o ensaio à tração.....	87
Figura 4.24.	(a) Montagem do equipamento; (b) Amostras ensaiadas, note-se a ruptura no corpo de amostras.	88
Figura 5.1.	Mapa de localização das pedreiras	90
Figura 5.2.	Mapa de localização das pedreiras quanto aos municípios.	91
Figura 5.3.	Mapa de localização das pedreiras quanto à geologia por grupos.....	92
Figura 5.4.	Mapa de localização das pedreiras quanto à geologia por litologia.	92
Figura 5.5.	Mapa de localização das pedreiras quanto à geomorfologia.	94
Figura 5.6.	Mapa de localização das pedreiras quanto os solos.....	95
Figura 5.7.	Curvas tensão- deformações axial, radial das amostras da pedreira Araguaia.	97
Figura 5.8.	Curvas tensão vs. deformações axial, radial das amostras da pedreira Anhanguera.....	97
Figura 5.9.	Diagrama Força vs. Tempo - Pedreira Araguaia	99
Figura 5.10.	Diagrama Força vs. Tempo - Pedreira Anhanguera	99
Figura 5.11.	Janela 1 – Pedreira Araguaia – talude 263° NE.....	100
Figura 5.12.	Janela 2 – Pedreira Araguaia – talude 240° NE.....	101
Figura 5.13.	Janela 3 – Pedreira Araguaia – talude 352° NE.....	101
Figura 5.14.	Janelas 1,2,3 – Pedreira Araguaia.....	101
Figura 5.15.	Janela 1 – Pedreira Anhanguera – talude 263° NE.....	102
Figura 5.16.	Janela 2 – Pedreira Anhanguera – talude 245° NE.....	102
Figura 5.17.	Janela 3 – Pedreira Anhanguera – talude 243° NE.....	103
Figura 5.18.	Janela 1,2,3 – Pedreira Anhanguera	103
Figura 5.19.	Metodologia desenvolvida para o cadastramento georreferenciado.....	105
Figura 5.20.	Tela de consulta do cadastro georreferenciado.....	107
Figura 5.21.	Tela do ArcMap mostrando o mapa de localização de pedreiras e as diversas informações cadastradas - Pedreira Araguaia.....	108
Figura 5.22.	Tela do ArcMap mostrando o mapa de localização de pedreiras e as diversas informações cadastradas - Pedreira Anhanguera.....	108

Lista de símbolos e abreviações

A1, A2	Denominação da rocha segundo o grau de alteração
A3, A4	Denominação da rocha segundo o grau de alteração
C1, C2	Denominação da rocha de acordo com a coerência
C3, C4	Denominação da rocha de acordo com a coerência
CSF	Cráton do São Francisco
D	Diâmetro do corpo de prova
E	Módulo de Elasticidade
E	Leste
F1, F2	Denominação do maciço rochoso de acordo com o grau de fraturamento
F3, F4	Denominação do maciço rochoso de acordo com o grau de fraturamento
F5	Denominação do maciço rochoso de acordo com o grau de fraturamento
G1	Granitóides Gama 1
G3	Granitóides Gama 3
GSI	Índice de resistência do maciço rochoso (Geological Stress Index)
GPa	Gigapascal
GPS	Global Position System
GRIB	Gridded Binary
GO	Goiás
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
ISRM	Associação Internacional de Mecânica das Rochas (International Society for Rock Mechanics)
kN	Quilonewton
kPa	Quilopascal
km	Quilometro
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N	Norte
NE	Nordeste
Q	Índice de qualidade do maciço rochoso (Rock Quality Index)
RMi	Índice do maciço rochoso (Rock Mass Index)
RMR	Qualidade do maciço rochoso (Rock Mass Rating)
RMR ₈₉	RMR de 1989
RQD	Índice de qualidade da rocha (Rock Quality Designation)
RS	Rio Grande do Sul
S	Sul
SINDIBRITA	Sindicato das Indústrias Extrativas de Pedreiras do Estado de Goiás
SMR	Qualidade do maciço rochoso do talude (Slope Mass Rating)
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
v.5.0	versão cinco (referente ao programa)
W	Oeste
ν	Coefficiente de Poisson
σ_c	Resistência à compressão uniaxial
σ_t	Resistência à tração

CAPÍTULO 1 : Introdução

A mineração no Brasil foi reconhecida pelo governo federal como um dos três pilares de sustentação do desenvolvimento do país. A mineração é sem dúvida um fator determinante no desenvolvimento do Brasil, não somente como gerador de riquezas, mas também como mecanismo de progresso e desenvolvimento de diversas regiões brasileiras.

Os recursos em agregados são, em geral, abundantes no Brasil, porém existem algumas regiões com escassez significativa destes materiais o que encarece o preço para o consumidor final devido ao custo de transporte. Entretanto, os grandes centros consumidores encontram-se normalmente em regiões geologicamente favoráveis à existência de reservas de boa qualidade o que favorece o seu aproveitamento.

Especificamente, para o caso de britas, a participação dos tipos de rochas utilizadas na produção de pedra britada no Brasil é a seguinte: granito e gnaisse – 85%; calcário e dolomito – 10%; basalto e diabásio – 5%. O número de empresas que produzem pedra britada é da ordem de 660, sendo responsáveis por cerca de 20 mil empregos diretos e 100 mil indiretos. Do total das pedreiras, 60% produzem menos que 200 mil t/ano por unidade; 30% produzem entre 200 mil t/ano e 500 mil t/ano e 10% produzem mais que 500mil t/ano (DNPM, 2004).

Analisando a produção específica de agregados, esta vem aumentando consideravelmente a partir da década de 60, atualmente, vê-se um aquecimento neste setor, principalmente nas grandes metrópoles. Destaca-se a região metropolitana de São Paulo como o maior mercado consumidor de agregados do país.

Este aumento de demanda tem gerado grandes problemas relacionados à degradação ambiental, exaustão de recursos e geração descontrolada de rejeitos e resíduos devido principalmente às práticas pouco controladas de extração. Como alternativa para minimização destes problemas e também para controle do mercado, muitas empresas do setor de agregados têm se organizado em sindicatos cujo objetivo é controlar o processo produtivo e aumentar a eficiência do processo de extração e beneficiamento.

Para contribuir com o desenvolvimento sustentável do setor mineral, faz-se necessária a realização de pesquisas que avaliem o potencial das empresas mineradoras, propondo melhorias que visem otimizar o processo produtivo. Tais melhorias tendem a influir diretamente na redução dos rejeitos gerados e dos custos relativos à sua destinação, bem como no aumento da eficiência da produção.

Desta forma, é necessário avaliar determinados parâmetros, sendo importantes compilar os dados relacionados à localização, produção, exploração, assim como informações referentes aos rejeitos, (sendo que a quantidade dos mesmos está ligada ao planejamento de fogo e este por sua vez aos parâmetros geomecânicos do maciço). Estes dados, quando agrupados por meio da criação de banco de dados, tendem a propiciar mecanismos de consulta que irão auxiliar no reconhecimento e aprimoramento das atividades relacionadas à produção mineral.

Como ferramenta essencial para elaboração destes bancos de dados pode-se destacar a aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de caráter multidisciplinar. O SIG representa uma técnica de geoprocessamento que engloba o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas cartográficas, dentre outras e que contribuem, neste caso, no entendimento dos aspectos geológicos, geomorfológicos, topográficos, hidrográficos, solos, em que a mineração é desenvolvida.

A engenharia geotécnica, mais especificamente a mecânica das rochas, permite estudar o comportamento do maciço rochoso e se mostra bastante aplicada na avaliação da fragmentação do material rochoso que é um aspecto importante no contexto das operações mineiras. A caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos é utilizada principalmente para o estudo da estabilidade dos taludes em mineração a céu aberto. Adicionalmente, é muito importante no planejamento da escavação a fogo, a obtenção de informações sobre certos parâmetros importantes, tais como o espaçamento, direção e persistência das descontinuidades que certamente contribuirão decisivamente para um maior êxito da detonação.

As propriedades geomecânicas do maciço rochoso são de fundamental importância no projeto de desmonte por explosivos. O uso de planos de fogo de características invariáveis sem considerar as mudanças destas propriedades pode conduzir a uma quebra excessiva ou

fragmentação deficiente, excessos de finos, danos às paredes das bancadas adjacentes, impactos ambientais e custos operacionais maiores que os custos previstos em projeto.

Assim, para realizar os cadastros com grande quantidade de dados, os sistemas de informações geográficas (SIG) são muito utilizados uma vez que podem ser aplicados em vários campos, como exemplo em planejamento urbano, impacto ambiental, saúde, e também em geomecânica. A este respeito existem diversos trabalhos referentes ao cadastramento de ocorrências de minerais realizados segundo os interesses de estados, regiões, bacias, empresas, órgão de fiscalização etc.

No ano 1975, o Estado da Bahia, juntamente com a Secretaria de Minas e Energia, realizaram o projeto intitulado “Projeto de cadastramento de ocorrências minerais do Estado da Bahia”, com o principal objetivo de averiguar o acervo de informações minerais existentes no Estado, fornecendo subsídios para a avaliação da potencialidade desde setor e, respectivamente, para a seleção de áreas favoráveis a investimentos. Como resultados foram relacionadas 444 ocorrências minerais, das quais: 130 (29%) foram cadastradas, 72 (16%) não foram localizadas ou visitadas, 212 (48%) repetidas, 30 (7%) não constatadas. Das 130 ocorrências cadastradas, destacaram-se as argilas, caulins, siltes, folhelhos e areias, correspondendo a 61.53% daquele total.

A CPRM iniciou em 2002 o “Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre (RS)” que teve como objetivo contribuir com as prefeituras que compõem a região metropolitana de Porto Alegre, para o planejamento e a regulação da ocupação do solo, visando o desenvolvimento sustentável da atividade de mineração, e eliminação de conflitos de uso do espaço metropolitano. Em 2004, o projeto foi concluído com a estruturação do banco de dados informatizado do cadastro mineral, de toda a região metropolitana, com 513 registros de pedreiras, cavas, minas, em atividade, paralisadas ou abandonadas, contemplando 31 municípios, abrangendo uma área aproximada de 9.825 km², com uma população de 3 milhões e 500 mil habitantes. Os resultados incluem também a indicação de fontes de materiais de emprego na construção civil, para beneficiar a edificação de casas populares, diminuindo o deficit habitacional da região, contribuindo para o Programa de Subsídios à Habitação de Interesse Social. Foram produzidos os Mapas de Cadastro Mineral, Geológico Integrado, Potencial Mineral, Sistemas Aquíferos e o Mapa das Jazidas de Carvão Mineral a escala 1:250 000, acompanhados dos respectivos relatórios, sendo que o conjunto de

informações geradas pela CPRM constitui um valioso acervo para a implantação do Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre.

Outro trabalho de cadastro foi realizada por Neves, (2002), na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), intitulado “Cadastro dos Recursos Minerais na Bacia de Ibicui”, cujo objetivo foi avaliar a potencialidade dos recursos minerais na área da Bacia do Rio Ibicui/RS, essa avaliação foi realizada a partir do cadastramento da atividade de extração mineral. Como resultados foram obtidas 336 ocorrências minerais destacando-se em primeiro lugar o município de Sant’Ana do Livramento com gemas (ametista, ágata), em segundo lugar o Município de Santa Maria com 58 ocorrências de basalto, areia, argila, saibro, água mineral e gemas (ágata, ametista) e em terceiro lugar o Município de Dom Pedrito com 40 ocorrências de ouro (sulfeto), cromo, tungstênio, granito ornamental, carvão, água mineral e calcário.

Pininska (2004) publicou o artigo “Aplicação do SIG à geomecânica” com o objetivo de organizar a base de dados, com informações provenientes das empresas de mineração na Polônia, assim como informações dos testemunhos de rochas e amostragem que se realizaram nas construções históricas e monumentais de modo a atingir *standards* europeus para o intercambio de informação e incentivar as pesquisas em outra áreas. Como resultado, o trabalho conta com uma base de mais de 60.000 informações relacionados às amostras de rochas. Cabe ressaltar que a informação e utilização da base de dados geomecânicos é particularmente difícil devido à variabilidade das propriedades geomecânicas.

Baseado nestas experiências e na necessidade de conhecer o processo produtivo relativo à extração de agregados foi proposta a realização de um levantamento das informações a respeito destes empreendimentos mineiros visando a elaboração de um banco de dados georreferenciado para as pedreiras situadas no entorno da cidade de Goiânia.

Segundo dados do DNPM, 2006 o estado de Goiás, situado no Centro-Oeste brasileiro abrange uma área de 340.086,698 km², com uma população estimada de 5.620.000 habitantes (IBGE, 2003), teve uma produção beneficiada de 4.077.608 m³ rochas britadas e cascalho. Quanto às reservas minerais as maiores são de titânio, calcário e rochas ornamentais. As reservas de rochas britadas e cascalho, apesar de sua importância econômica para o estado, ainda não foram totalmente estimadas.

A região do entorno de Goiânia caracteriza-se pela existência de importantes centros produtores de agregados e em vista do desenvolvimento do próprio município participa como importante mercado consumidor destes insumos minerais básicos essenciais para a construção e manutenção de residências, edifícios, pontes, túneis, estradas, viadutos e quaisquer outras obras de infra-estrutura. Além disso, a maioria das empresas deste setor esta vinculada ao Sindicato das Indústrias Extrativas de Pedreiras do Estado de Goiás (SINDIBRITA / GO).

1.1. Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivos:

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é estabelecer uma metodologia para o cadastro, mapeamento e caracterização de jazidas relativas às pedreiras para produção de agregados situadas no entorno da cidade de Goiânia, gerando um banco de dados no Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permita a consulta rápida de informações a respeito do seu processo produtivo.

1.1.2. Objetivos Específicos

- ◆ Localizar as pedreiras na fase de lavra (em atividade) no entorno da cidade de Goiânia/GO utilizando imagens satélites;
- ◆ Verificar em campo as pedreiras localizadas;
- ◆ Elaborar fichas de cadastros e realizar o respectivo cadastramento com base nas informações contidas nas fichas;
- ◆ Realizar ensaios de laboratório em amostras de rocha intacta coletadas nas frentes de lavra para caracterização dos maciços rochosos;
- ◆ Classificar os maciços rochosos;
- ◆ Criação do banco de dados georreferenciados;
- ◆ Propor uma metodologia de confecção do banco de dados digital com informações georreferenciadas.
- ◆ Disponibilizar o banco de dados (pesquisadores, donos das pedreiras, etc)

1.1.3. Escopo da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em sete capítulos descritos sucintamente a seguir:

O capítulo 1 corresponde à introdução, objetivo geral e específicos da pesquisa.

O capítulo 2 trata a abordagem teórica sobre Agregados de Construção Civil, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que relata a as técnicas de geoprocessamento; Classificações de Maciços abordando a metodologia empregada com os respectivos conceitos de mapeamento geomecânico.

O capítulo 3 expõe as características físicas da zona de estudo: abordando-se a localização e acesso, aspectos socioeconômicos, clima, fisiografia, geomorfologia, hidrografia, geologia (litologia), geologia estrutural da região.

O capítulo 4 apresenta os materiais empregados e programas utilizados, assim como a metodologia.

O capítulo 5 apresenta os resultados e análise referente ao cadastro georreferenciado, classificação geomecânica de pedreiras no entorno da cidade de Goiânia.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões obtidas e as sugestões para futuras pesquisas.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no decorrer desta pesquisa e tabelas e gráficos para consulta nos Apêndice A e B.

CAPÍTULO 2 : Marco teórico

Neste capítulo serão abordados os conceitos teóricos de agregados para a construção civil, técnicas operacionais utilizados princípios de SIG e geoprocessamento, assim como os conceitos básicos de mecânicas das rochas que servirão para classificar os maciços rochosos.

2.1. Agregados de Construção

Alguns insumos minerais são extremamente essenciais para construção e manutenção de residências, edifícios, pontes, túneis, estradas, viadutos e quaisquer outras obras de infraestrutura necessárias à manutenção da produção e circulação de bens, mercadorias e serviços. Estes insumos são importantes para o desenvolvimento, bem-estar e sobrevivência do gênero humano.

O termo “agregados para a construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil. Os agregados são basicamente a areia e a rocha britada (DNPM, 2004). Estes materiais podem ser classificados conforme a sua dimensão (Tabela 2.1). A Figura 2.1 apresenta um esquema de classificação dos agregados com base na forma de obtenção, natureza e densidade.

Tabela 2.1. Classificação dimensional dos agregados (NBR 7225).

Agregado graúdo	4,75mm (n.4) / 75mm(3”)
Agregado miúdo	0,150 mm (#100) / 4,75mm
Pedrisco	0,75mm / 12,5mm (1/2”)
Pó de pedra	< 6,3mm (1/4”)
Filler	< 0,150mm

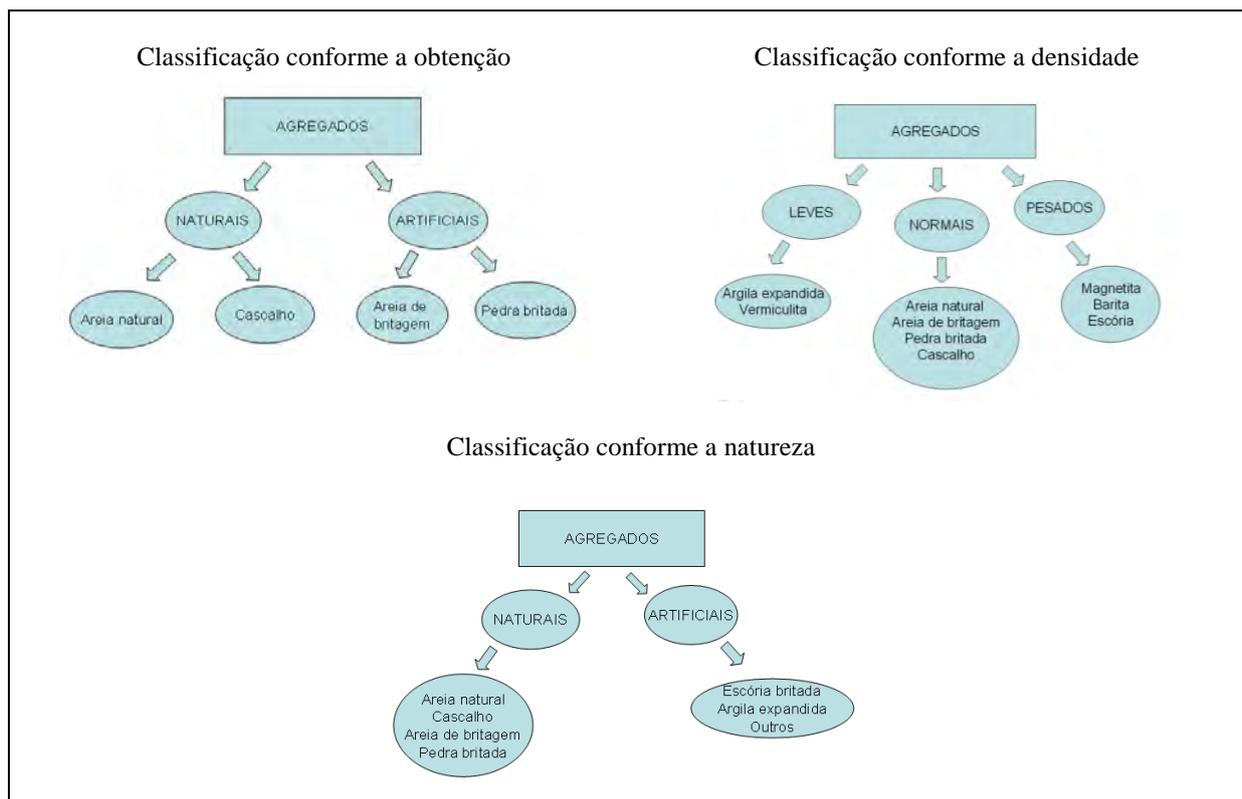


Figura 2.1. Classificação dos agregados para construção civil.

Sendo que os agregados mais utilizados são areias e rocha britada a continuação serão definidas brevemente.

2.1.1. Areia

Os tipos de areia mais comercializados são: areia fina, média e grossa, além do saibro (basicamente uma mistura de areia e argila). O comércio de saibro, entretanto, está cada vez mais difícil, devido ao grande número de empresas clandestinas que foram embargadas por problemas ambientais. (DNPM, 2007)

2.1.2. Pedra britada

Conhecida também como brita, que é um termo utilizado para denominar fragmentos de rochas duras, originárias de processo de beneficiamento (britagem e peneiramento) de blocos maiores, resultantes do desmonte por explosivos de maciços como granito, gnaiss, basalto, etc.

Existem basicamente quatro tipos de britas, com diferentes aplicações.

A brita 0 é utilizada na fabricação de asfalto, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.

A brita 1 é o produto mais utilizado pela construção civil, na fabricação de concreto, com diversas aplicações como na construção de pontes, edificações e grandes lajes.

As britas 2 e 3 são britas de maior dimensão, voltadas para fabricação de concreto, principalmente em formas mais pesadas.

Também é comercializado o pó de pedra, muito utilizado no assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, além de fazer parte na composição de concreto e asfalto, substituindo com qualidade à areia de rio.

É importante mencionar que atualmente os rejeitos, produzidos pelas pedreiras no processo de britagem para a obtenção da brita e areia e exploração de rochas ornamentais, estão sendo estudados pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) que vem atuando no estudo do aproveitamento destes rejeitos em pavimentação asfáltica (CETEM, 2005). Outra pesquisa foi realizada considerando a utilização desses rejeitos na estabilização de solos tropicais avaliando o comportamento geotécnico e aproveitamento em obras de pavimentação (Batalione, 2007).

Neste contexto, é necessário conhecer a quantidade de rejeitos que são produzidos pelas pedreiras e onde elas se localizam para viabilizar seu uso. Assim as técnicas de geoprocessamento ajudam na localização geográfica de pedreiras.

2.2. Geoprocessamento

Carvalho et al. (2000) define o termo geoprocessamento de uma forma bastante ampla, englobando diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, em programas computacionais. Dentre essas tecnologias destacam-se: o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação e tarefas cartográficas, a utilização de sistemas de posicionamento global – GPS e os Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas, dentre outros, sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto dificultava uma análise que combinasse diversos bases e dados. Com o desenvolvimento da informática, na segunda metade do século XX, tornou-se possível armazenar e representar informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do geoprocessamento.

Segundo Câmara et al. 2001, o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. Dentre as ferramentas computacionais para geoprocessamento, as chamadas de sistemas de informações geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados.

O geoprocessamento, tem assumido um papel fundamental, como forma visual mais simples e didática, para quantificar e qualificar modificações impostas ao meio ambiente.

2.2.1. Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto é definido por Meneses (2001): uma técnica para obter informações sobre objetos com uso de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos investigados.

Por não haver contato físico, a forma de transmissão dos dados (do objeto para o sensor) só pode ser realizada pela Radiação Eletromagnética, por ser esta a única forma de energia capaz de se propagar pelo vácuo. Considerando a Radiação Eletromagnética como uma forma de energia, o Sensoriamento Remoto pode ser definido com maior rigor como uma medida de trocas de energia que resulta da interação entre a energia contida na Radiação Eletromagnética de determinado comprimento de onda e a contida nos átomos e moléculas do objeto de estudo.

As imagens são registros de cenas focalizadas por sensores com respostas em faixas de frequência bem definidas no espectro eletromagnético conforme a Figura 2.2.

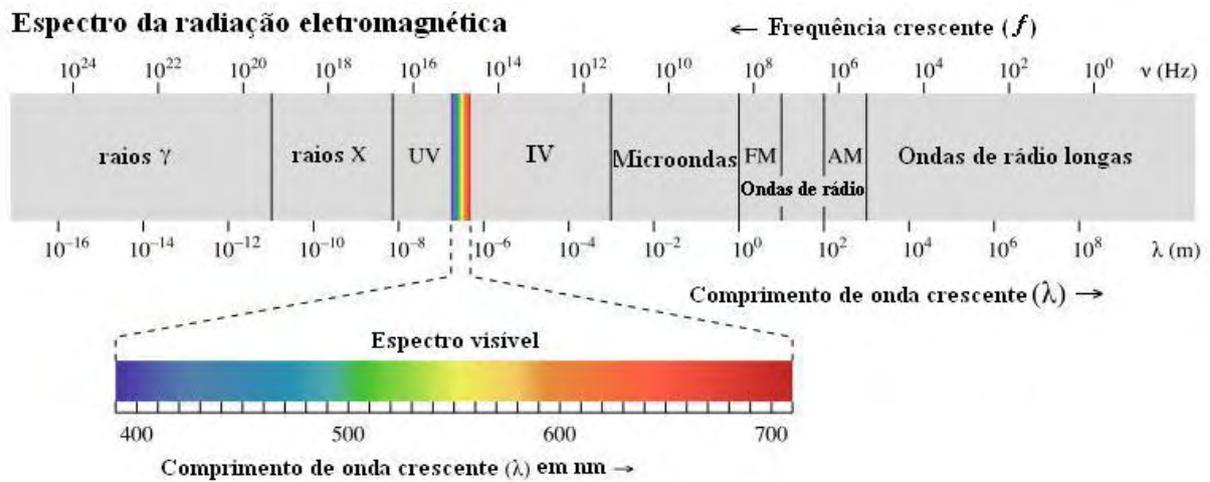


Figura 2.2. Espectro eletromagnético (Jensen, 2000).

Os principais satélites que contém os sensores são citados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Principais satélites.

SATÉLITE	Nº BANDAS MULTIESPECTRAL	Nº BANDA PANCROMÁTICA	RESOLUÇÃO MS (m)	RESOLUÇÃO PAN (m)
IKONOS	4	1	4	1
QUICK BIRD	4	1	2,44	0,61
SPOT 4	4	1	20	10
SPOT 5	4	1	10	5
ASTER	14	0	de 15 à 90	
CBERS CCD	4	1	20	20
IRS	0	1		5,8
LANDSAT ETM ⁺	7	1	30	15

O satélite CBERS CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução) fornece quatro bandas multiespectrais e uma banda pancromática, as quais podem ser utilizadas com aplicações múltiplas conforme a Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Aplicações das bandas da Câmara CCD do satélite CBERS

Bandas espectrais	Faixa espectral μm	Aplicações
Banda 1 (azul - B)	0,45-0,52	Mapeamento de águas costeiras; Diferenciação entre solo e vegetação; Diferenciação entre vegetação conífera e decídua;
Banda 2 (verde - G)	0,52-0,59	Mapeamento de vegetação; Qualidade d'água;
Banda 3 (vermelho - R)	0,63-0,69	Absorção de clorofila; Diferenciação de espécies vegetais; Áreas urbanas, uso do solo; Agricultura; Qualidade d'água;
Banda 4 (infravermelho próximo)	0,77-0,89	Delineamento de corpos d'água; Mapeamento geomorfológico; Mapeamento geológico; Áreas de queimadas; Áreas úmidas; Agricultura; Vegetação;

Os recursos naturais e o meio ambiente estão em mudanças contínuas em resposta à evolução natural e às atividades humanas. Para compreender o complexo inter-relacionamento dos fenômenos que causam estas mudanças é necessário fazer observações com uma grande gama de escalas temporais e espaciais. A observação da Terra por meio de satélites é uma maneira efetiva e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar estes fenômenos, especialmente em países de grande extensão territorial, como o Brasil.

Com o uso de programas dedicados exclusivamente para tratamento de imagens, pode-se gerar imagens com diferentes composições de cores, ampliações de partes das imagens e classificações temáticas dos objetos nelas identificados, obtendo-se assim produtos como mapas temáticos que são usados para estudos de geologia, vegetação, uso do solo, relevo, agricultura, rede de drenagem, inundações, entre outros.

Após o advento dos satélites de observação da terra, os estudos ambientais deram um salto enorme em termos de qualidade, agilidade e número de informações. Principalmente os países em desenvolvimento foram os grandes beneficiados desta tecnologia, pois com o seu uso é possível realizar as seguintes atividades:

- Desenvolver mapas e obter informações sobre áreas de ocorrências de bens minerais, bacias de drenagem, agricultura, florestas;
- Melhorar e fazer previsões com relação ao planejamento urbano e regional;

- Monitorar desastres ambientais, tais como: enchentes, poluição de rios e reservatórios, erosão, movimentos de massas e secas;
- Monitorar desmatamentos;
- Estudos sobre correntes oceânicas e movimentação de cardumes, aumentando assim a produtividade na pesca;
- Estimativa da taxa de deflorestamento;
- Suporte dos planos diretores municipais;
- Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impacto sobre Meio Ambiente (RIMA);
- Levantamento de áreas favoráveis para exploração de mananciais hídricos subterrâneos;
- Monitoramento de mananciais e corpos hídricos superficiais;
- Levantamento integrado de diretriz para rodovias e outras vias (férica, autovias, etc.);
- Monitoramento de lançamento e de dispersão de efluentes em domínios costeiros ou em barragens;
- Estimativa de área plantada em propriedades rurais para fins de fiscalização do crédito agrícola;
- Identificação de áreas de preservação permanente e avaliação do uso do solo;
- Implantação de pólos turísticos ou industriais;
- Avaliação do impacto de instalação de rodovias, ferrovias ou de reservatórios;

2.2.2. Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) surgiram da necessidade de integrar dados alfanuméricos descritivos com sua representação gráfica, mas precisamente, cartográfica, para a realização do geoprocessamento. O SIG é uma ferramenta capaz de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar e imprimir dados referenciados espacialmente em relação à superfície da Terra (Maguire, 1991).

A Figura 2.3 mostra o esquema de entrada e saída de dados em um SIG.



Figura 2.3. Entrada e saída de dados (LABGIS).

O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma dualidade básica para SIG. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas.

As principais características dos SIG são:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, com uso de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

2.2.3. Cadastro técnico multifinalitário

O cadastro técnico é conhecido por profissionais da área de geoprocessamento como cadastro técnico multifinalitário ou cadastro técnico multifuncional. Segundo Loch (1989), o cadastro técnico multifinalitário é fundamentado em diversos mapas temáticos que, quando relacionados entre si são ferramentas ideais para o planejamento. Este autor afirma que o cadastro técnico multifinalitário é muito importante no controle ambiental, pois está

fundamentado em várias técnicas, devendo ter o respaldo da legislação pertinente ao uso e ocupação do solo para sua concretização.

Loch (1989) acrescenta ainda que para a maior utilidade do cadastro técnico multifinalitário e para que o banco de dados possa ser uma ferramenta no processo decisório, devem ser observadas algumas características e potencialidades fundamentais que devem consubstanciar e justificar a sua implementação e manutenção. Estas características são:

- Características técnicas multifinalitárias – Possuir atribuições de modo a satisfazer a diversidade das necessidades dos usuários;
- Formação de banco de dados multifinalitários – Deve apresentar de modo seguro e simples, a disponibilidade das informações para o acesso direto dos diversos usuários, com respeito à praticidade, objetividade e oportunidade;
- Geoprocessamento das informações gráficas – A potencialidade da execução de tratamentos geográficos das informações coletadas deve ser observada como um elemento relevante para o processo decisório;
- Geração de subsídios para a expansão auto-sustentável – Deve sofrer o incremento de sua capacidade para a reprodução de informações pormenorizadas, capazes de orientar o crescimento das comunidades com base nos pressupostos da ecologia;
- Geração de estratégias sócio-econômicas institucionais – Deverá auferir sustentação técnica e científica ao planejamento estratégico;
- Geração de estratégias físico territorial e ambiental – Deverá oferecer elementos cartográficos relacionados à ecologia, trabalhados em bases concretas, de modo a poder contribuir para a efetividade do planejamento estratégico no âmbito da gestão;
- Geração de geoinformações espaciais e numéricas – Deve reforçar a presença do cadastro técnico multifinalitário na contextualização espacial das atividades gerenciais no âmbito e na abrangência do processo decisório;
- Interação entre as concessionárias públicas – A multiplicidade de atores sociais envolvidos nos processos gerenciais confere ao cadastro multifinalitário significativa importância no momento em que este passa ser capaz de propiciar interatividade técnica entre as concessionárias de direito público e privado, oportunizando sinergia gerencial com base na troca e incremento de informações gerais.

- Sustentação ao sistema de arrecadação tributária – Característica intrínseca do cadastro multifinalitário, pois agiliza e torna efetivos os processos de arrecadação e captação de receitas na forma de impostos, contribuições e taxas.
- Sustentação ao zoneamento ecológico – Confere sustentação às atividades que podem ser implantadas em uma região, indicando a localização adequada para implantação de projetos e investimentos que possibilitem o desenvolvimento da região. Em determinadas situações o cadastro técnico multifinalitário pode ser entendido como elemento imprescindível para a elaboração de cartas de risco.

Para realizar um cadastro com informações geomecânicas de pedreiras podem-se utilizar os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), mas para obter as informações é necessário caracterizar e classificar os maciços.

2.3. Caracterização de maciço rochoso

A grande maioria dos agregados são produzidos diretamente por britagem de maciços rochosos. O processo é iniciado com a determinação do local de exploração, seguido da limpeza do maciço (retirada de vegetação e excesso de solo), perfuração da rocha, carregamento dos furos (colocação dos explosivos), detonação e transporte da pedra detonada para o beneficiamento. Vencidas estas etapas inicia-se o processo final de transformação da rocha em agregados, conforme a Figura 2.4.

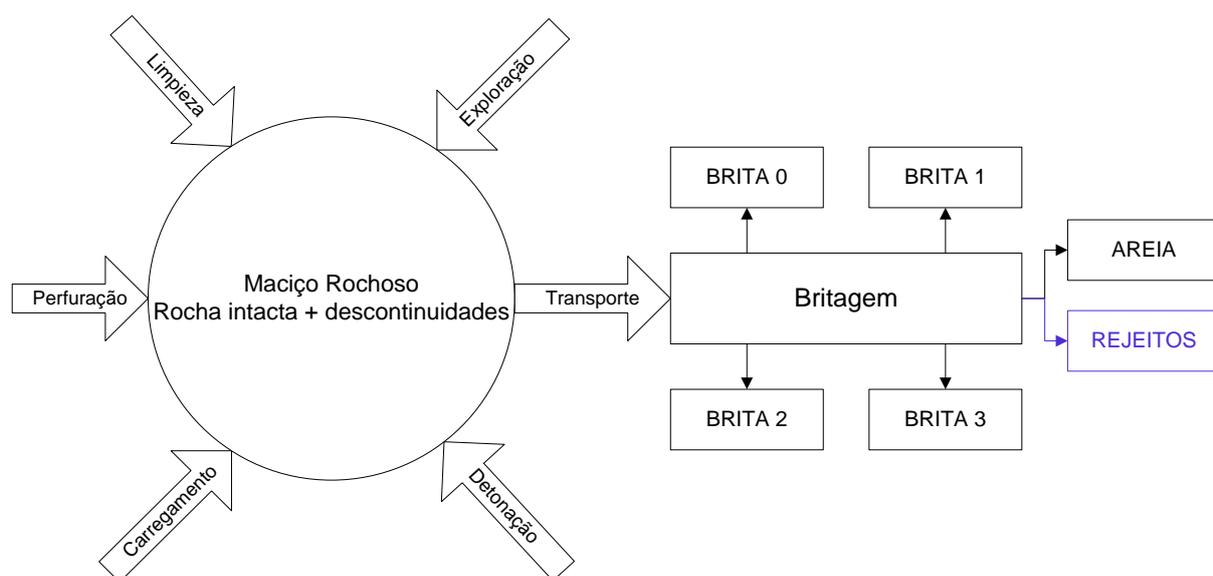


Figura 2.4. Processo de obtenção de agregados.

Para avaliação das características do maciço rochoso é necessária a colocação em evidência dos atributos do meio rochoso (Serra & Ojima, 1998). Sendo necessários métodos de levantamento geomecânico para evidenciar os atributos do maciço rochoso o que pode ser feito a partir de sondagem o mapeamento de afloramentos.

2.3.1. Mapeamento Superficial de Estruturas Expostas

Os métodos de mapeamento ou amostragem no campo das discontinuidades do maciço rochoso foram discutidos por diversos pesquisadores Hoek & Brown, 1980; Hoek & Bray, 1981; Meza et al., 2002, destacam dois critérios de mapeamento mais utilizados:

- o mapeamento por área definida chamada janelas de amostragem (*sampling windows*), neste mapeamento são registradas todas as discontinuidades que interceptam uma treva numa distância de 30 m esticada na face de um túnel ou no maciço de interesse. Figura 2.5.



Figura 2.5. Janelas de amostragem

- e a amostragem linear (*scanline*), a técnica consiste no mapeamento de todas as estruturas que parecem ser importantes presentes numa área delimitada por uma faixa de comprimento de 20 m pela altura da bancada espaçadas em intervalos de 30 m na face de um talude (Figura 2.6). Esta forma de mapeamento é geralmente utilizada em minas a céu aberto.

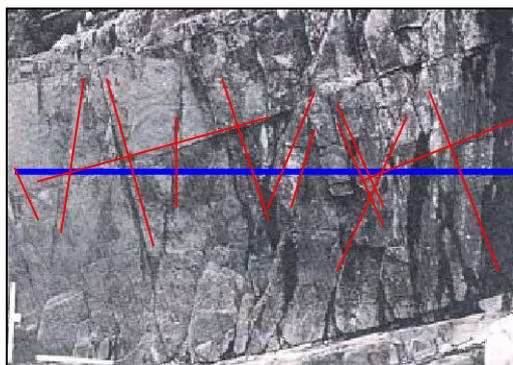


Figura 2.6. Amostragem linear

Para mapear as estruturas deve-se, em primeira instância, determinar as coordenadas geográficas das discontinuidades, sendo esta característica do posicionamento da mesma no espaço, descrita pela direção da linha de máxima declividade (mergulho) e pelo ângulo de mergulho da linha de maior inclinação sobre o plano da discontinuidade. Na mecânica das rochas, existe uma tendência de representar a orientação da discontinuidade pelo ângulo do vetor mergulho com a horizontal ($0-90^\circ$), seguido do azimute do vetor mergulho ($0-360^\circ$).

Existe diversas formas para a apresentação de uma forma sistemática dos dados geológicos de um levantamento geomecânico regional e/ou local: (i) utilização de diagramas de blocos (Goodman & Shi, 1985) (ii) diagrama de roseta (iii) projeção estereográfica. Com estas ferramentas e acompanhado com um relativo tempo de prática e conhecimento de geologia estrutural (análise cinemática) é fácil de realizar a visualização das feições estruturais para a análise de estabilidade. A utilização do método de projeção estereográfica é a melhor forma de representar os dados geológicos estruturais, permitindo o estudo estatístico da distribuição dos dados por meio de métodos gráficos (Hoek & Bray, 1981).

2.3.2. Análise Estrutural

Na análise estrutural se procura representar a orientação espacial das diferentes estruturas geológicas, com o objetivo de entender os mecanismos de deformação na área de estudo e também poder definir a distribuição das tensões que originam as deformações.

O objetivo principal de fazer o levantamento geotécnico, com dados geológicos e estruturais, das estruturas presentes no maciço rochoso é obter a orientação de todas as estruturas geológicas como falhas, juntas, diques, brechas, discontinuidades, trincas de tração, entre

outras, para que, posteriormente, com essa informação se realizem análise cinemática para resolver problemas geoestruturais.

Uma bússola é normalmente utilizada no campo para determinar a orientação de todos os elementos estruturais, na parede do talude (Figura 2.7). Além disso, é necessário gravar as informações qualitativas sobre as superfícies conjuntas para classificação do maciço rochoso e posterior análise. O estereograma é utilizado para visualizar e realizar a estatística dos dados das famílias.

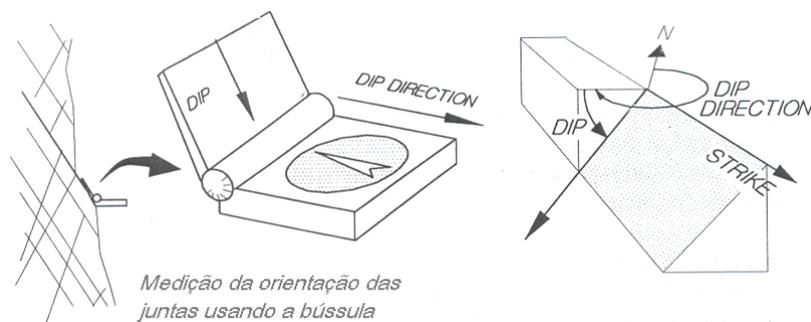


Figura 2.7. Medição de orientações (Hutchinson, 1996)

2.3.3. Investigações geomecânicas de campo e laboratório

O mapeamento das estruturas geológicas e a amostragem de corpos de prova de rocha fornecem informação de boa qualidade para a avaliação geotécnica para caracterizar o maciço rochoso, sendo necessária a execução de ensaios de campo ou de laboratório segundo ISRM (1981):

- Análise petrográfica, executada em laboratório, incluindo a análise de seções delgadas, ensaios granulométricos e análises químicas.
- Propriedades de índices, compreendem basicamente, o teor de umidade, porosidade, massa específica, absorção de água, expansão e desgaste a úmido.
- Propriedades mecânicas definidas por ensaios de resistência à compressão uniaxial, compressão triaxial, carga puntiforme, martelo de Schmidt, velocidade sônica, tração pelo método brasileiro.

Para caracterizar corretamente o maciço é necessário caracterizar a matriz rochosa, ou rocha intacta e as descontinuidades. A rocha intacta pode ser caracterizada por meio de:

- Litologia: tipo de rocha (mineralogia, cor, textura, tamanho dos grãos e estruturas).
- Alteração: às vezes chamada decomposição, constando de dois tipos: deutérica, causada internamente por fenômenos magmáticos, ou intempérica devida a agentes externos pela interação com a atmosfera e a hidrosfera. A Tabela 2.4 mostra a divisão em categorias da rocha definidas de acordo com o grau de alteração.

Tabela 2.4. Categoria da rocha segundo o grau de alteração (modificado - ISRM, 1981).

Siglas	Denominações	Características da Rocha
A1	Rocha sã ou praticamente sã.	Os minerais primários sem vestígios de alterações ou com alterações físicas e químicas incipientes. Neste caso a rocha é ligeiramente descolorida.
A2	Rocha medianamente alterada	Apresenta minerais medianamente alterados e a rocha é bastante descolorida.
A3	Rocha muito alterada	Apresenta minerais muito alterados, por vezes pulverulentos e friáveis.
A4	Rocha extremamente alterada	Apresenta minerais totalmente alterados e a rocha é intensamente descolorida, gradando para cores de solo.

- Coerência ou consistência: é definida com base em propriedades de tenacidade, dureza e friabilidade. É caracterizada de maneira tátil visual de acordo com a resistência que a rocha oferece ao impacto do martelo de geólogo e ao risco com uma lâmina de aço. Na Tabela 2.5, é apresentada uma divisão em categorias da rocha definida pela coerência.

Tabela 2.5. Categoria da rocha segundo a coerência (modificado - ISRM, 1981).

Siglas	Denominações	Características da rocha
C1	Rocha coerente.	Quebra com dificuldade ao golpe de martelo, produzindo fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente riscável por lâmina de aço. Somente escavável a fogo.
C2	Rocha medianamente coerente.	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Superfície riscável com lâmina de aço. Escavável a fogo.
C3	Rocha com coerência média.	Quebra com facilidade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos que podem ser partidos manualmente. Superfície facilmente riscável com lâmina de aço. Escarificável.
C4	Rocha incoerente.	Quebra com a pressão dos dedos, desagregando-se. Pode ser cortada com lâmina de aço. Friável e escavável com lâmina.

- **Faturamento:** quantidade de descontinuidades que intercepta o testemunho, definido em trechos com espaçamento homogêneo; se dá em número de fraturas por metro. Na Tabela 2.6 é apresentada a divisão em categorias da rocha pelo fraturamento.

Tabela 2.6. Categoria da rocha segundo o fraturamento (modificado - ISRM, 1981)

Siglas	Fraturas por metro	Denominação do maciço
F1	<1	Ocasionalmente fraturado
F2	1 - 5	Pouco fraturado
F3	6 - 10	Medianamente fraturado
F4	11 - 20	Muito fraturado
F5	>20	Extremamente fraturado

As descontinuidades (planos de acamamentos, foliações, clivagem, xistosidade, zonas de fraqueza e falhas), podem ser descritas por dez parâmetros (ISRM, 1981):

- **Atitude:** deve ser especificado por meio do vetor mergulho (sentido ou direção do mergulho / mergulho) da linha de maior inclinação no plano da descontinuidade. A direção do mergulho é dada pelo azimute de uma linha perpendicular ao plano da descontinuidade, e o mergulho é a inclinação do plano da descontinuidade em relação à horizontal.
- **Espaçamento:** distância perpendicular entre duas descontinuidades.
- **Persistência:** comprimento do traço da descontinuidade no plano analisado.
- **Rugosidade:** ondulação ou aspereza das paredes das descontinuidades.
- **Resistência das paredes:** resistência à compressão uniaxial do material da parede. Quando a parede não é alterada a resistência é a mesma da rocha intacta.
- **Abertura:** distância perpendicular entre as paredes da descontinuidade.
- **Preenchimento:** material contido nas descontinuidades. As propriedades de resistência e hidráulicas deste material devem ser descritas.
- **Condição de água:** existência ou não de água (umidade, vazão do fluxo).
- **Número de famílias:** descontinuidades num intervalo de coordenadas geográficas.

2.3.3.1. Índice de Qualidade de Rocha (RQD)

No intuito de englobar num só parâmetro os critérios de fraturamento e estado de alteração, Deere et al (1967) introduziu o índice RQD que representa o primeiro indicador de qualidade da rocha baseado numa investigação preliminar em amostra em rocha. Este índice foi também utilizado como classificação geomecânica para avaliar a resistência em algumas estruturas em rocha. Posteriormente, este índice se tornou um parâmetro importante das classificações geomecânicas.

O RQD se baseia numa recuperação modificada, pois na determinação da percentagem de recuperação entram no cálculo os fragmentos de testemunho com comprimento igual ou superior a 10 cm. A percentagem é obtida da avaliação deste fragmentos, somando os comprimentos dos testemunhos com mais de 10 cm e dividindo pelo comprimento do testemunho. A Figura 2.8 a metodologia para medir e calcular o valor de RQD.

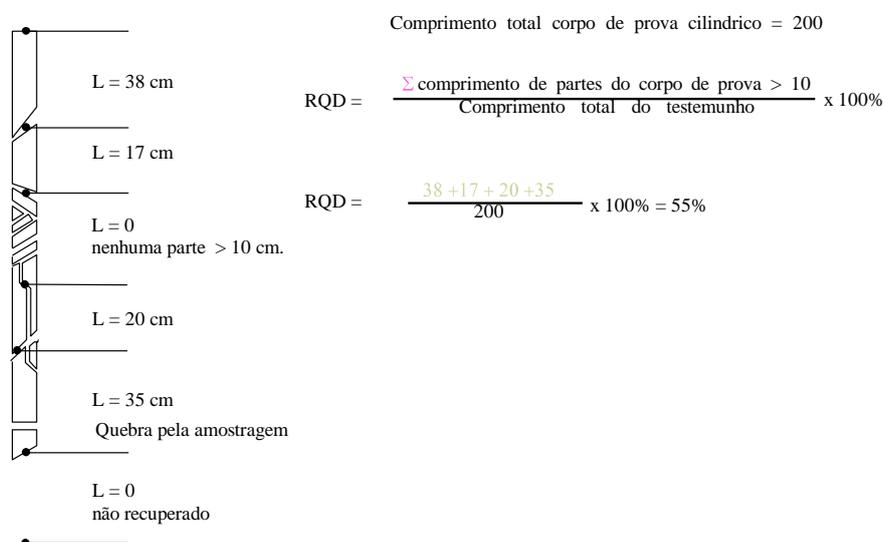


Figura 2.8. Processo para medir e calcular o RQD (modificado - Bieniawski, 1989).

Segundo Deere (1967) o RQD é dividido em cinco grupos conforme pode ser observado na Tabela 2.7.

Tabela 2.7. Qualidade do maciço rochoso - RQD (modificado Deere, 1967).

RQD (%)	Qualidade do maciço
0-25	Muito ruim
25-50	Ruim
50-75	Regular
75-90	Bom
90-100	Excelente

A determinação do RQD é feita utilizando testemunhos em sondagens rotativas. No caso onde as sondagens não são disponíveis, o valor do RQD pode ser alternativamente estimado utilizando zonas expostas do maciço. Palmström (1982) propõe um método alternativo para a estimativa do RQD_w quando os traços das juntas estão expostos na parede conforme a Figura 2.9 o método se baseia na utilização de uma régua graduada de 2 m colocada na face da rocha exposta. O RQD_w é calculado como se estivesse observando um testemunho de sondagens considerando as interseções da régua como se fossem os quebres na sondagem (Figura 2.9). Faz-se a média de pelo menos três medições.

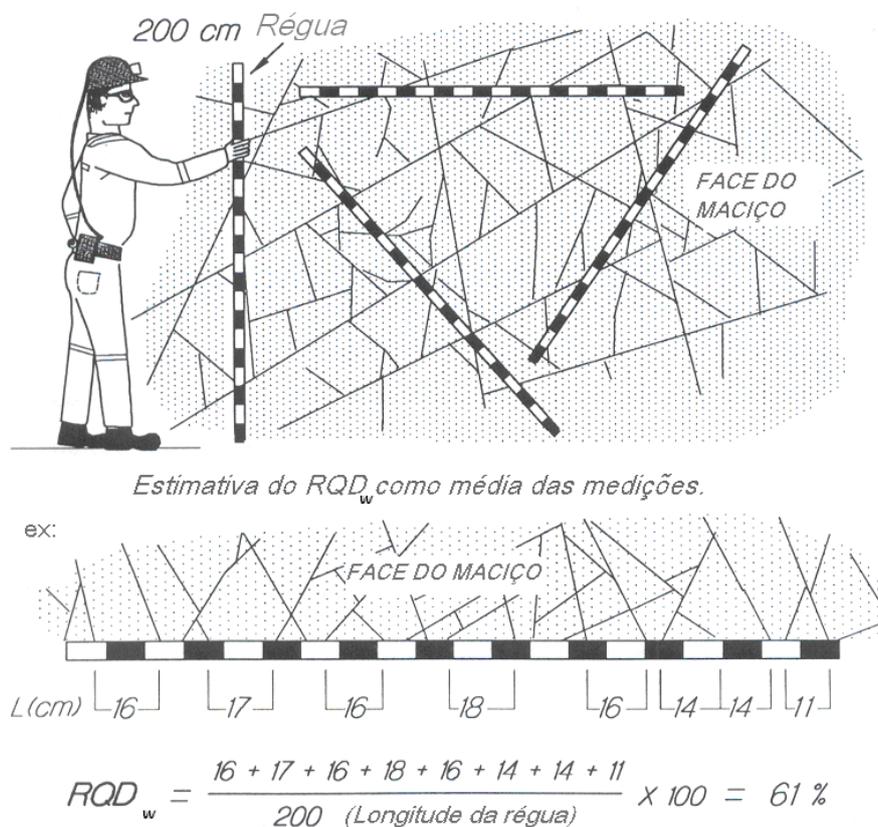


Figura 2.9. Estimativa do RQD_w .

2.3.3.2. Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial

A resistência à compressão uniaxial da rocha (σ_c), como mostrado na Figura 2.10, é definida como a máxima tensão que um corpo cilíndrico suporta quando submetido a um carregamento compressivo axial. A relação entre a altura e o diâmetro do corpo de prova varia entre 2,5 e 3 e o carregamento axial é aplicado por meio de uma prensa de deformação controlada até sua ruptura, sendo a variação de altura e do diâmetro, devido a compressão, medidas durante todo o período de realização do ensaio (ISRM 1981).

Uma amostra cilíndrica de rocha ensaiada à compressão uniaxial, sofre deformações axiais (longitudinais) e radiais (laterais), conforme esquema da Figura 2.10.

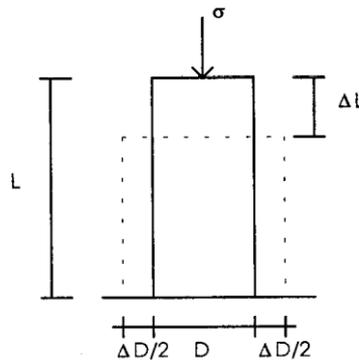


Figura 2.10. Amostra de rocha submetida à compressão uniaxial.

A deformação axial, ϵ_{ax} , é expressa na Equação 2.1:

$$\epsilon_{ax} = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.1)$$

A deformação lateral, ϵ_{rad} , é expressa na Equação 2.2:

$$\epsilon_{rad} = \frac{\Delta D/2 + \Delta D/2}{D} = \frac{\Delta D}{D} \quad (2.2)$$

onde:

ΔL – variação do comprimento da amostra;

ΔD – variação do diâmetro da amostra.

O comportamento tensão-deformação da rocha submetida à compressão desviadora apresenta a seguinte evolução do mecanismo de ruptura conforme a Figura 2.11 distinguindo-se seis regiões:

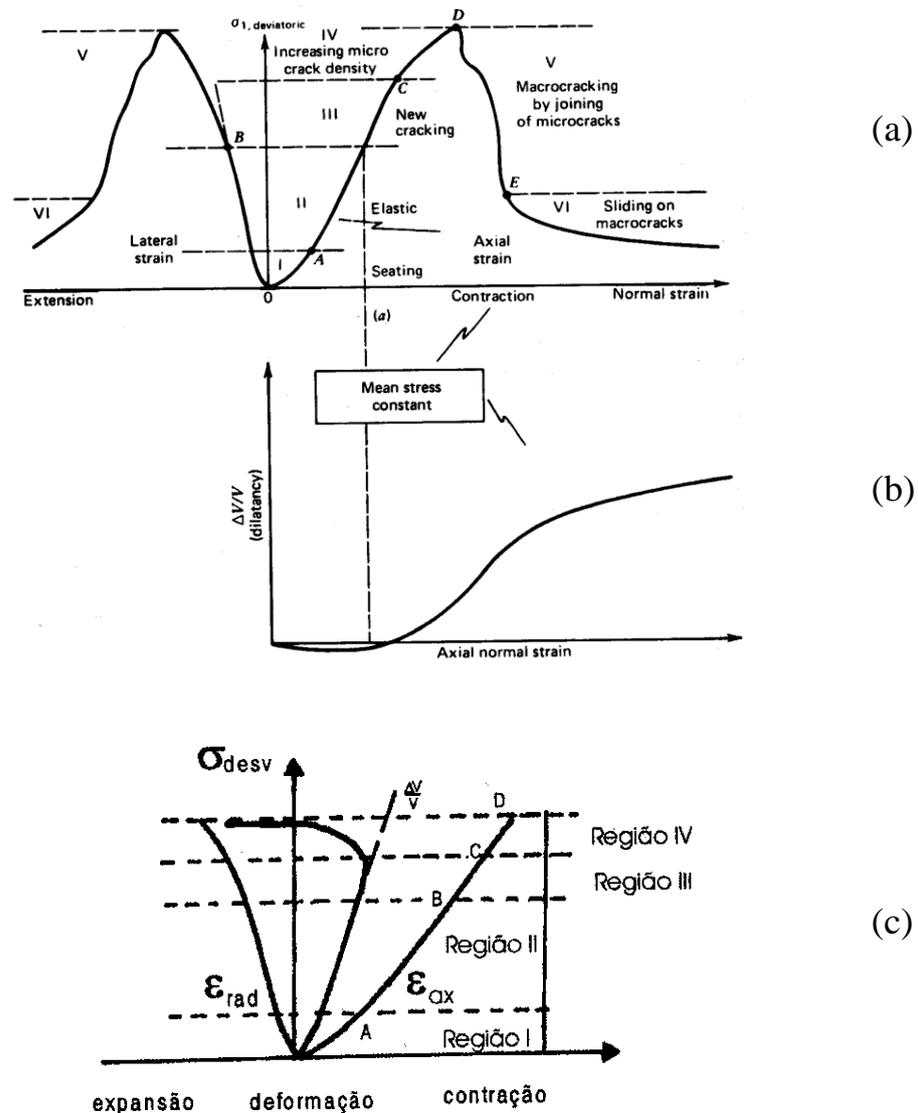


Figura 2.11. Curvas tensão-deformação

Região I (trecho AO): Fase de fechamento das microfissuras e de alguns poros. Há rearranjo dos grãos. Ocorre diminuição de volume da amostra. Caracteriza-se por uma curva tensão desviadora - deformação axial com concavidade para cima. Região de comportamento inelástico: as deformações plásticas predominam sobre as deformações elásticas. Esta fase poderá ser mais ou menos acentuada, dependendo da quantidade e abertura das microfissuras e do estado de alteração dos minerais constituintes.

Região II (trecho AB): Fase de comportamento elástico. Todas as constantes elásticas são determinadas neste trecho. Ocorre deformação dos poros e compressão dos grãos em uma razão aproximadamente linear; as relações entre tensão desviadora e deformação axial, entre tensão desviadora e deformação radial e entre tensão desviadora e deformação volumétrica são lineares. Esta fase ocorre na maioria das rochas.

Região III (trecho BC): Fase de propagação estável da fissura. As novas fissuras se estendem paralelamente à direção de σ_{desv} . Estas fissuras se propagam, mas são estáveis: para cada incremento de carga, crescem de um comprimento finito, ou seja, sua proporção cessa no instante em que o carregamento cessa. No ponto B, o volume do corpo-de-prova, inicialmente reduzido pelo fechamento de poros e fissuras e pelo rearranjo dos grãos, começa a aumentar devido à formação e ao desenvolvimento das novas fissuras. A curva ϵ_{vol} vs. ϵ_{ax} , mostrada na Figura 2.11 (b), apresenta um ponto de mínimo. A partir do ponto B, a taxa de deformação radial, ϵ_{rad} , cresce em relação a taxa de deformação axial, ϵ_{ax} , à medida que as fissuras preexistentes se abrem e forma-se novas fissuras nos pontos mais criticamente tracionados do espécime – o coeficiente de Poisson cresce. As relações σ_{desv} vs. ϵ_{rad} e σ_{desv} vs. ϵ_{vol} passam a ser não-lineares, enquanto a curva σ_{desv} vs. ϵ_{ax} permanece linear. A curva σ_{desv} vs. ϵ_{vol} se afasta da reta $\Delta V/V$ (Figura 2.11c), que caracteriza a deformação volumétrica de um material elástico, linear e isotrópico. Nesta região, as deformações plásticas predominam sobre as elásticas.

Região IV (trecho CD): O ponto C corresponde ao ponto de escoamento da rocha. Neste ponto, a curva σ_{desv} vs. ϵ_{vol} troca de tendência (Figura 2.11c). Em um nível de tensão correspondente ao ponto C, a amostra pode apresentar volume maior que o volume inicial. Este aumento de volume, associado à fissuração, é chamado de dilatância. A partir do ponto C, as fissuras são consideradas instáveis, ou seja, continuam a se propagar cessando o carregamento. As fissuras se propagam até a borda do espécime, formando um sistema de fissuras que se interceptam e que, eventualmente, formam fraturas. A coalescência das microfissuras produz a superfície de ruptura da amostra, que atinge sua resistência máxima ou de pico no ponto D da Figura 2.11a. O ponto D corresponde ao ponto de tensão máxima (de ruptura), tensão referida nos critérios de ruptura. Pode acontecer de a rocha não romper quando a carga atinge este ponto. Na ausência de rigidez do sistema de carregamento, a amostra sofre ruptura violenta nas vizinhanças da tensão de pico (ponto D). Em sistemas

rígidos de carregamento, é possível continuar a se encurtar a amostra com a redução simultânea da tensão.

Região V (trecho DE): Após o ponto D, a curva σ_{desv} vs. ε_{ax} é caracterizada por uma inclinação negativa. As deformações radiais e axiais continuam a aumentar com a redução da tensão. Ocorre microfissuração pela união de microfissuras. Formam-se planos de cisalhamento.

Região VI (a partir do ponto E): Fase de resistência residual. Observa-se contínuo desenvolvimento de fraturas na superfície da amostra e ocorrência de deslizamentos entre as suas superfícies, até se atingir a resistência residual da amostra de rocha.

A resistência à compressão uniaxial é um parâmetro amplamente utilizado nas diferentes teorias e modelos de comportamento de maciços rochosos. A determinação deste parâmetro é realizada em laboratório implicando a preparação cuidadosa de corpos de prova na forma cilíndrica, em número relativamente grande que permita garantir a representatividade dos resultados. Este alto número de determinações deverá ser ainda maior quando se tratar de um maciço rochoso heterogêneo, o que pode se tornar dispendioso.

Existem várias propostas de classificação da rocha intacta em função da resistência à compressão uniaxial medida diretamente (Deere, 1967). Na Tabela 2.8 é apresentada uma classificação de maciços rochosos a partir do valor de σ_c .

Tabela 2.8. Classificação em função da resistência uniaxial (modificado - ISRM, 1981).

Descrição	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
Rocha extremamente fraca	0,25-1,0
Rocha fraca	1-25
Rocha medianamente forte	25-50
Rocha forte	50-100
Rocha muito forte	100-250
Rocha extremamente forte	>250

2.3.3.3. Determinação da Resistência à Tração

Para determinar a resistência à tração geralmente se utiliza o método brasileiro conhecido também como ensaio de compressão diametral que determina indiretamente a resistência à tração da amostra em forma de disco (Figura 2.12).

Este ensaio foi criado pelo Prof. Fernando Luiz Lobo Carneiro, para determinação da resistência à tração dos concretos, sendo determinada em cilindros ensaiados verticalmente com diâmetro de 15 cm e altura de 30 cm. Posteriormente foi normalizado pelo ISRM para aplicar a rochas.

Segundo o ISRM (1978) as dimensões aproximadas dos corpos de provas são de 54 mm de diâmetro e com um comprimento igual ao raio da amostra, o número de corpos de prova recomendado para realizar o ensaio de 10.

A carga aplicada ao atingir a resistência da rocha produz uma fratura primária no centro do disco. O valor de carga neste momento é o mais adequado, para determinar a resistência à tração. Caso o carregamento se prolongue, as fraturas secundárias se propagam, dividindo o disco em duas partes. Como consequência, a tensão suportada é maior que a anterior. Portanto, para evitar interpretações errôneas, é aconselhável aliviar o carregamento logo depois da fratura primária.

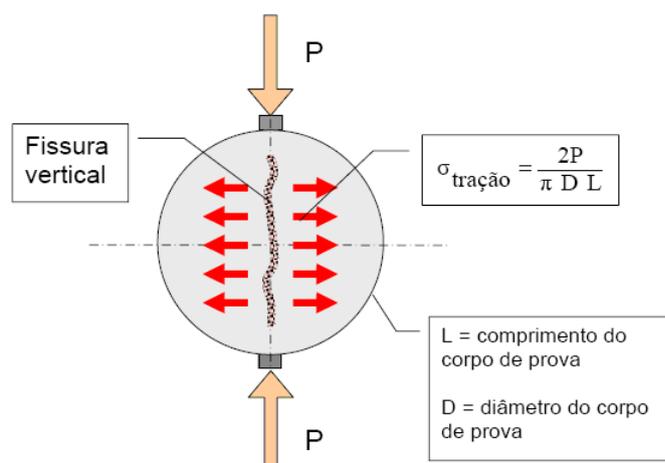


Figura 2.12. Amostra de rocha submetida à compressão diametral.

O ensaio brasileiro é uma boa alternativa para se estimar a resistência à tração das rochas, devido à facilidade de sua execução (preparação dos corpos de prova e de adaptação em máquinas de ensaio de compressão, Nunes, 1989).

A resistência à tração indica para cada tipo de rocha, a facilidade deste material ser fragmentado, influenciando diretamente no planejamento da malha de explosivos.

2.4. Classificações geomecânicas para maciços rochosos

A classificação geomecânica do maciço rochoso é o ato de se hierarquizar as características ou atributos do maciço rochoso, organizando-as individualmente em classes (Segundo Serra & Ojima, 1998).

Uma das tarefas mais complexas designadas à engenharia, mais especificamente à Mecânica de Rochas, é a determinação de propriedades mecânicas representativas do maciço rochoso. Os ensaios em laboratório têm conseguido quantificar a resistência, dureza e outras propriedades nas amostras de rochas, mas o comportamento em campo do maciço rochoso é difícil de quantificar. Felizmente existem métodos empíricos de classificação de maciços aplicados a obras subterrâneas, e de superfície.

Estes métodos são baseados em avaliação das características do maciço rochoso sendo determinado um valor que estabelece a classe do maciço em função destas características. Os seguintes sistemas de classificação são utilizados:

2.4.1. Sistema de Classificação RMR

O Sistema de RMR (*Rock Mass Rating*), proposto por Bieniawski (1974) foi desenvolvido inicialmente para túneis de obras de engenharia escavados em rochas à pouca profundidade, pouco fraturadas, sendo estendido posteriormente para diversos tipos de aplicação como estabilidade de taludes, estruturas subterrâneas de mineração e diversas escavações (Bieniawski, 1989; Brady & Brown, 1994; e Serra & Ojima, 1998).

Este sistema foi submetido a modificações, sendo a última versão apresentada por Bieniawski (1989). O sistema é baseado nos seguintes parâmetros:

- Resistência à compressão uniaxial,
- RQD (%),
- Espaçamento das descontinuidades,
- Condição das descontinuidades,
- Condição de água subterrânea,
- Orientação das descontinuidades.

O valor do RMR é igual à somatória de pontos atribuídos aos índices anteriores de acordo com os pesos estabelecidos na Tabela 2.9. O valor máximo de RMR é 100 e o mínimo 8, de acordo com o valor do índice RMR o maciço rochoso pode ser classificado em cinco categorias, sendo que os menores valores correspondem aos maciços de pouca qualidade e os valores maiores aos maciços de boa qualidade. Na seção C da Tabela 2.9, são apresentadas estas categorias e na seção D é apresentado o significado prático de cada categoria.

Tabela 2.9. Sistema de Classificação Geomecânica RMR (modificado - Bieniawski, 1989).

A	PARÂMETRO		FAIXAS DE VALORES						
1	RESISTÊNCIA DA ROCHA INTACTA	ÍNDICE DE CARGA PUNTIFORME (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	RECOMENDÁVEL FAZER ENSAIOS		
		RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1,5	< 1
	PESOS		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	PESOS		20	17	13	8	3		
3	ESPAÇAMENTO DAS DESCONTINUIDADES		> 2 m	2,0 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6 cm	< 60 mm		
	PESOS		20	15	10	8	5		
4	PADRÃO DAS DESCONTINUIDADES		Superfícies muito rugosas e sem alteração; fechadas e sem persistência	Superfícies pouco rugosas e levemente alteradas; abertura < 1 mm	Superfícies pouco rugosas é muito alteradas; abertura < 1 mm	Superfícies estriadas ou espessuras de preenchimento < 5 mm ou abertura de 1 - 5 mm	Persistentes com preenchimento de material argiloso > 5 mm ou abertura > 5 mm		
	PESOS		30	25	20	10	0		
5	AÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	VAZÃO DE INFILTRAÇÃO POR 10 m DE TÚNEL (l/min)	NULA	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		RELAÇÃO (μ/σ_1)	0	< 0,1	1,0 - 0,2	2,0 - 0,5	> 0,5		
		CONDIÇÕES GERAIS NO MACIÇO	COMPLETAMENTE SECO	ÚMIDO	MOLHADO	GOTEJAMENTO	FLUXO ABUNDANTE		
	PESOS		15	10	7	4	0		

Sistema de Classificação Geomecânica RMR (modificado - Bieniawski, 1989) (Continuação da Tabela 2.9).

B	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE EM RELAÇÃO AO EIXO DA ESCAVAÇÃO						
	PERPENDICULAR			PARALELA		QUALQUER	
	MERGULHO FAVORÁVEL	MERGULHO DESFAVORÁVEL		MERGULHO		MERGULHO	
	45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	0° a 20°
	MUITO FAVORÁVEL (NÃO AJUSTAR RMR)	FAVORÁVEL	MODERADO	DESFAVORÁVEL	MUITO DESFAVORÁVEL	MODERADO	DESFAVORÁVEL
PESO PARA AJUSTE DE RMR	TÚNEIS	- 2	- 5	- 10	- 12	- 5	- 10
	FUNDAÇÕES	- 2	- 7	- 15	- 25	- 7	- 15
	TALUDES	- 5	- 25	- 50	- 60	- 25	- 50

C	SOMATÓRIO DOS PESOS (FATOR RMR)	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	≤ 20
	CLASSES DO MACIÇO	I	II	III	IV	V
	CONDIÇÃO GERAL	MUITO BOM	BOM	REGULAR	RUIM	MUITO RUIM

D	CLASSE DO MACIÇO	I	II	III	IV	V
	COESÃO (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
	ÂNGULO DE ATRITO	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°
	TEMPO MÉDIO DE AUTOSUSTENTAÇÃO DO VÃO LIVRE	20 ANOS PARA 15 m DE VÃO LIVRE	1 ANO PARA 10 m DE VÃO LIVRE	1 SEMANA PARA 5 m DE VÃO LIVRE	10 HORAS PARA 2,5 m DE VÃO LIVRE	30 MINUTOS PARA 1m DE VÃO LIVRE

2.4.2. Sistema de Classificação SMR

O sistema de SMR (*Slope Mass Rating*), para a classificação de taludes procede do índice RMR básico, somando um fator de ajuste, que é função da orientação das juntas e um fator de escavação que depende do método. No caso de estudo de taludes é o principal método de exploração utilizado.

O índice SMR está expresso pela Equação 2.3:

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (\text{F1} \times \text{F2} \times \text{F3}) + \text{F4} \quad (2.3)$$

O fator de ajuste das juntas é produto de três subfatores (Tabela 2.10). O fator F1 depende do paralelismo entre a direção das juntas e a face do talude, variando entre 1,00 (quando ambas as direções são paralelas) e 0,15 (quando o ângulo entre ambas direções é maior de 30 graus e a probabilidade de ruptura é baixa). Estes valores, estabelecidos empiricamente, se ajustam aproximadamente à Equação 2.4:

$$\text{F1} = (1 - \text{sen } a_j - a_s)^2 \quad (2.4)$$

Onde a_j e a_s são os valores do mergulho da junta e do talude respectivamente.

O fator F2 depende do mergulho da junta na ruptura planar. Esta é uma medida da probabilidade da resistência ao cisalhamento da descontinuidade, assim variando entre 1 (para juntas com mergulho superior a 45°) e 0,15 (para juntas com mergulho inferior a 20 graus). Este valor foi estabelecido empiricamente, porém pode se ajustar segundo a Equação 2.5:

$$\text{F2} = (\tan^2 b_j)^2 \quad (2.5)$$

Onde b_j é o mergulho da junta. F2 é 1,00 para rupturas por tombamento.

O fator F3 é a relação entre os mergulhos da junta e o talude, mantendo os valores propostos por Bieniawski (1976) sendo estes sempre negativos. A Tabela 2.10 apresenta os valores para definir os fatores F1, F2 e F3. Na Tabela 2.11 se encontra a atribuição dos pesos para o fator F4 com respeito ao método de escavação empregado no talude. A Tabela 2.12 mostra a

Tabela 2.13. Rupturas segundo o valor do SMR (modificado - Romana, 1985)

Ruptura Planar		Ruptura em Cunha	
SMR>60	Nenhuma	SMR>75	Muito Poucas
60>SMR>40	Importantes	75>SMR>49	Algumas
40>RMR>15	Muito Grandes	55>RMR>40	Muitas
Ruptura por Tombamento		Ruptura Total (Circular)	
SMR>65	Nenhuma	SMR>30	Nenhuma
65>SMR>50	Menores	30>SMR>10	Possível
40>RMR>30	Muito Grandes		

2.4.3. Sistema de Classificação R_{Mi}

O sistema R_{Mi} (*Rock Mass Index*), proposto por Palmström (1995 e 1996), foi desenvolvido para caracterizar a resistência de maciços rochosos para propósitos construtivos. O R_{Mi} se diferencia dos demais sistemas geomecânicos, por determinar parâmetros do maciço sem importar o tipo de obra.

O índice do maciço rochoso R_{Mi} é definido pela Equação 2.6:

$$R_{Mi} = \sigma_c JP \quad (2.6)$$

Onde:

R_{Mi} : índice do maciço rochoso

σ_c : resistência à compressão uniaxial da rocha intacta

JP : parâmetro de descontinuidade, volume do bloco, rugosidade, alteração e tamanho.

A influência do parâmetro de descontinuidade (JP) na resistência do maciço rochoso foi obtida da calibração de resultados de oito ensaios de compressão uniaxial de grande escala e uma retroanálise, encontrando-se a Equação 2.7 para JP:

$$JP = 0,2\sqrt[3]{JCV_d^D} \quad (2.7)$$

Onde:

JC : Fator de condição da descontinuidade

V_d : volume do bloco (m³)

D : diâmetro do bloco de prova (m).

O valor D está relacionado com JC pela Equação 2.8:

$$D = 0,37JC^{-0,2} \quad (2.8)$$

O fator de condição da descontinuidade (JC) depende do comprimento, da rugosidade e da alteração das descontinuidades e é definido pela Equação 2.9:

$$JC = JL \left(\frac{JR}{JA} \right) \quad (2.9)$$

Onde:

JL : fator do comprimento e persistência da descontinuidade

JR : fator de rugosidade da descontinuidade

JA : fator de alteração da descontinuidade

Os parâmetros JL, JR e JA podem ser obtidos das Tabelas 2.14 a 2.16, respectivamente. O fator de condição da descontinuidade varia entre 1 e 2 podendo então o valor de JP variar entre $0,2V_d^{0,37}$ e $0,28V_d^{0,32}$. Assim, considerando um valor de JC = 1,75, o JP pode ser dado simplesmente pela expressão:

$$JP = 0,25V_d^{0,37} \quad (2.10)$$

O valor de R_{Mi} varia entre 0,001 e 100 e os intervalos e classes definidas para este sistema de classificação são apresentados na Tabela 2.17.

Tabela 2.14. Valores do fator de rugosidade (JR) do R_{Mi} (modificado-Palmström, 1996)

Rugosidade a pequena escala	Rugosidade de grande escala				
	Planar	Ligeiramente ondulada	Fortemente ondulada	Com degraus	Embricados
Muito rugosa	3	4	6	7,5	9
Rugosa	2	3	4	5	6
Ligeiramente rugosa	1,5	2	3	4	4,5
Lisa	1	1,5	2	2,5	3
Polida	0,75	1	1,5	2	2,5
Espelhada*	0,6-1,5	1/fev	1,5-3	2/abr	2,5-5

Para descontinuidades preenchidas: JR=1. Para descontinuidades irregulares é sugerido JR=5

*Para descontinuidades espelhadas o valor de JR depende da ocorrência das situações, os maiores valores são usados para superfícies com marcado estriamento.

Tabela 2.15. Fator de tamanho e continuidade (JL) do RMi (modificado-Palmström, 1996)

Comprimento descontinuidade (m)	Termo	Tipo	JL	
			Descontinuidade não persistente.**	Descontinuidade e persistente **
<0,5	Muito curta	Acamamento ou foliação	3	6
0,1-1,0	Curta/pequena	Descontinuidade	2	4
1-10	Mediana	Descontinuidade	1	2
10-30	Longa/comprida	Descontinuidade	0,75	1,5
>30	Muito comprida	Descontinuidade preenchida, cisalhamento*.	0,5	1

*As vezes ocorre como uma descontinuidade única, e nesses casos deve ser tratado separadamente. ** descontinuidades não persistentes em rochas maciças.

Tabela 2.16. Fator de alteração da descontinuidade (JA) do RMi (modificado - Palmström, 1996)

A. CONTATO ENTRE AS DUAS PAREDES DA DESCONTINUIDADE			
Termo	Descrição	JA	
Descontinuidades limpas			
Descontinuidades fechadas ou soldadas	Preenchimento mole e impermeável (quartzo, epidotito, etc)	0,75	
Paredes de rocha fresca	Sem recobrimento ou preenchimento da superfície da descontinuidade, exceto por degradação (staining).	1	
Alteração das paredes	A superfície da descontinuidade exibe alteração maior que a rocha. Superfície da descontinuidade com dois tipos de alteração maior que a rocha.	2	
1 escala mais alterada 2 escala mais alterada		4	
Cobertura ou preenchimento fino			
Areia, silte, calcita etc.	Cobertura de material granular sem argila	3	
Argila, clorita, talco etc.	Cobertura de minerais moles e coesivos	4	
B. DESCONTINUIDADES PREENCHIDAS, CONTATO PARCIAL OU SEM CONTATO.			
Tipo de material do preenchimento	Descrição	JA	
		Parcial Preenchimento fino <5 mm*	Nulo Preenchimento espesso >5 mm
Areia, silte, calcita etc	Preenchimento de materiais granulares sem argila	4	8
Matérias argilosos compactos	Preenchimento de materiais argilosos duros	6	10
Materiais argilosos moles	Preenchimento de argila com média ou baixa relação de pré-adensamento	8	12
Materiais argilosos expansivos	Material de preenchimento com claras propriedades expansivas	8-12	12-20

*Baseado na divisão de espessuras do sistema RMR (Bieniawski, 1974)

Tabela 2.17. Classificação Geomecânica R_{Mi} (modificado - Palmström, 1996)

Termo		
Para R _{Mi}	Relacionado à resistência do maciço rochoso	Valor de R _{Mi}
Extremamente baixo	Extremamente fraco	<0,001
Muito baixo	Muito fraco	0,001-0,01
Baixo	Fraco	0,01-0,1
Moderado	Médio	0,1-1,0
Alto	Resistente	1,0-10
Muito alto	Muito resistente	10-100
Extremamente alto	Extremamente resistente	>100

2.4.4. Sistema de classificação geomecânica Q

Barton et al. (1974) propôs o índice de Qualidade Q (*Tunnelling Quality Index*) para a determinação das características do maciço rochoso e o suporte de túnel, pois considera parâmetros *in situ*, qualidade da rocha, condição das descontinuidades e estado de tensões. O valor do índice Q varia numa faixa logarítmica de 0,001 até 1000 e é definido na Equação 2.11:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (2.11)$$

onde:

RQD Índice RQD

J_n Índice de influência do número de famílias das descontinuidades

J_r Índice de influência da rugosidade das paredes das descontinuidades

J_a Índice de influência da alteração das paredes das descontinuidades

J_w Índice de influência da ação da água subterrânea

SRF Índice de influência do estado de tensões no maciço (Stress Reduction Factor)

O índice de Qualidade (Q) pode ser considerado como a medida de três parâmetros que são, o tamanho dos blocos (RQD/J_n), a resistência ao cisalhamento entre blocos (J_r/J_a) e a tensão

ativa (J_w/SRF). Explicando o significado destes três parâmetros, tem-se alguns comentários de Barton et al. (1974):

- A primeira parcela (RQD/J_n) representa a estrutura do maciço rochoso, que é uma medida grosseira do tamanho dos blocos do maciço;
- A segunda parcela (J_r/J_a) representa a rugosidade e características de atrito das paredes das descontinuidades. Esta parcela é computada a favor da resistência, como descontinuidades não alteradas e em contato direto. Deve-se esperar que esta superfície vá se dilatar fortemente quando cisalhada, e por esta razão deve ser favorável à estabilidade do túnel;
- A terceira parcela (J_w/SRF) é formada por dois parâmetros de agentes externos (água e tensões). O índice SRF é a medida de: i) perda da capacidade de resistência no caso de escavações através de zonas de cisalhamento e maciços rochosos moles; ii) tensões em maciço rochoso competente; e iii) efeito de expansão lateral ("squeezing") no caso de maciço rochoso plástico incompetente. Este parâmetro pode ser considerado como um parâmetro das tensões totais do maciço rochoso. O índice de influência da ação da água subterrânea J_w é uma medida da pressão de água, que apresenta um efeito prejudicial na resistência ao cisalhamento das descontinuidades, pela redução na resistência efetiva da tensão normal. Assim, a parcela (J_w/SRF) é um fator empírico que descreve de certa forma a tensão ativa.

As Tabelas 2.18 a 2.24 apresentam a ponderação dos diferentes parâmetros utilizados para obter o índice de Qualidade Q.

Tabela 2.18. Classificação do parâmetro RQD para o índice Q (modificado – Barton et al., 1974)

1. ÍNDICE RQD	RQD	NOTAS
A. Muito Ruim	0-25	1. Se RQD é medido ≤ 10 (incluindo 0), assumir o valor nominal de 10 para calcular Q. 2. Intervalos de 5 em 5 no valor de RQD são considerados de boa acurácia (p.ex. 95, 100).
B. Ruim	25-50	
C. Razoável	50-75	
D. Bom	75-90	
E. Ótimo	90-100	

Tabela 2.19. Classificação do parâmetro Jn para o índice Q (modificado – Barton et al., 1974)

2. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES	Jn	NOTAS
A. Descontinuidades esparsas ou ausentes	0,5-1	1. Para interseções usar (3Jn) 2. Para emboques usar (2Jn)
B. Uma família de descontinuidades	2	
C. B mais descontinuidades esparsas	3	
D. Duas famílias de descontinuidades	4	
E. D mais descontinuidades esparsas	6	
F. Três famílias de descontinuidades	9	
G. F mais descontinuidades esparsas	12	
H. Quatro ou mais famílias de descontinuidades	15	
I. Rocha extremamente fraturada (triturada)	20	

Tabela 2.20. Classificação do parâmetro Jr para o índice Q (modificado – Barton et al., 1974)

3. CONDIÇÃO DE RUGOSIDADE DAS PAREDES	Jr	NOTAS
a. Paredes das descontinuidades em contato		1. Acrescentar 1,0 se o espaçamento entre descontinuidades for > 3 m. 2. Jr = 0,5 no caso de descontinuidades planas e estriadas e com orientação na direção da tensão mínima
b. Paredes das descontinuidades em contato com deslocamentos diferenciais < 10 cm		
A. Descontinuidades não persistentes	4	
B. Descontinuidades rugosas ou irregulares, onduladas	3	
C. Descontinuidades lisas e onduladas	2	
D. Descontinuidades polidas e onduladas	1,5	
E. Descontinuidades rugosas ou irregulares e planas	1,5	
F. Descontinuidades lisas e planas	1	
G. Descontinuidades polidas ou estriadas e planas	0,5	
c. Sem contato entre as paredes das descontinuidades quando cisalhadas		
H. Descontinuidades preenchidas com material argiloso	1	
J. Descontinuidades preenchidas com material granular	1	

Tabela 2.21. Classificação do parâmetro Ja para o índice Q (modificado - Barton et al., 1974)

4 CONDIÇÕES DE ALTERAÇÃO DAS PAREDES	Ja	$\phi_r(^{\circ})$	NOTAS
a. Descontinuidades com contato rocha/rocha e sem deslocamento relativo entre as paredes			1. ϕ_r ângulo de atrito residual (indicativo das propriedades mineralógicas dos produtos de alteração)
A. Paredes duras, compactas, com preenchimento de materiais impermeáveis	0,75	-	
B. Descontinuidades sem alteração, pigmentação superficial incipiente	1	25-35	
C. Paredes levemente alteradas; películas de materiais arenosos ou minerais abrasivos	2	25-30	
D. Paredes com películas de material siltoso com pequena fração argilosa	3	20-25	

E. Paredes com películas de material mole (micas, clorita, talco, gesso, grafite etc.), eventualmente com minerais expansivos	4	8-16	
b. Descontinuidades com contato rocha/rocha e com deslocamento relativo incipiente entre as paredes (deslocamento diferencial inferior a 10 cm)			
F. Paredes com partículas arenosas, fragmentos de rocha etc.	4	25-30	
G. Paredes com preenchimento contínuo e poucos espessos (< 5 mm) de material argiloso fortemente sobreendensado	6	16-24	
H. Paredes com preenchimento contínuo e pouco espesso (< 5 mm) de material argiloso pouco ou medianamente sobreendensado.	8	12-16	
J. Paredes com preenchimento de materiais argilosos expansivos; valores variáveis com a porcentagem dos argilo-minerais expansivos presentes e com a ação conjugada da água intersticial.	8-12	6-12	
c. Descontinuidades sem contato rocha/rocha e com deslocamento relativo entre as paredes			
K. Zonas de preenchimento com fragmentos de rocha	6		
L. Rocha e material argiloso (ver G, H e J para caracterizar as condições das argilas)	8		
M.	8-12	6-24	
N. Zonas de preenchimento com material arenoso ou siltoso-argiloso, sendo pequena a fração argilosa	5		
O. Zonas contínuas de preenchimento com material argiloso	10-13		
P e R (ver G, H e J para a condição das argilas)	6-24		

Tabela 2.22. Classificação do parâmetro J_w para o índice Q (modificado - Barton et al., 1974)

5. CONDIÇÕES DE AFLUÊNCIA DE ÁGUA	J_w	u (MPa)	NOTAS
A. Escavação a seco ou com pequena afluência de água (<5 l/min)	1	<0,1	1. Valores aproximados das poropressões da água
B. Afluência média da água com eventual carregamento do preenchimento	0,67	0,1-0,25	2. Reduzir os valores de J_w no caso de instalação de dispositivos de drenagem (C a F)
C. Afluência elevada de água em rochas competentes de descontinuidades não preenchidas	0,5	0,25-1	3. Não são considerados os problemas especiais causados por formação
D. Afluência elevada de água com carregamento significativo do preenchimento	0,33	0,25-1	

E. Afluência excepcionalmente elevada de água (ou jatos de pressão), com decaimento com o tempo	0,1-0,2	>1	de gelo
F. Afluência excepcionalmente elevada de água (ou jatos de pressão), sem decaimento com o tempo	0,05-0,1	>1	

Tabela 2.23. Classificação do parâmetro SRF para o índice Q (modificado - Barton et al., 1974)

6. CONDIÇÃO DAS TENSÕES NO MACIÇO			SRF	NOTAS
a. Zonas de baixa resistência interceptando a escavação				<p>1. No caso de ocorrência de zonas de baixa resistência relevantes, mas não interceptando a escavação, recomenda-se a redução dos valores de SRF de 25 a 50%.</p> <p>2. No caso de tensões subsuperficiais (ver H), adotar SRF = 5 quando a profundidade da abóbada da escavação abaixo da superfície do terreno for menor que a sua dimensão característica (largura do vão)</p> <p>3. Para os itens H a M, σ_1, σ_3 são tensões principais; σ_c é a resistência à compressão simples e σ_t a resistência a tração</p> <p>4. Para maciço muito anisotrópico, introduzir correções nos itens H a M de acordo com os seguintes critérios: a) $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$: reduzir σ_c para $0,8\sigma_c$ e σ_t para $0,8\sigma_t$ b) $\sigma_1/\sigma_3 > 10$: reduzir σ_c para $0,6\sigma_c$ e σ_t para $0,6\sigma_t$</p>
A. Ocorrências múltiplas contendo material argiloso ou rocha quimicamente decomposta (qualquer profundidade)			10	
B. Ocorrência específica contendo material argiloso ou rocha quimicamente decomposta (profundidade da escavação < 50 m)			5	
C. Ocorrência específica contendo material argiloso ou rocha quimicamente decomposta (profundidade da escavação > 50 m)			2,5	
D. Ocorrência múltiplas de zonas de material cisalhado em rochas competentes, isentas de argila e com blocos desagregados de rocha (qualquer profundidade)			7,5	
E. Ocorrência específicas de zonas de material cisalhado em rochas competentes, isentas de material argiloso (profundidade de escavação < 50 m)			5	
F. Ocorrências específicas de zonas de material cisalhado em rochas competentes, isentas de material argiloso (profundidade da escavação > 50 m)			2,5	
G. Ocorrência de juntas abertas e intenso fraturamento do maciço (qualquer profundidade)			5	
b. Rochas competentes (comportamento rígido)				
	(σ_c/σ_1)	(σ_t/σ_1)		
H. Tensões baixas, sub-superficiais	>200	>13	>2,5	
J. Tensões Moderadas	10-200	0,66-13	1,0	
K. Tensões elevadas (eventuais problemas de estabilidade das paredes)	5-10	0,33-0,66	0,5-2	
L. Condições moderadas de fraturamento (rockburst)	2,5-5	0,16-0,33	5-10	
M. Condições intensas de rocha explosiva (rockburst)	<2,5	<0,16	10-20	
c. Rochas incompetentes (comportamento plástico às deformações)				
N. Tensões moderadas			5-10	
O. Tensões elevadas			10-20	
d. Rochas expansivas (atividade expansiva química)				

dependente da presença da água)		
P. Tensões moderadas	5-10	
R. Tensões elevadas	10-20	

Tabela 2.24. Classes de maciços rochosos em função de Q (modificado - Barton et al., 1974)

Padrão Geomecânico do Maciço	Valores de Q
Péssimo	< 0,01
Extremamente ruim	0,01 - 0,1
Muito ruim	0,1 - 1,0
Ruim	1,0 - 4,0
Regular	4,0 - 10,0
Bom	10,0 - 40,0
Muito bom	40,0 - 100,0
Ótimo	100,0 - 400,0
Excelente	> 400,0

2.4.5. Índice de Resistência Geológica - GSI

No ano 1994, Hoek publicou o artigo titulado “*Strength of Rock and Rock Masses*” introduzindo o termo “*Geological Strength Index*” (GSI). O GSI representa um novo índice de qualidade geomecânica para os maciços rochosos cujo intervalo numérico, compreendido entre 0 e 100, se baseia na identificação e classificação em campo de duas características físico-mecânicas do maciço rochoso: a macroestrutura e a condição das superfícies das descontinuidades.

A Tabela 2.25 mostra a metodologia para estimar o GSI, baseado na última versão publicada por Hoek (1998), que foi adaptada por Truzman (2000) para maciços rochosos da cordilheira da costa venezuelana. Hoek (1998) recomenda fazer sempre a referência a um intervalo numérico e não a definição de um valor único do GSI.

A classificação baseada no valor do GSI se torna importante, pois além da sua simplicidade e agudeza, apresenta um caráter intrínseco à geomecânica dos maciços rochosos, já que não depende de fatores extrínsecos como a orientação, umidade, etc. como acontecem em outros sistemas de classificação propostos. O GSI fornece um sistema para estimar a redução da resistência e aumento da deformabilidade dos maciço rochoso, já que os ensaios de laboratório de limitam a pequenos corpos de prova (Perri 2002).

Para o cálculo de GSI padronizou-se o uso do RMR, versão 1976, ou o RMR versão 1989 menos 5 pontos. O índice GSI é calculado em função de RMR, mas considerando o maciço seco e não fazendo a correção devido a orientação da descontinuidade, já que pressão de água e orientação de descontinuidade são considerados no projeto, e portanto não devem afetar os parâmetros do maciço. Assim para $RMR_{76} > 18$ ou $RMR_{89} > 23$, tem-se as Equações 2.12 e 2.13:

$$GSI = RMR_{76} \quad (2.12)$$

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (2.13)$$

Quando os valores de RMR forem inferiores a 18 (versão 76) ou 23 (versão 89), deve-se utilizar o sistema Q de Barton. Para a utilização do sistema de Barton não se considerará SRF nem o efeito da água subterrânea J_w na determinação do critério de ruptura, já que estes fatores são considerados no projeto. Então o valor modificado de Barton será dado pela equação 2.14:

$$Q' = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \quad (2.14)$$

A seguir o valor de GSI será pela Equação 2.15:

$$GSI = 9 \ln Q' + 44 \quad (2.15)$$

Tabela 2.25. Método para estimar o GSI (Modificado Truzman)

CARACTERÍSTICAS DOS MACIÇOS ROCHOSO PARA ESTIMAR O ÍNDICE DE RESISTÊNCIA GEOLOGIO (GSI) Para a descrição da estrutura e condições da superfície das descontinuidades do maciço rochoso, selecione o intervalo apropriado de esta tabela. Estime o valor médio do GSI em rangos. Não precisa ser exato. Um intervalo de GSI de 36 a 42 é mais real que GSI=38. É importante reconhecer que o critério de Hoek-Brow pode ser aplicado a maciços rochosos desde que o tamanho dos blocos sejam pequenos comparados com a obra. Quando os blocos são maiores aproximadamente ¼ da dimensão da obra, o critério de Hoek-Brown não deve ser usado.						
ESTRUTURA MACIÇO ROCHOSO NÃO FOLIADO MACIÇO ROCHOSO FOLIADO		SUPERFÍCIE DA DESCONTINUIDADE MUITO BOA BOM MODERADA RUÍM MUITO RUÍM Muito rugosa, fechada e superfícies não alteradas. Rugosa, pouco alterada, abertura < 1 mm, com preenchimento duro Pouco rugosa, moderadamente alterada, abertura 1-5-mm, preenchimento duro e mole Plana, muito alterada, abertura > 5 mm, preenchimento mole. Lisa, polida, muito alterada, abertura > 5 mm, preenchimento mole.				
		DIMINUIÇÃO DA PAREDE DA DESCONTINUIDADE →				
<p>INTACTA OU MACIÇA Rocha intacta ou maciça com poucas descontinuidades muito espaçadas.</p>	<p>POUCO FOLIADA Maciço rochoso parcialmente fraturado formado por 3 famílias de descontinuidades. Podem existir camadas finas foliadas.</p>	90			N/A	N/A
<p>FRATURADA Maciço rochoso não perturbado com blocos cúbicos intertravados formados por 3 famílias de descontinuidades</p>	<p>MODERADAMENTE FOLIADA Maciço rochoso fraturado formado por intervalos de rochas foliadas ou não foliadas em proporções iguais.</p>	80	70			
<p>MUITO FRATURADA Intertravada maciço parcialmente perturbado com blocos angulares formados por 4 ou mais famílias</p>	<p>FOLIADA Maciço rochoso foliado, muito fraturado, rochas foliadas prevalecem aos intervalos de rochas não foliadas.</p>		60	50		
<p>FRATURADA /PERTURBADA/DÉBIL Blocos angulares formados pela intersecção de muitas famílias de descontinuidades</p>	<p>MUITO FOLIADA Maciço rochoso foliado, altamente fraturado, formado somente por rochas foliadas. Podem existir falhas.</p>	N/A		40	30	
<p>DESINTEGRADA Travamento débil, maciço rochoso muito fraturado com blocos angulares e arredores</p>	<p>FALHADA/CISALHADA Maciço rochoso muito foliado e falhado, influência tectonicamente, com aspecto de brecha.</p>	N/A	N/A		20	
<p>LAMINADA/CISALHADA Maciço rochoso totalmente fraturado, ausência de blocos.</p>		N/A	N/A	N/A		10

2.4.6. Classificação geomecânica com fins de escavação a fogo

Uma condicionante importante para otimizar o plano e escavação a fogo é estudar em que condições e em que densidades se encontram as descontinuidades dentro do maciço rochoso, sendo a ausência destas estruturas um fator limitante na fragmentação adequada. A Figura 2.13 mostra o efeito que causam as famílias de juntas ao redor de um furo de detonação e a forma da fragmentação resultante.

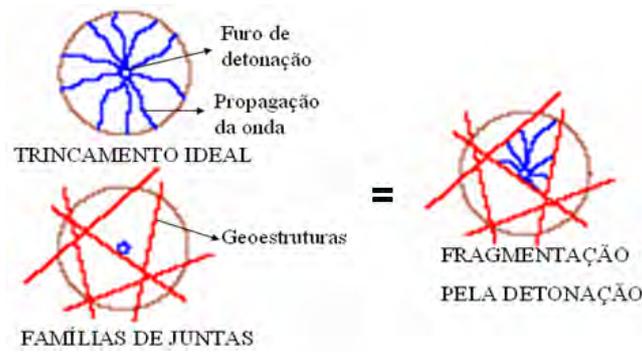


Figura 2.13. Efeito das geoestruturas na fragmentação do maciço rochoso.

A direção das descontinuidades (Figura 2.14) é um dos aspectos que tem mais influência no maciço rochoso, para o plano da malha de explosivos, podendo ter diferentes situações: Na Figura 2.14(A) e 2.14(B) a influência da velocidade das ondas é máxima quando o ângulo de incidência com a face do talude da lavra é aproximadamente de 15° a 45° . Na Figura 2.14(C) e 2.14 (D) a direção das descontinuidades é perpendicular com respeito aos taludes da lavra; nesta situação a influência da velocidade de propagação das ondas é mínima. Observando a Figura 2.14 (D) pode-se perceber que a direção é muito desfavorável, produzindo fuga dos gases do explosivo, resultando assim em uma escavação defeituosa.

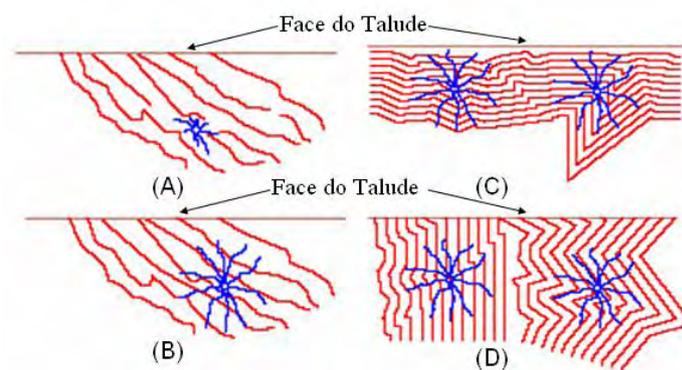


Figura 2.14. Efeito da direção das descontinuidades na fragmentação do maciço rochoso.

Na Figura 2.15 pode-se observar a direção das principais estruturas presentes para cada domínio definido anteriormente. O entendimento da geologia estrutural presente nos taludes de mineração tende a contribuir para a definição da malha adequada para a detonação, como também para a seqüência de escavação.

Outra característica importante é a persistência das descontinuidades, já que influi no comportamento do maciço rochoso e na carga explosiva distribuída.

A Figura 2.15(A) mostra que as descontinuidades não estão próximas ao furo de detonação, tendo como resultado uma fragmentação defeituosa. Assim, terá que se realizar uma detonação adicional, aumentando os custos de operação, já que a malha de explosivos deve ser mais densa. A Figura 2.15(B) mostra que quando as descontinuidades abarcam as proximidades do furo de detonação, a fragmentação é favorecida pelas descontinuidades. Neste caso, as famílias de juntas densas a malha de explosivos é mais ampla.

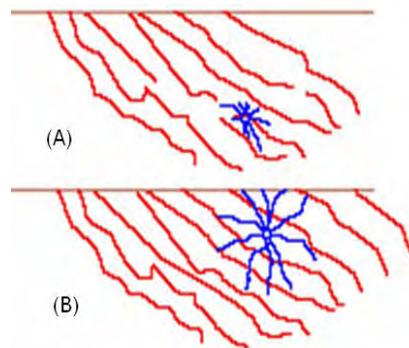


Figura 2.15. Efeito da persistência das descontinuidades na fragmentação do maciço rochoso.

O espaçamento entre as descontinuidades influencia a fragmentação, e também a distância entre furos de detonação, separação das descontinuidades e o tamanho máximo do bloco admissível. A quantidade volumétrica das descontinuidades é outro parâmetro influente. A densidade das descontinuidades pode ser expressa pelo número de estruturas por unidade de área ou de volume.

A avaliação do resultado final de uma etapa de escavação é um procedimento importante, porém não garante uma correção ótima para a escavação seguinte, devido a variabilidade do maciço rochoso dentro de cada bancada. Assim, é necessária uma adequada caracterização contínua do maciço rochoso a ser fragmentado, levando em conta também os equipamentos e os tempos de detonação.

Os equipamentos de transporte de materiais em mineração atualmente são automatizados e as correias transportadoras têm dimensões estabelecidas ou padronizadas. Dessa maneira, é requerida uma especificação do tamanho médio para o material fragmentado.

Para a extração do material rochoso, parte estéril e parte mineral com valor econômico, a escavação utilizando explosivos é o método mais comum para fragmentar e definir a nova geometria de taludes de lavras a céu aberto.

Para a fragmentação do maciço rochoso com explosivos como *Trinitrotoluene* (TNT), *Ammonium Nitrate Fuel Oil* (ANFO), Plasma, etc, se requer o conhecimento das propriedades da rocha intacta e do comportamento do maciço. Diferentes efeitos podem ser causados por um planejamento de baixa qualidade que não contemple aspectos geotécnicos e geomecânicos e assim influir negativamente nas operações da mina.

Dessa forma, devem-se tomar medidas de controle no sentido de: (i) causar o menor dano possível aos maciços rochosos circundantes e obter a geometria planejada; (ii) obter uma adequada fragmentação para otimizar a disposição das pilhas de estéreis e atender as exigências das operações de mineração, relativas ao carregamento, transporte, britagem, metalurgia.

CAPÍTULO 3 : Área de estudo

A caracterização da área de estudo distingue os três meios que devem ser considerados: físico, biológico e sócio-econômico. No presente capítulo expõem características como: localização e acesso, aspectos socioeconômicos, clima, fisiografia, geomorfologia, hidrografia, geologia, geologia estrutural. A informação é baseada principalmente no Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Goiânia – Folha SE.22-X-B-IV, realizado pelo DNPM/CPRM (1994).

3.1. Localização e acesso

A área localiza-se na região sudeste do Estado de Goiás, entre os meridianos 49°04' e 49°30' de longitude oeste de Greenwich e os paralelos 16°27' e 16°52' de latitude sul, ocupando uma superfície de aproximadamente 2.100km², correspondente ao município de Goiânia e arredores, do padrão cartográfico internacional para a escala 1:250.000 (Figura 3.1).

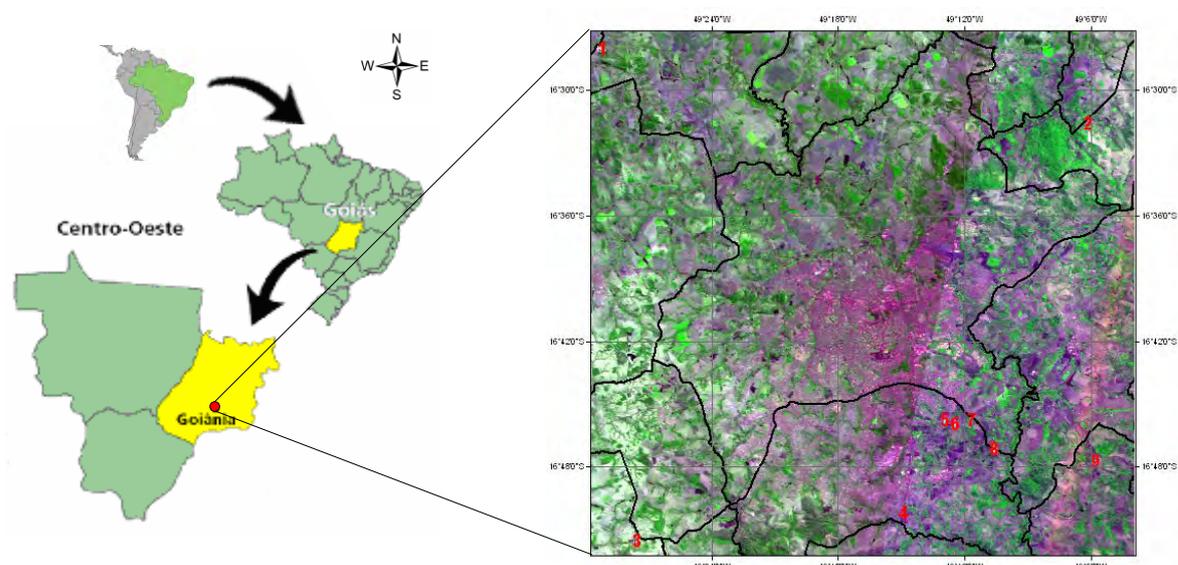


Figura 3.1. Localização do município de Goiânia e arredores

Segundo o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes –DNIT - Mapa Rodoviário – Goiás 2002 o sistema viário é constituído por várias rodovias federais, estaduais e vicinais (Figura 3.2). Entre as principais destacam-se: BR-153 (São Paulo/Anápolis-Belém), BR-060 (Anápolis/Brasília), BR-414 (Anápolis/Niquelândia), BR-352 (Goiânia/Ipameri), GO-070 (Goiânia/Goiás), GO-060 (Goiânia/Iporá), GO-010 (Goiânia/Vianópolis-Luziânia) e GO-080 (Goiânia Nerópolis-Goianésia), as quais facilitam o acesso á cidade de Goiânia.

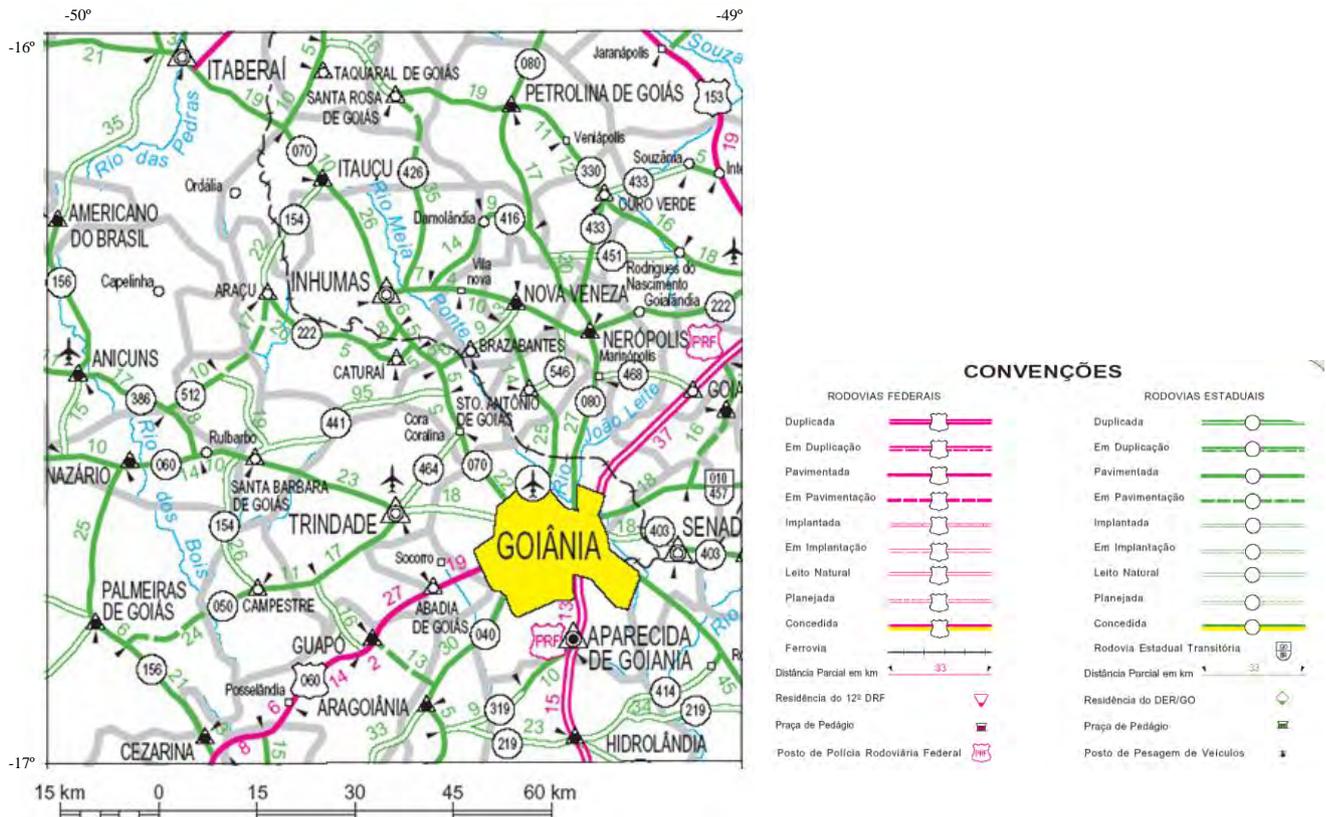


Figura 3.2. Principais acessos na área de estudo (DNIT).

3.2. Aspectos Socioeconômicos

As cidades da região dispõem de modestos parques industriais, destacando-se os frigoríficos e os laticínios que, juntamente com a indústria de cerâmica, contribuem para a economia local. Por outro lado, existe na região uma grande demanda de material de construção (brita, pedra ornamental e areia), bem como de argila para cerâmica.

A agropecuária é a principal atividade econômica, destacando-se a criação de bovinos como a mais importante. As culturas mais praticadas são as de cana-de-açúcar, soja, milho, arroz e mandioca.

Nos últimos anos, além da exploração de recursos naturais para a obtenção de material de construção, registram-se alguns garimpos de ouro e talco, sendo este último inativo. Existem também os jazimentos de manganês e cromita; estes, contudo, com suas principais reservas esgotadas.

3.3. Clima, Fisiografia, Geomorfologia e Hidrografia

O clima da região é tropical úmido, caracterizando-o duas estações bem definidas: uma seca, que corresponde ao outono e ao inverno, indo de maio a setembro; e, outra, com chuvas, correspondendo ao período de primavera e verão.

A precipitação média anual, da ordem de 1.500mm, concentra-se principalmente entre os meses dezembro e março. Em junho e julho, as precipitações são praticamente nulas. As temperaturas médias são da ordem de 18°C (inverno) e 30°C (verão). A média anual é de 23°C.

A vegetação original, representada por matas tropicais, cerrados e matas-galerias, em sua maioria foi substituída por pastagens e culturas cíclicas, principalmente de cereais. As matas tropicais apresentam-se geralmente em terrenos dissecados, em interflúvios tabulares e colinosos, constituindo-se de espécies arbóreas florestais caducifólias. Os cerrados desenvolveram-se sobre litótipos pré-cambrianos, moldados principalmente em superfícies tabulares e em vastos planaltos rebaixados, com altitudes que variam de 650m a 1.200m. São constituídos por arbustos e árvores baixas, retorcidas, geralmente com casca grossa e suberosa. As matas ciliares ocorrem ao longo das drenagens.

A região em estudo exhibe cinco classes de solos (Figura 3.3), cujas unidades estão relacionadas à diversificação das feições geomorfológicas e das rochas.

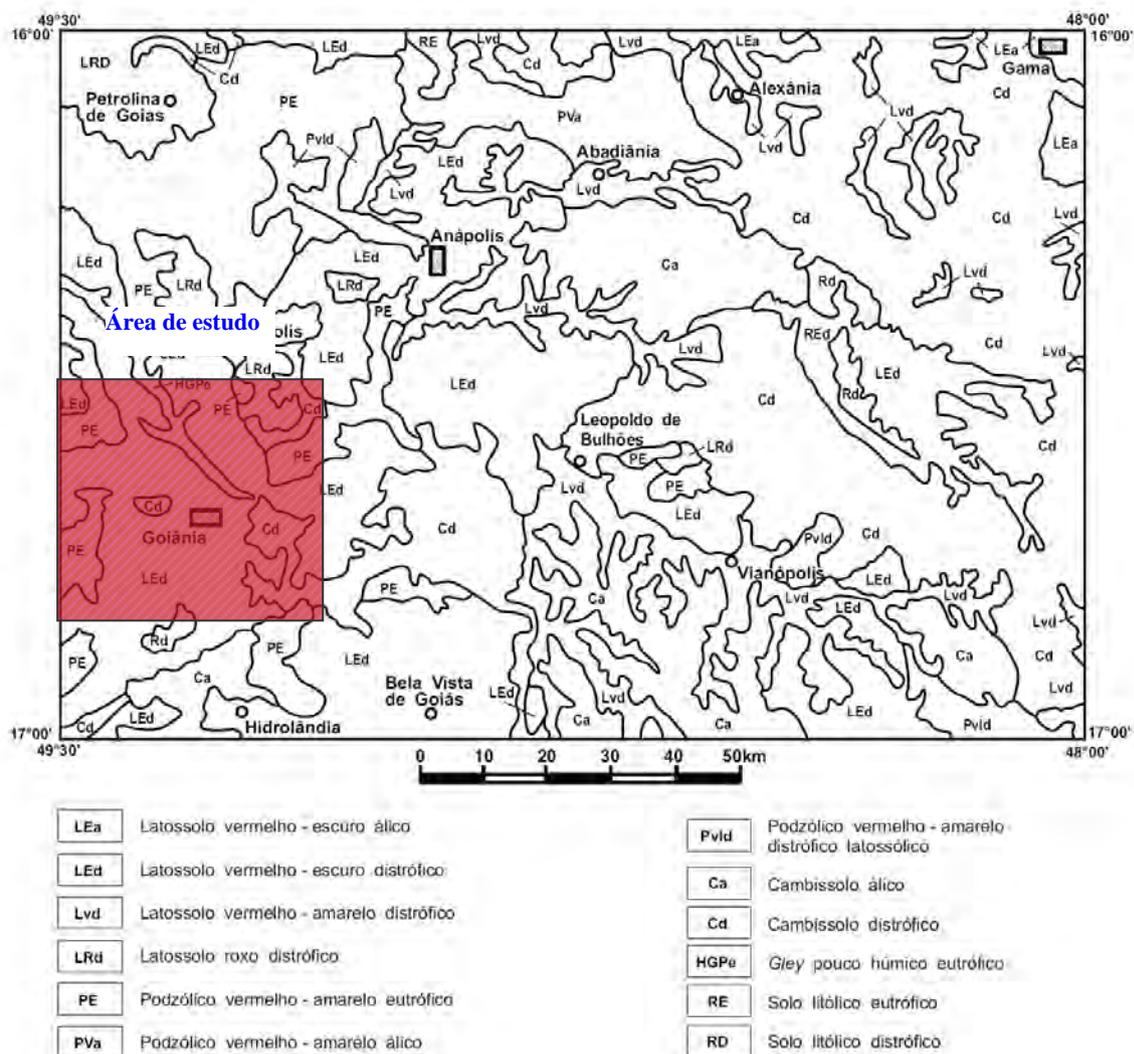


Figura 3.3. Domínios de solos (CPRM, 2001).

Na primeira classe ocorrem latossolos distróficos vermelhos e roxos, e álicos vermelhos, os quais se caracterizam por serem bastante espessos, bem drenados, porosos, friáveis e que ocorrem em regiões de relevo plano a suavemente ondulado.

Na segunda classe está o solo podzólico, vermelho-amarelo, em geral profundo, bem drenado, que se exhibe em relevo ondulado, suave a forte e com características: eutrófica, álica e distrófica.

A terceira classe é formada por cambissolo álico e distrófico, em geral pouco desenvolvido, raso e com o horizonte B incipiente.

A quarta classe é caracterizada por solo tipo gley, pouco úmido, eutrófico, profundo, maldrenado, com forte “gleização”, por causa dos encharcamentos; e desenvolvido ao longo do rio Meia Ponte.

Na quinta e última classe estão os solos litólicos eutróficos e distróficos, os quais são rasos, pouco desenvolvidos, em relevo suave, ondulado a escarpado.

A geomorfologia é reflexo da geologia, tanto no que diz respeito ao tipo de relevo, quanto ao padrão de drenagem e à definição de áreas de erosão e sedimentação. A área situa-se no domínio conhecido por Planalto Rebaixado de Goiânia caracterizado por extenso planalto rebaixado e dissecado, desenvolvido principalmente sobre rochas do Grupo Araxá. A superfície é mantida por depósitos de material clástico, o que indica a atuação de uma morfogênese seca, que mostra submissão, no passado, a condições climáticas de semi-aridez. Os processos de pediplanação ocorreram durante o Neopleistoceno, do qual resultaram cotas em torno de 640m.

A rede de drenagem é relativamente densa, a bacia hidrográfica pertencente ao rio Meia Ponte, afluente do rio Paranaíba, tem por principais afluentes os rios Dourados, João Leite, Caldas, Sozinho e Inhumas.

3.4. Geologia

A geologia, incluindo os aspectos litológicos, estratigráficos, estruturais e sua evolução histórica, representa a base do conhecimento para a caracterização do meio físico de determinada região. A Figura 3.4 mostra o arcabouço estratigráfico da Folha Goiânia SE-22-X-B.

A zona de estudo encontra-se na Folha Goiânia SE-22-X-B e esta composta por:

COLUNA ESTRATIGRÁFICA – FOLHA GOIÂNIA

CENOZÓICO

COBERTURAS SUPERFICIAIS

Aluviões recentes, arenosas e areno-argilosas, areias com níveis de cisalhamento e pequenas turfeiras associadas. Coberturas detrito-areno-argilosas, com a formação de latossolos com ou sem desenvolvimento de crostas lateríticas. Sedimentos argilosos a siltico-arenosos, de coloração rósea-avermelhada.

MESOZÓICO

Diques de diabásio.

PROTEROZÓICO SUPERIOR

Biotita-muscovita granito, metagranodiorito pegmatóide-*greisen* e pegmatitos associados a zonas de cisalhamento.

PROTEROZÓICO MÉDIO

GRUPO PARANOÁ

Quartzitos, metargilitos e metassiltitos intercalados (metarrilito).

GRUPO ARAXÁ

Unidade D – \pm clorita + muscovita + quartzo xisto, clorita-muscovita-quartzo xisto grafitoso e piritoso (sgf), filitos (fl), sericita quartzito (qt) e subordinadamente lentes de metacalcários (cc).

Unidade C – Calci-clorita-quartzo-biotita xisto, com intercalações de grafita xisto e lentes de metacalcário e sericita quartzito (qt). Subordinadamente granada-biotita xisto.

Unidade B – Muscovita-quartzo xisto, com intercalações de sericita quartzito (qt) e subordinadamente granada-biotita xisto.

Unidade A – Granada-quartzo-biotita xisto feldspático.

PROTEROZÓICO MÉDIO A INFERIOR

Biotita metagranito porfirítico.

SEQÜÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR DE SILVÂNIA

Unidade B – Granada \pm silimanita \pm estauroлита + muscovita + biotita + quartzo xisto e sericita quartzito (qt). Subordinadamente grafita xisto e lentes de talco xisto e anfibólito (af).

Unidade A – Granada-epidoto anfibólito e metandesito. Subordinadamente sericita-quartzo xisto feldspático, clorita xisto e quartzito ferruginoso (qtf).

INTRUSIVAS ULTRAMÁFICAS TIPO MORRO FEIO

Serpentinito parcial ou totalmente talcificado ou cloritizado.

PROTEROZÓICO INFERIOR A ARQUEANO

ASSOCIAÇÃO ORTOGNÁISSICA-MIGMATÍTICA

Ortognaisses tonalíticos, granodioríticos e graníticos, às vezes migmatíticos. Migmatitos com restitos de rochas granulíticas.

COMPLEXO GRANULÍTICO ANÁPOLIS-ITAUCU

Granulitos paraderivados (APaip) – gnaisses aluminosos e hiperaluminosos, com intercalações de quartzitos aluminosos (qt), quartzitos ferruginosos, gonditos, rochas calcissilicatadas e mármore (mm). Subordinadamente granulitos ortoderivados associados.

Granulitos ortoderivados (APaio) – gnaisses ortoderivados, charnockitos (ck), e/ou enderbitos, metagabróides (mgb), metabásicas (mb), metaultrabásicas (mub), piroxenitos (px) e seus derivados transformados. Subordinadamente granulitos paraderivados.

Figura 3.4. Arcabouço Estratigráfico da Folha Goiânia SE-22-X-B

3.4.1. Complexo granulítico Anapolis-Itauçu

Este complexo, está subdividido em granulitos para e ortoderivados. Os paraderivados são predominantemente constituídos por gnaisses aluminosos e hiperaluminosos, enquanto os ortoderivados englobam rochas ígneas metamorfozadas na fácies granulito e correspondem ao conjunto de piroxenito/gnaisses gábricos, e às metabásicas e metaultrabásicas granulitizadas e/ou as típicas da transição entre as fácies anfibolito/ granulito.

Este complexo define um cinturão de rochas cisalhadas, estabilizadas na fácies anfibolito alto a granulito, e separadas como ortoderivadas (Paio) e paraderivadas (APaip). Nas ortoderivadas destacam-se metagabróides, metabásicas, enderbitos, charnoenderbitos, charnockitos e metapiroxenitos, estes últimos às vezes transformados em serpentinitos, talco xistos e tremolita-talco xistos. Alternando-se com tais litótipos ocorrem os paraderivados, dentre os quais granada gnaisses, biotita-granada gnaisses, biotita-sillimanita-granada gnaisses, cianita-granada gnaisses, granada quartzitos, gonditos e calcissilicáticas.

Às rochas desta unidade são atribuídas idades arqueana e proterozóica inferior.

3.4.2. Complexos Indiferenciados - Associação Ortognáissica-Migmatítica

É constituída por uma geração de granitóides de filiação calcialcalina, de baixo potássio, composta por tonalitos, com variações locais para granitos e granodioritos, além de migmatitos com encraves de granulitos.

Recentemente, em trabalho executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil, 2001 (CPRM) para o PLGB (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil) na região centro-sul de Goiás, folhas Nerópolis, Goiânia, Anápolis, Leopoldo de Bulhões e Caraíba, tais rochas foram denominadas informalmente de Granitóides Gama 1 (G1).

3.4.3. Seqüências Metavulcano-sedimentar

A Seqüência Metavulcano-sedimentar, se divide em duas unidades:

Metavulcânica e Metassedimentar/Mista. O termo Metassedimentar/Mista foi usado por causa das ocorrências de vulcano-clásticas intercaladas na forma de lentes entre os metassedimentos, cujos posicionamentos atuais resultaram de ação tectônica em regime de cisalhamento dúctil, que provocou o imbricamento de corpos via falhamentos contracionais e de laminações entre segmentos crustais de diferentes níveis de profundidade.

3.4.3.1. Unidade Metavulcânica

É constituída predominantemente por anfíbolito e metandesito.

O anfíbolito exhibe coloração verde-escura, textura porfiroblástica muito fina e estrutura orientada. É constituído essencialmente por hornblenda e plagioclásio, tendo por secundários: clorita, epidoto e actinolita. Como acessórios ocorrem: apatita, zircão e allanita, e, ainda, freqüentes disseminações de pirita e calcopirita.

O metandesito exhibe coloração cinza-escura, com níveis descontínuos verde-escuros, textura porfiroblástica com matriz granoblástica muito fina e estrutura orientada. É constituído essencialmente por quartzo, feldspato e hornblenda, tendo titanita por acessório.

3.4.3.2. Unidade Metassedimentar/Mista

É representada por quartzo-muscovita-biotita xistos de cor cinza, com níveis esverdeados, granulação média e estrutura milonítica foliada. Ocorrem subordinadamente: grafita xisto, muscovita quartzito.

O grafita xisto apresenta cor cinza-escura e estrutura milonítica. É constituído por quartzo, sericita, muscovita e grafita.

Os muscovita quartzitos têm coloração cinza-esbranquiçada, às vezes avermelhada por óxido de ferro.

3.4.4. Grupo Araxá

O Grupo Araxá é composto principalmente por micaxistos e quartzitos e foi subdividido em duas unidades:

A Unidade “A” representada por micaxistos, finos a grosseiros, com granada, estaurolita, cianita, cordierita e intercalações de quartzitos micáceos finos a grosseiros, xistos grafitosos e anfibolitos a Unidade “B”, constituída por calcixistos com intercalações de calcários.

Com base nos ambientes deposicionais, o grupo foi subdividido em quatro unidades: A, B, C e D. A Unidade “A” seria formada por grauvacas, depositadas em ambiente marinho. A Unidade “B”, representaria uma seqüência psamo-pelítica, sedimentada em ambiente marinho raso/deltaico. A Unidade “C”, corresponderiam sedimentos pelitocarbonáticos, formados em ambiente litorâneo. A Unidade “D” retrataria uma seqüência pelito-psamítica, depositada em ambiente litorâneo de supramaré.

3.4.5. Granitos Sintectonicos - Granitóides Gama 3 (G3)

Os principais tipos são metagranito, metagranodiorito e metadiorito, apresentam-se foliados, milonitizados e controlados por zonas de cisalhamento. Este tipo de granitóide foi cartografado na Folha Goiânia em apenas oito locais. Ocorre condicionado a zona de cisalhamento dúctil e rúptil-dúctil, com desenvolvimento de foliação milonítica e contatos concordantes bruscos.

Nos biotita-muscovita granitos e granodioritos, os termos dominantes possuem cor cinza-clara e, às vezes, intercalações entre bandas milimétricas claras e escuras. Exibem granulação média, estrutura foliada, textura milonítica localmente preservada e textura granoblástica. São constituídos predominantemente por muscovita, biotita, quartzo, plagioclásio (oligoclásio-andesina) e feldspato potássico (ortoclásio e microclínio).

Vênulas e veios de pegmatitos e de quartzo teriam sido originados pelos eventos que geraram faixas de milonitos e ultramilonitos, assim como os cristais prismáticos de turmalina e de cassiterita.

3.4.6. Cobertura terciária quaternária

São coberturas Detrítico-Lateríticas que desenvolveram-se sobre todas as unidades geológicas pré-cambrianas, sendo, entretanto, mais prósperas nos terrenos das rochas do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu.

Constituem solos areno-argilosos avermelhados, semiconsolidados, mal classificados, com espessura superior a 10m, que se apresentam parcialmente laterizados. Esses terrenos são identificados por superfícies aplainadas e pene-planizadas, que formam as extensas chapadas e chapadões.

3.4.7. Cobertura Quaternaria

Os depósitos aluvionares encontram-se confinados principalmente ao longo dos rios Meia Ponte, João Leite e seus principais afluentes. São caracterizados por sedimentos arenosos, siltico-argilosos e areias com níveis de cascalho.

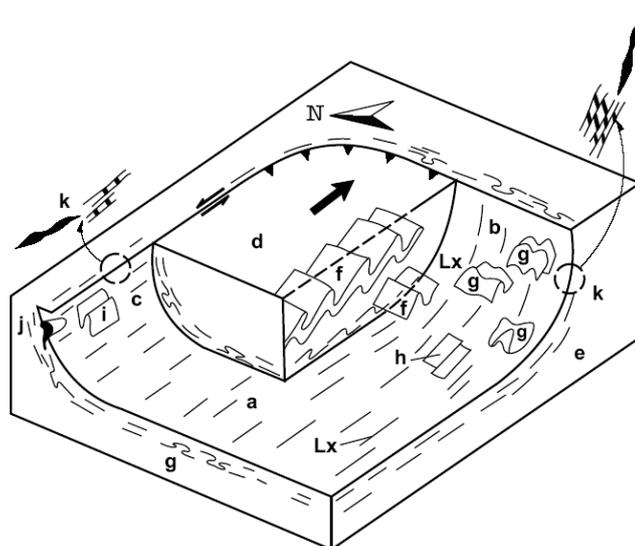
As areias, bastante exploradas para utilização na construção civil, são predominantemente formadas por grãos de quartzo arredondados ou subarredondados, contendo subordinadamente minerais pesados (magnetita e ilmenita).

Condicionadas às cabeceiras dos córregos, ocorrem pequenas turfeiras, que, em sua maioria, exibem pequenas dimensões e reduzido potencial econômico.

3.5. Geologia Estrutural

Localizada na extremidade ocidental do Cráton do São Francisco, a Folha Goiânia é formada por terrenos do Arqueano/Proterozóico Inferior (Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu e Associação Ortognáissica-Migmatítica), do Proterozóico (seqüências metavulcano-sedimentares e coberturas metassedimentares dobradas) e Fanerozóico (coberturas superpostas finais). Nos terrenos pré-cambrianos observam-se grandes movimentos tectônicos, cujos registros tiveram início no Evento Jequié e, ciclicamente, recorreram até no Ciclo Brasileiro. As diversas etapas deformacionais definem uma tectônica transcorrente, registrada por expressivas zonas de cisalhamentos dúcteis, refletindo, assim, movimentações

compressionais, que geraram sobretudo estruturas imbricadas, em que, inclusive lascas de granulitos de grande profundidade alojaram-se sobre e/ou dentro de coberturas metassedimentares mais jovens (Figura 3.5).



a - piso do empurrão; **b**- rampa frontal com Lx com forte “rake”; **c**- rampa lateral com Lx com baixo “rake”; **d** - bloco alóctone; **e** - bloco autóctone; **f** - dobras F1e F2 associadas ao movimento principal para leste; **g** - dobras em bainha próximo ao cisalhamento frontal; **h** - dobras reclinadas (rotação extensiva dos eixos); **i** - dobra gerada na rampa lateral; **j** - dobras em bainha, relacionadas à rampa lateral; - exemplos de critérios cinemáticos em cortes verticais (rampa frontal e horizontal) nas zonas de cisalhamento sigmóides S-C Boudinage Assimétrica.

Figura 3.5. Estilo tectônico tangencial de empurrões dúcteis e mesoestruturas relacionados à Supra- Estrutura (Oliveira, C. C. et. al., 1994)

Os registros das deformações exibem-se como zonas de cisalhamentos transcorrentes oblíquas nos terrenos da Infra-Estrutura e por cavalgamentos de baixo ângulo nos domínios da Supra-Estrutura.

Em razão da complexidade estrutural, que envolve no mínimo três eventos deformativos, reuniu-se as feições estruturais em dois grandes domínios: o da Infra-Estrutura e o da Supra-Estrutura.

3.5.1. Domínio da Infra-Estrutura

Os terrenos da Infra-Estrutura abrangem o Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu e a Associação Ortognáissica-Migmatítica.

As feições são expressas caracteristicamente pela predominância de zonas de cisalhamento transcorrente oblíquo, de direção NW-SE, em faixas paralelas e com pequenos espaçamentos entre elas. Caracterizam-se por marcantes lineações de estiramento mineral, intensa foliação de trans-posição, lenticularização de estratos, formação de boudins, cristais de feldspatos deformados (sigmóides), sombras de pressão, dobras em bainhas com flancos rompidos e, sobretudo, milonitização generalizada. Estas feições derivaram da atuação de três fases de deformação superpostas: F_n , F_{n+1} e F_{n+2} .

A Fase F_n , relacionada provavelmente ao Evento Transamazônico, desenvolveu uma geração de superfícies miloníticas, em razão de tectônica regional transcorrente e penetrativa, sob condições extremamente dúcteis, com a formação de uma foliação de alto ângulo, de direção preferencial variando entre $N40^\circ W$ e $N60^\circ W$ e lineação de estiramento mineral (L_x) com azimute em torno de $10^\circ/310^\circ$.

A relação da fase primitiva com a F_{n+1} , não é bem nítida. Interpreta-se este evento mais novo como relacionado ao Ciclo tectônico Uruaçuano. As feições mais proeminentes residem nas deformações tangenciais de baixo ângulo que, conjugadas com as primeiras superfícies miloníticas de alto ângulo, formam regionalmente as rampas laterais penetrativas em regime dúctil/rúptil, que possibilitaram transporte de massa de noroeste para sudeste.

Esta deformação produziu estruturas escamadas e imbricadas, acompanhadas por encurtamento e espessamento crustais decorrentes de um esforço compressional de oeste para leste, resultando uma nítida foliação milonítica e definida principalmente pelo paralelismo entre cristais de biotita.

Estes imbricamentos são caracterizados por grandes movimentações de blocos, que possibilitaram intercalações de litótipos de diferentes fácies metamórficas, gerados em diversos níveis crustais e de idades variadas. Como exemplo característico, reporta-se à zona de cisalhamento sinistral Goiânia- Bonfinópolis, com direção geral E-W, a qual, em regime de transcorrência compressional coloca lado a lado granulitos do Complexo Anápolis-Itauçu com metassedimentos do Grupo Araxá.

Dos movimentos horizontais direcionais resultaram estruturas que assumem geometria de rampa frontal.

A Fase F_{n+2} , relacionada ao Brasileiro, corresponde à terceira geração de superfícies cataclásticas e/ou miloníticas, caracterizadas por condição rúptil/dúctil, com o desenvolvimento de falhas regionais transnormais que interceptam as foliações miloníticas anteriores.

3.5.2. Domínio da Supra-Estrutura

A Faixa de Dobramentos Uruaçuanos, representada pelos granitóides Gama 3, pelo Grupo Araxá e pela Sequência Metavulcano-sedimentar de Silvânia, é caracterizada por uma deformação polifásica progressiva, com o desenvolvimento de dobras não-coaxiais e acilíndricas, sombras de pressão assimétricas em porfiroclastos de granada, expressivas lineações de estiramento (determinadas por minerais micáceos e quartzo), assim como intensa delaminação milonítica. Essas estruturas foram geradas em regime deformacional por cisalhamento tangencial simples, de natureza dúctil/rúptil, do que resultou o imbricamento das unidades ao longo de superfícies de cisalhamento de baixo ângulo em razão de transporte tectônico de oeste para leste.

No domínio da supra-estrutura, o quadro deformativo geral mostra três fases, que se sucederam em evolução tectônica contínua e progressiva, foi iniciada provavelmente no Uruaçuano e atingiu até o Brasileiro.

A primeira fase (F1) é marcada pela geração da foliação milonítica penetrativa de baixo ângulo (S1), formada em condições de fácies xisto-verde e desenvolvida sob regime de cisalhamento simples.

Esta fase foi, possivelmente, gerada pela transposição do acamadamento original, convertido em dobras isoclinais fechadas, deitadas, recumbentes e intrafoliais, em razão da atuação das tensões iniciais.

A segunda fase (F2) caracteriza-se pela formação de uma superfície milonítica, gerada por deformação de cisalhamento simples dúctil progressivo de baixo ângulo, que transformou a xistosidade primitiva (S1) em foliação milonítica (S2), do que resultaram dobras com os planos axiais (PA2) subhorizontalizados, com charneiras espessadas e eixos (Lb2) curvilíneos,

cujos flancos longos estão deitados, enquanto que os curtos exibem-se subverticalizadamente (Figura 3.6).

Essa deformação está bem impressa na unidade psamo-pelítica do Grupo Araxá, cujas melhores exposições ocorrem na Serra da Areia, a sudoeste de Goiânia. As dobras são assimétricas, exibindo flancos longos horizontalizados e curtos subverticalizados.

Na terceira fase (F3), os dobramentos são evidenciados por dobras abertas, com superfícies axiais (PA3) subverticalizadas, de assimetria pouco marcante e com amplitude métrica em afloramento. Apresentam, às vezes, estruturas de interferências sob a forma de domos e bacias (Figura 3.6).

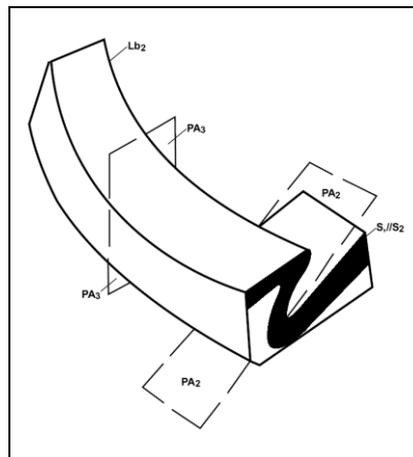


Figura 3.6. Relação entre os planos axiais das fases de deformação F2e F3.

CAPÍTULO 4 : Metodologia e Materiais

Neste capítulo apresentam-se as ferramentas e métodos utilizados no desenvolvimento da presente pesquisa, os quais são divididos em 5 etapas principais: definição da área de estudo, trabalho de escritório, trabalho de campo, ensaios de laboratório e análises dos resultados.

Estas atividades visam compor todas as etapas relativas à elaboração do cadastro georreferenciado da atividade de extração de agregados embora estas atividade estejam relacionadas a um cadastro específico a metodologia proposta pode ser entendida a outras atividades do setor de mineração é importante ressaltar que as informações obtidas serviram de base para a otimização do processo produtivo, estimativa da vida, geração de rejeitos e estimativa de impactos ambientais.

4.1. Etapas da pesquisa

Para desenvolver a metodologia de cadastro proposta foi necessário dividir cada atividade da pesquisa em etapas segundo o esquema apresentado na Figura 4.1.

Na primeira etapa definiu-se a área de estudo, que foi abordada no Capítulo 3. Sendo justificada pela importância de as pedreiras no entorno da cidade de Goiânia representam para produção de agregados no município. Depois se selecionou as ferramentas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa para realizar o trabalho de escritório e campo.

Na segunda etapa se realizou o trabalho de escritório correspondente a utilização do SIG, aplicando técnicas de geoprocessamento às imagens satélites com a finalidade de localizar as pedreiras existentes na zona de estudo. Esta etapa será detalhada neste capítulo.

Na terceira etapa se realizou a verificação em campo das pedreiras que foram localizadas por meio do programa Spring, logo depois foram feitas algumas visitas de campo com a finalidade de coletar dados dessas e elaborar o cadastro a partir das informações obtidas em entrevistas e conseguir o apoio para realizar o levantamento geomecânico, cujos resultados também foram inseridos no banco de dados georreferenciado. Esta segunda etapa também será abordada neste capítulo.

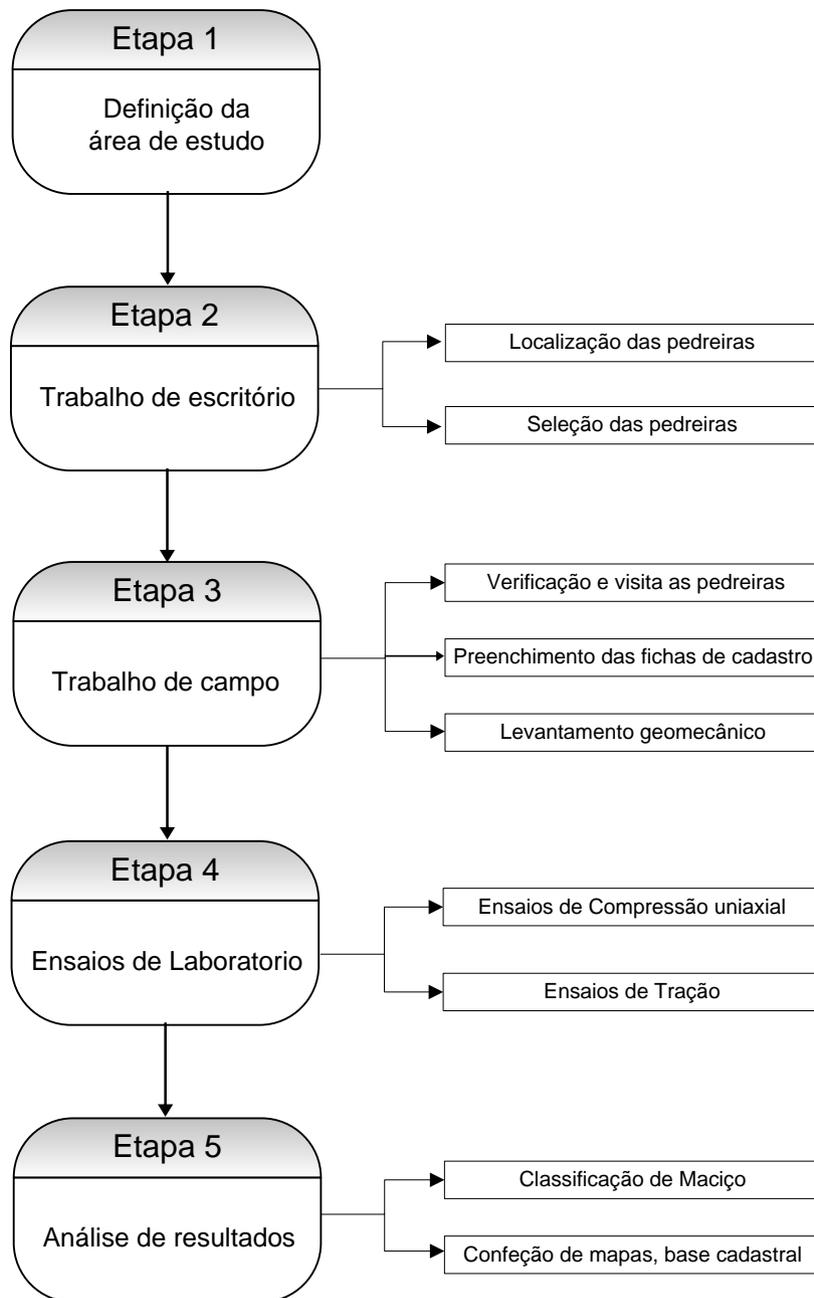


Figura 4.1. Fluxograma da metodologia.

Na quarta etapa foram realizados os ensaios de laboratório nas amostras coletadas nas pedreiras. Os ensaios propostos foram realizados em parceria com o Laboratório de Mecânica das Rochas em FURNAS. Os resultados obtidos complementaram a caracterização dos maciços rochosos e também tiveram por finalidade incrementar o banco de dados com informações importante para instituições públicas, privadas e as próprias pedreiras. Esta quarta etapa será abordada também neste capítulo.

Finalmente na última etapa, de análise dos resultados, será abordado no capítulo seguinte, mostrando os resultados tanto de escritório, campo e laboratório.

4.2. Materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa consistiram de imagens satélites, dados cartográficos, programas computacionais, que serão detalhados a seguir:

4.2.1. Imagens satélites

Com a finalidade de localizar as pedreiras foi interpretada uma parte de 4 imagens satélites CBERS-2, captadas pelo sensor CCD que fornece imagens de uma faixa de 113 Km de largura a uma resolução de 20m, estas imagens encontram-se disponibilizadas na internet pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) as quais são especificadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Imagens CBERS-2

Orbita_Ponto	Data	Bandas
158_118	2005/09/04	1,2,3,4,5
158_119	2006/09/03	1,2,3,4,5
159_118	2006/08/05	1,2,3,4,5
159_119	2006/08/05	1,2,3,4,5

As imagens CBERS2 possuem 5 bandas espectrais (cada banda representa a resposta da superfície em uma certa faixa espectral), com a primeira variando na faixa do azul (0,45-0,52 μm), a segunda na faixa do verde (0,52-0,59 μm), a terceira na faixa do vermelho (0,63-0,69 μm), a quarta na faixa do infravermelho próximo (0,77-0,89 μm), e a quinta sendo uma banda pancromática (0,51-0,73 μm). Pela finalidade desta pesquisa só foram utilizadas as bandas 2,3,4 .

4.2.2. Dados cartográficos

Foram utilizados os dados cartográficos em formato digital, disponibilizados pelo estado de Goiás mediante o Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas do estado Goiás (SIEG) e os dados disponibilizados pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). Todos os dados cartográficos utilizados serão detalhados a seguir:

- a) O mapa geológico da folha Goiânia SE-22-X-B, na escala 1:250.000, disponibilizado pelo SIEG.

- b) O mapa de drenagem da folha Goiânia SE-22-X-B na escala 1:250.00, disponibilizado pelo SIEG.
- c) A base topográfica de folha Goiânia SE-22-X-B na escala 1:250.000, com equidistância de 100m, disponibilizado pelo SIEG.
- d) O mapa geomorfológico da folha Goiânia SE-22-X-B na escala 1:250.00, disponibilizado pelo SIEG.
- e) O mapa de municípios da folha Goiânia SE-22-X-B na escala 1:250.00, disponibilizado pelo SIEG.
- f) O mapa de títulos minerários do estado de Goiás e do Distrito Federal, disponibilizado pela Diretoria de Outorga e Cadastro Mineiro (DICAM) do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM).

4.2.3. Programas computacionais

Para processamento das imagens e análises estruturais foi necessária a escolha e utilização de programas aplicados como:

- a) Spring 4.3.2 desenvolvido pelo INPE – Processamento digital das imagens satélites.
- b) Programa Google Earth – Visualização de imagens de satélite em 3D.
- c) ArcGIS 8.3 – Utilizando se o módulo ArcMap 8.3, manipulação dos produtos finais de cartografia, assim como suporte do banco de dados.
- d) DIPS 5.0 do Rockscience - Manipulação e análise de dados estruturais

4.3. Equipamentos

Para as etapas de escritório e campo foram utilizados os equipamentos:

- a) Microcomputador com processador 1.73 GHz.
- b) Câmara Fotográfica Digital – Sony Cyber Shot 6.0 Mega pixels.
- c) GPS eTrex H – Garmin.
- d) Bússola de geólogo, tipo Brunton.
- e) Martelo para Geólogo Estwing.
- f) Perfilometro.
- g) Trena de 20 m.

4.4. Desenvolvimento da metodologia

Com todos os materiais e equipamentos foi possível iniciar o desenvolvimento da metodologia esquematizada na Figura 4.1. É importante ressaltar que os itens seguintes apresentam o detalhamento da aplicação do programa de geoprocessamento, verificação e visitas as pedreiras, preenchimento das fichas de cadastro, levantamento geomecânico e ensaios de laboratório.

4.4.1. Programa de geoprocessamento

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o Spring (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas). Este SIG é um sistema de domínio público, podendo ser obtido gratuitamente na Internet (<http://www.dpi.inpe.br/spring>).

O Spring está dividido em quatro módulos de trabalho: Impima, Spring, Scarta e Iplot. Os módulos utilizados nesta pesquisa foram o Impima que importa e converte imagens para formato GRIB (Gridded Binary) e o módulo Spring onde estão as funções responsáveis pelas operações referentes às informações espaciais presentes em imagens de satélites, cartas topográficas, cadastrais, temáticas e redes produzindo cartas temáticas.

O módulo Scarta é responsável pelo acabamento das cartas, mas para esta função foi utilizado o módulo ArcMap do programa ArcGIS.

ArcGIS é o nome de um grupo de programas informáticos e que constitui um Sistema de informação geográfica. É produzido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute, Inc.*). No ArcGIS estão incluídos: ArcReader, que permite ver os mapas criados com os outros produtos Arc. ArcView, para visualizar dados espaciais, criar mapas, e performance básica de análise espacial. ArcEditor que inclui toda a funcionalidade do ArcView, inclui ferramentas mais avançadas para manipulação de *shapefiles* e geodatabases. ArcInfo, a versão mais avançada do ArcGIS, que inclui potencialidades adicionadas para a manipulação de dados, edição e análise. ArcMap que é uma aplicação principal do ArcGIS uma vez que é utilizado para todo tipo de mapeamento e edição para impressão, também para a análise de mapas base, é comum que os mapas incluam tabelas de atributos.

4.4.1.1. Construção do banco de dados

Primeiramente utilizando o programa Spring, foi criado um banco de dados (Figura 4.2) para a criação do projeto, implicando assim na criação de um sub-diretório, dentro do banco de dados ativo, onde estão armazenados.

Para esta criação necessitou-se definir a projeção do sistema do modelo da Terra, as coordenadas de origem do sistema de referência, além das coordenadas do retângulo envolvente (área menor ou igual a do projeto).

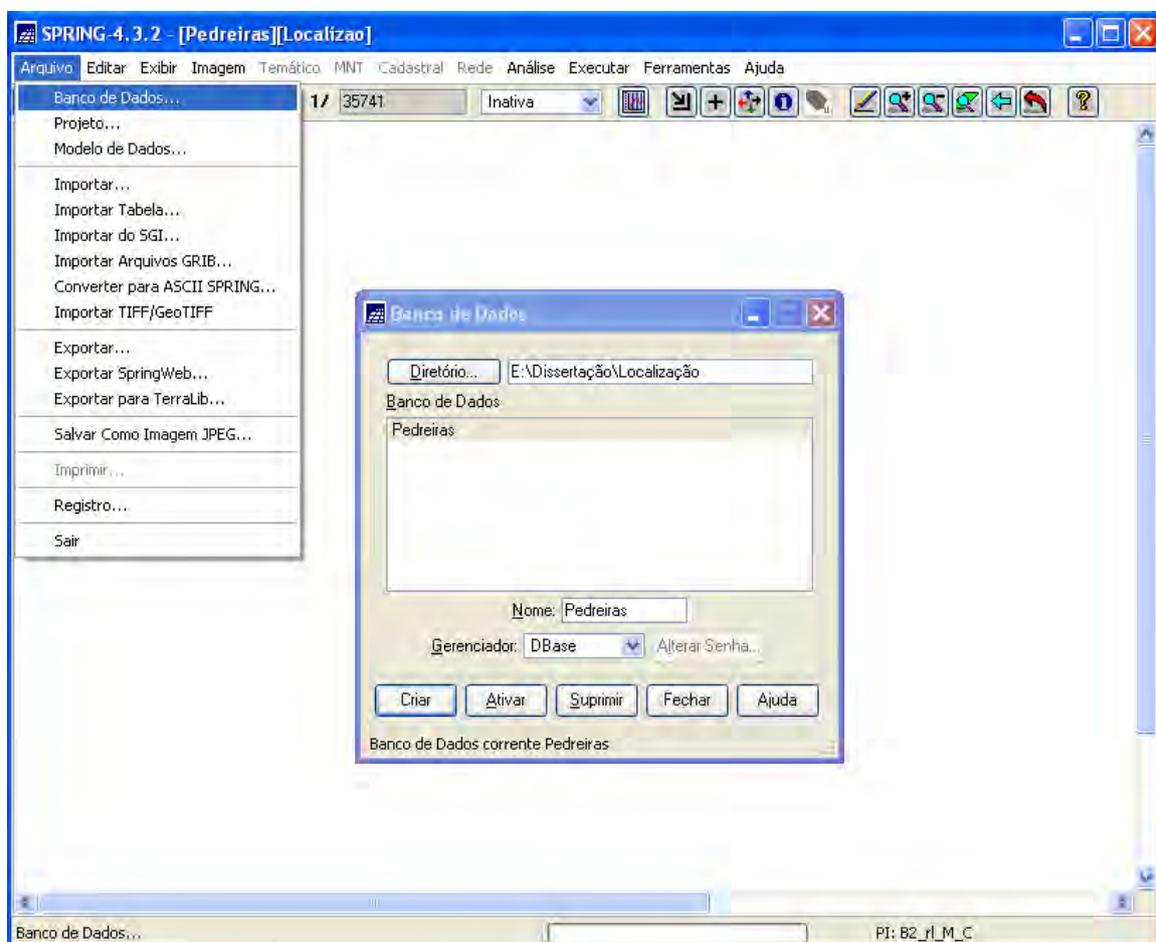


Figura 4.2. Criação do banco de dados

Antes da introdução de qualquer dado no “Spring” foi necessário criar categorias conceituais do banco de dados, para que cada tipo de dados a ser tratado pelo Spring fosse associado a uma categoria. Cada categoria pertence a um modelo de dados, são elas:

Categoria do modelo Imagem refere-se a dados provenientes de sensoriamento remoto em formato matricial, fotografias aéreas transformadas em imagens digitais por digitalização em “scanners”.

Categoria do modelo Numérico refere-se a dados que possuem uma variação contínua de seus valores numéricos em função de sua posição na superfície. Exemplos: altimetria, pH do solo, magnetometria, temperatura de superfície etc.

Categoria do modelo Temático refere-se a dados que classificam uma posição geográfica quanto a um determinado tema. Ex: tipos de solo, classificação de vegetação etc.

Para as categorias de dados do modelo temático é necessário definir as Classes Temáticas, as quais são especializações da categoria. Tomando-se como exemplo uma categoria tipos de solo, cada um dos diferentes tipos de solos constituirão as classes. Por exemplo, latossolo roxo, podzólico e litossolo.

Categoria de dados do modelo Objeto refere-se à especialização de um tipo de objeto geográfico. Exemplo: municípios, logradouros, propriedades etc.

Categoria do modelo Cadastral refere-se aos mapas que contêm a representação de determinado tipo de objeto, por exemplo: Divisão política é a categoria cadastral que conterà o mapa com as representações dos municípios.

Categoria do modelo Rede refere-se aos dados geográficos que possuem relações de fluxo e conexão entre os inúmeros elementos que deseja-se representar e monitorar. Ex: rede de energia elétrica, esgoto, água, drenagem, telefonia etc.

Categoria do modelo Não-Espacial refere-se aos dados que não possuem representação espacial como, por exemplo, os dados de cadastros rurais e urbanos.

Nesta pesquisa utilizou-se os modelos imagem e temático para a categoria bandas e a categoria pedreiras conforme a Figura 4.3.

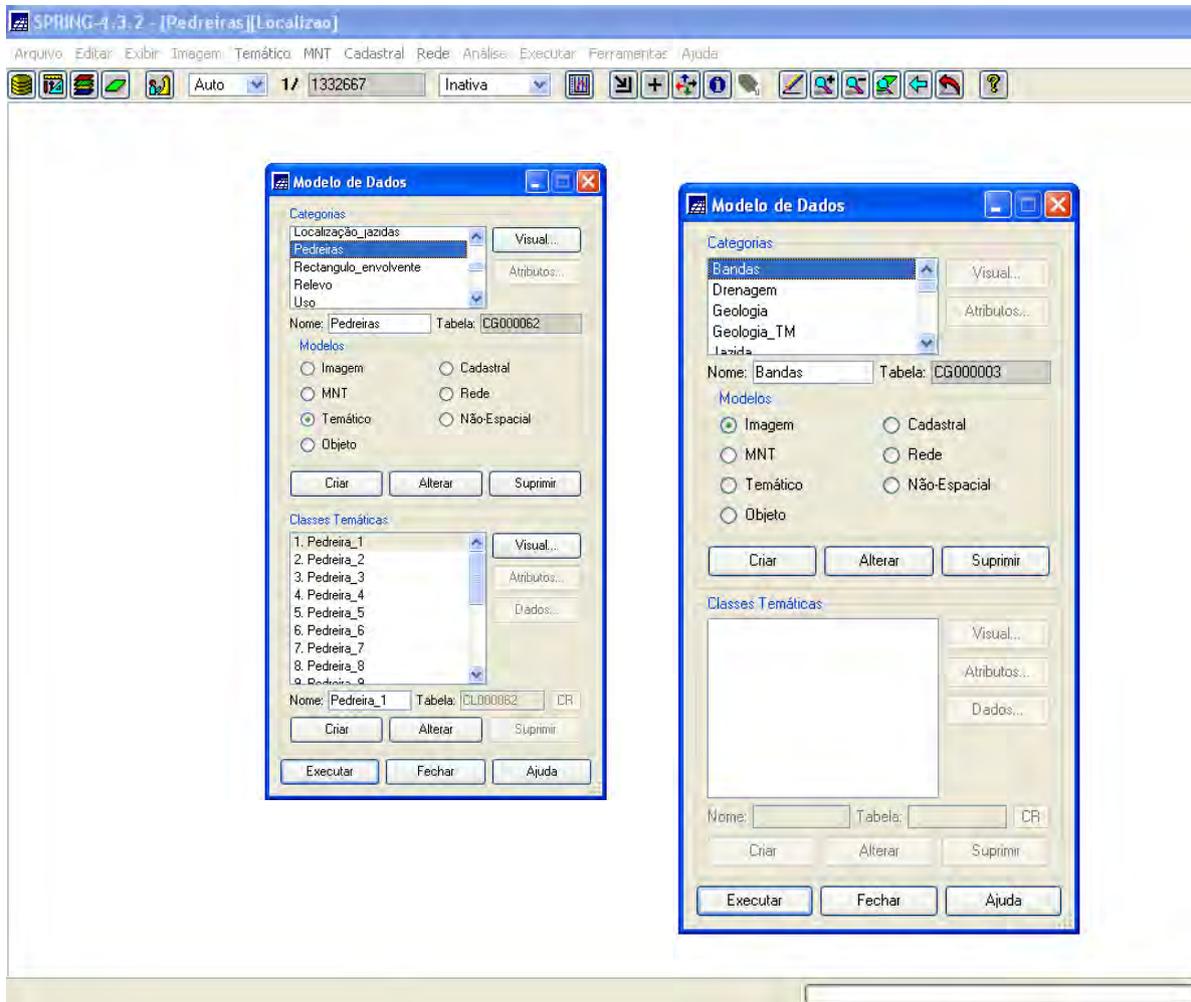


Figura 4.3. Definição dos modelos de dados.

Na categoria pedreiras foram criadas 9 classes temáticas, logo após foi necessária a criação e a definição do projeto, contendo: a projeção adotada, o Datum utilizado e as coordenadas planas para delimitar a área do trabalho. A Figura 4.4 apresenta a criação e definição do projeto usado nesse trabalho com o nome de Localização, projeção Universal Transversa de Mercator – UTM com datum South American Datum 1969 – SAD-69, meridiano central 51° WGr (West-oeste de Greenwich) e coordenadas planas para o retângulo envolvente de: X1= 391638 X2=553627 Y1=8064225 Y2=8286364

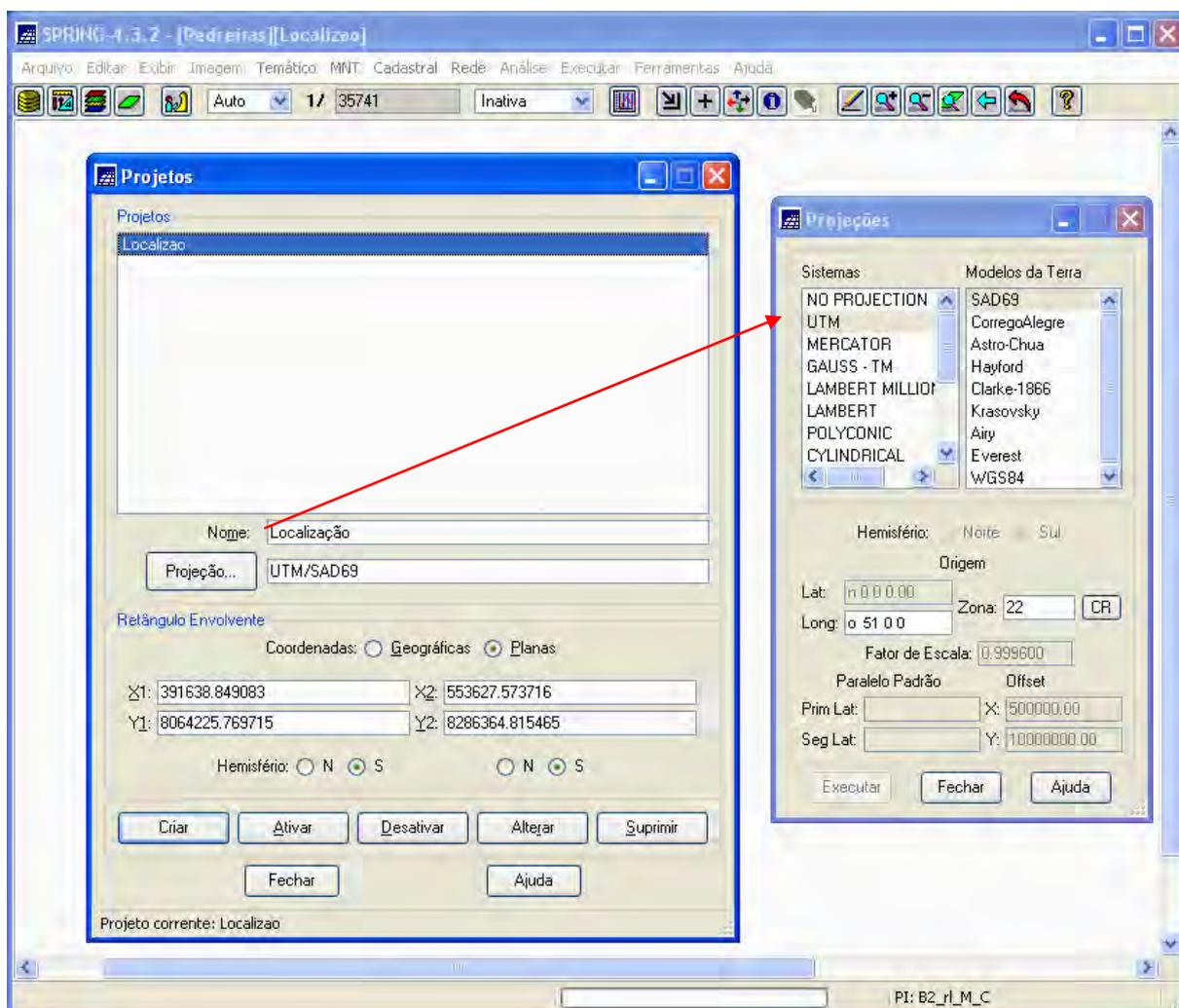


Figura 4.4. Criação e definição do projeto

Definidas as categorias e o projeto, o próximo passo foi definir os planos de informações que são representações dos mapas que estão na mesma área geográfica de estudo definida pelo retângulo envolvente do projeto, conforme pode ser visto na Figura 4.5.

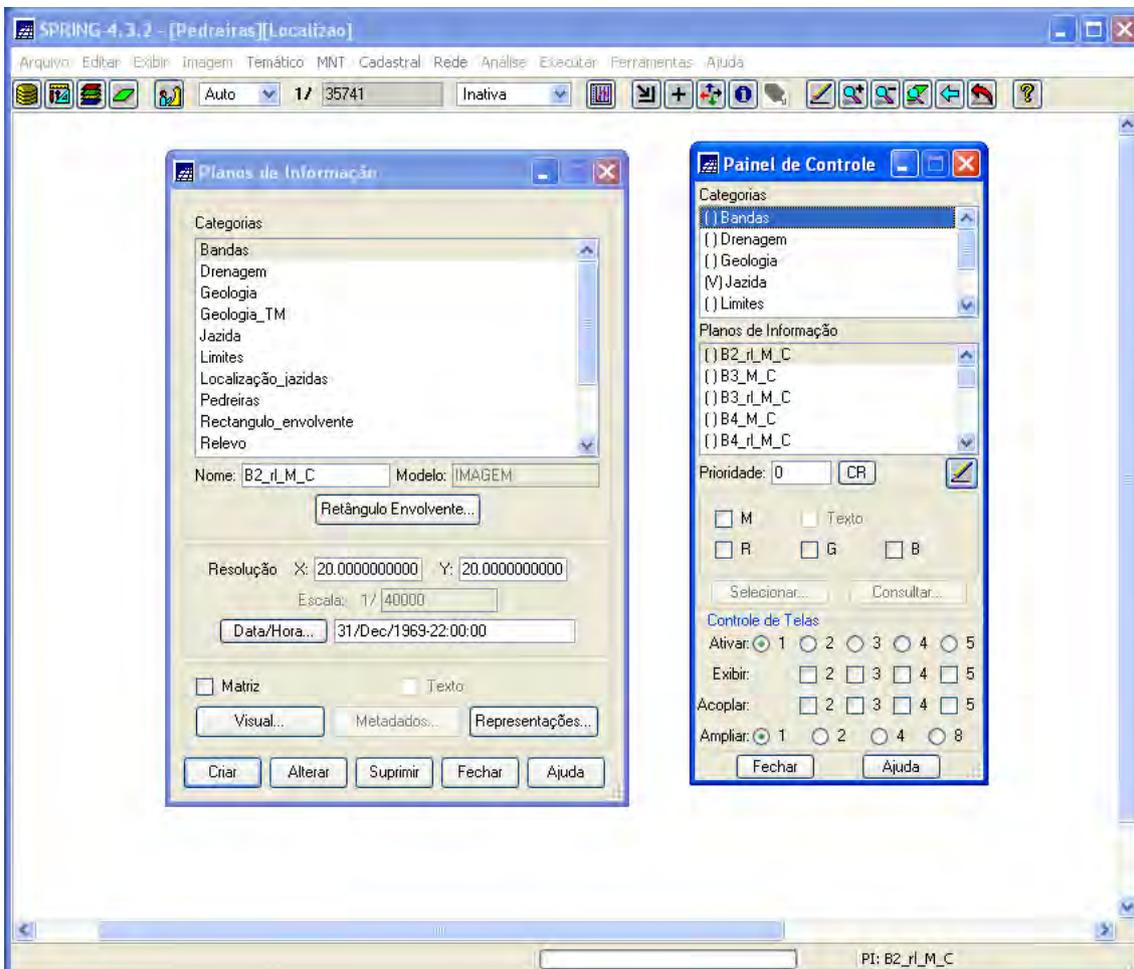


Figura 4.5. Plano de informação (PI)

4.4.1.2. Processamento digital

Para melhor interpretação da imagem foram avaliadas várias composições, a composição que melhor se adequou foi a composição colorida RGB 3, 4, 2. As técnicas de processamento digital aplicadas nas imagens foram:

a) Registro de imagem - Georreferenciamento:

Uma vez a imagem estava em formato GRIB (*GRIdded Binary*) utilizando o módulo Impima, se realizou o registro da imagem. Este procedimento é realizado visando corrigir as possíveis distorções espaciais durante o processo de gravação e que provocam uma perda na precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nela representados. O processo de correção da imagem foi realizado de acordo com o sistema de coordenadas.

Assim, as coordenadas da imagem foram relacionadas com as coordenadas geográficas do mapa base de drenagem (escala de 1:250.000) do Sistema Estadual de Estatística e de Informações de Goiás (SIEG). Foram adquiridos pontos de controle identificados de modo preciso na imagem e no mapa para o registro da imagem.

b) Realce de contraste

O realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano dessa forma foi realizado um contraste linear, que consiste numa transferência radiométrica dos “pixels” para aumentar a discriminação visual dos objetos presentes na imagem. Esta transferência radiométrica é realizada com ajuda de histogramas, que são manipulados para obter o realce desejado. A Figura 4.6 representa o detalhe do processo de realce da imagem.

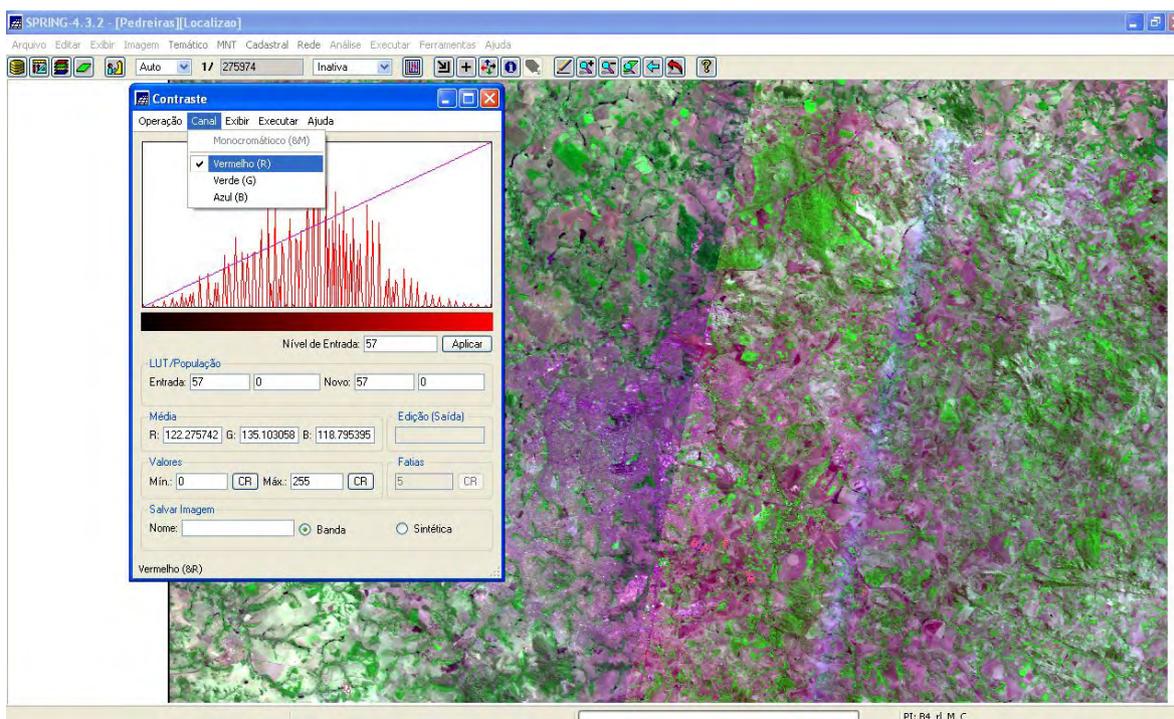


Figura 4.6. Realce da imagen.

c) Operações aritméticas

Nesta operação utilizou-se duas bandas (Banda 4 / Banda3) de uma mesma área geográfica, para obter o índice de vegetação. As operações são realizadas "pixel" a "pixel", a partir de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma nova banda representando a combinação das bandas originais. A Figura 4.7 mostra que este tratamento foi realizado com um fator de ganho de 50 (multiplicativo) e "off-set" de 100 (aditivo), para melhorar a qualidade de contraste da imagem uma vez que foram realizadas tentativas com outros valores de fator de ganho e "offset".

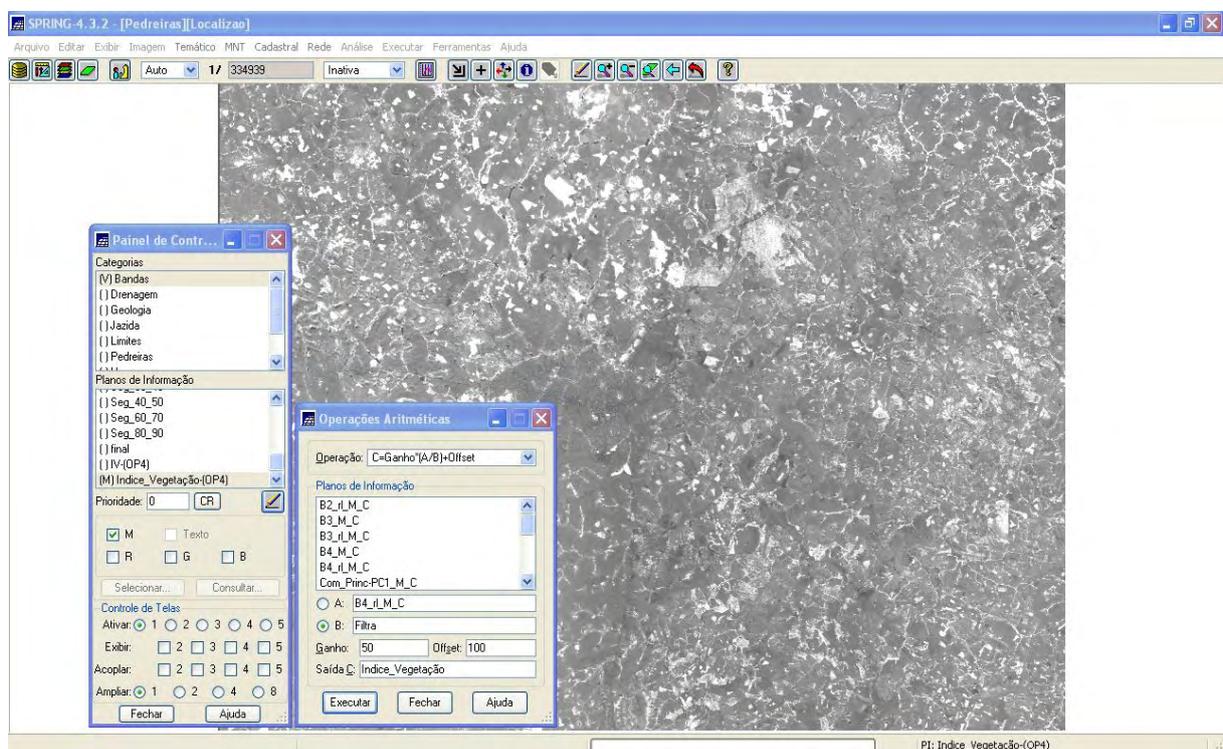


Figura 4.7. Obtenção do índice de vegetação.

d) Filtragem

Os filtros servem para suavizar ou realçar detalhes da imagem e são importantes para atenuar às transições abruptas que correspondem a altas frequências, A suavização tende a minimizar ruídos e apresenta o efeito de borrachamento da imagem. Neste tratamento utilizou-se um filtro linear passa-baixa numa vizinhança de dimensão 3x3. A Figura 4.8 mostra o procedimento de filtragem realizado.

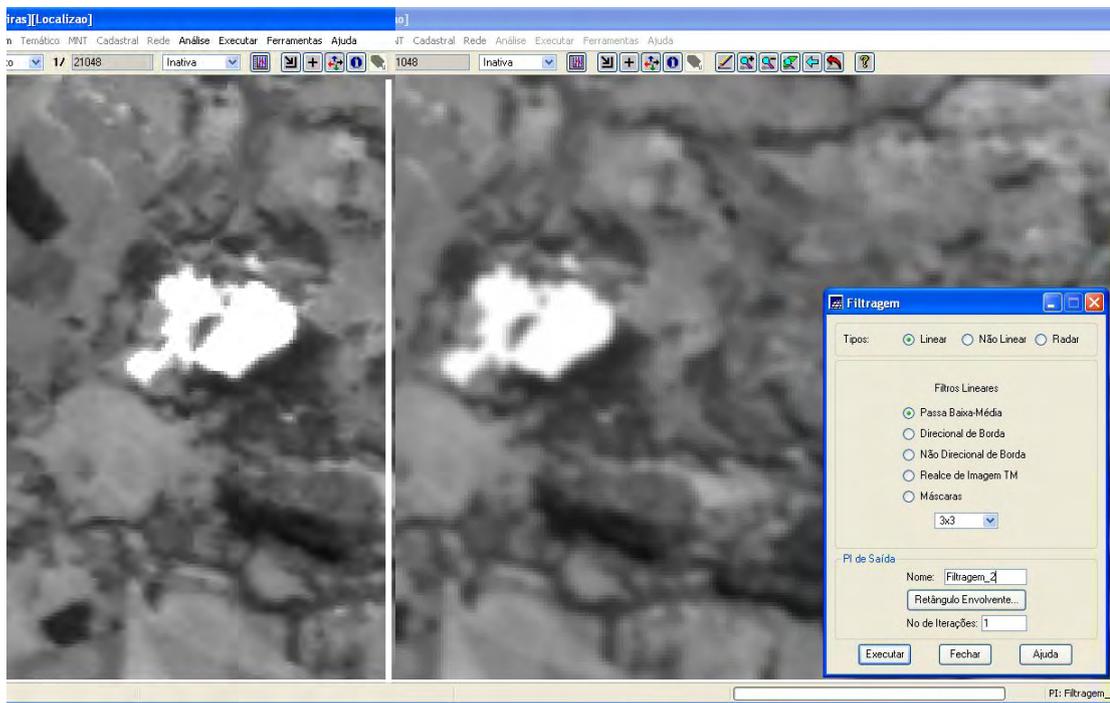


Figura 4.8. Filtragem.

e) Componentes principais

Observa-se frequentemente que bandas individuais de uma imagem multiespectral são altamente correlacionadas, ou seja, as bandas são similares visual e numericamente.

Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos.

A análise das bandas espectrais individuais pode ser então ineficiente devido à informação redundante presente em cada uma dessas bandas.

A geração de componentes principais é uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas.

Foram utilizadas as bandas 2,3 e 4 assim como o índice de vegetação gerado anteriormente (Figura 4.9).

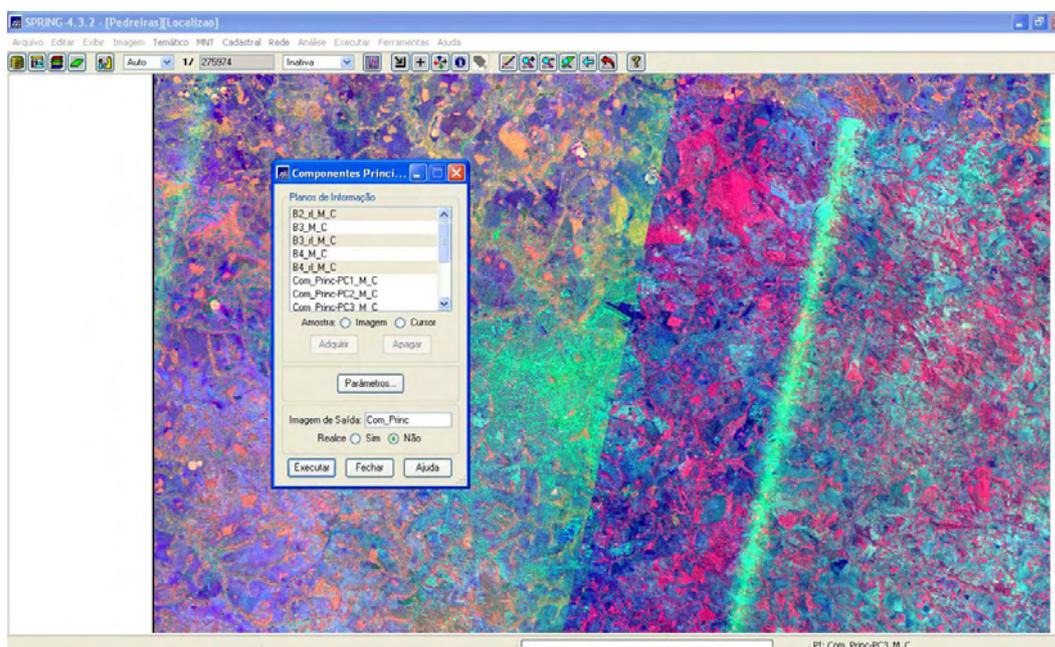


Figura 4.9. Componentes Principais.

e) Segmentação da Imagem

Para a segmentação da imagem utilizou-se o método de crescimento por regiões, onde somente as regiões adjacentes espacialmente são agrupadas. Escolheu-se o limite de similaridade 30 e o tamanho mínimo da área de cada região igual a 40 pixels. É importante ressaltar que para valores menores se apresentam polígonos muito pequenos e caso contrário quando os valores são superiores. A Figura 4.10 apresenta o resultado do processo de segmentação da imagem.

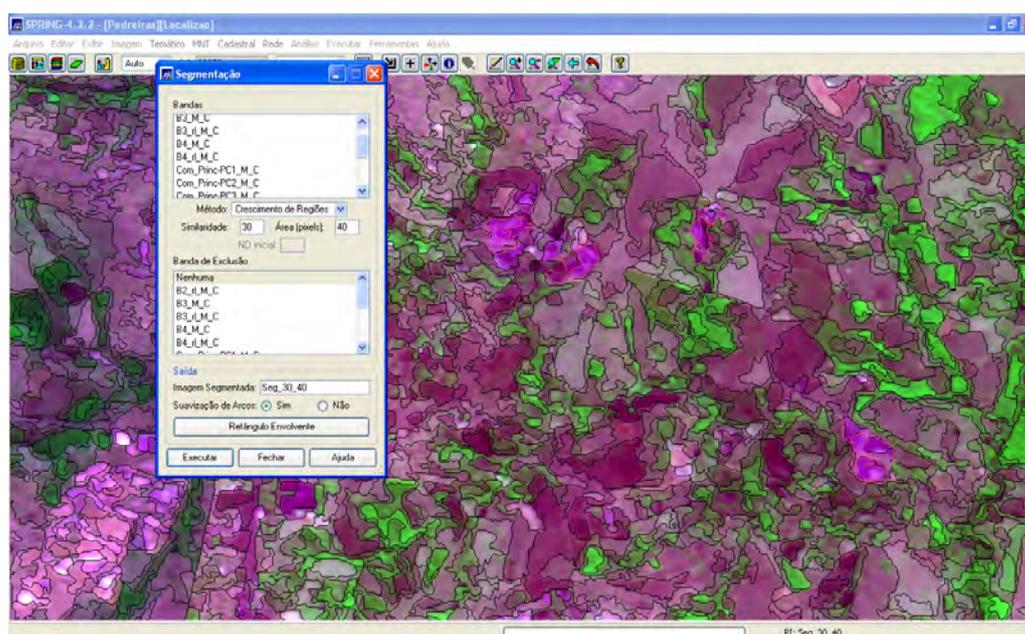


Figura 4.10. Imagem segmentada.

e) Classificação supervisionada por região

Para a classificação supervisionada da imagem segmentada utilizou-se o algoritmo Ioseg de classificação por região, o classificador utilizado foi por treinamento conforme a Figura 4.11. Com auxílio do GoogleEarth conseguiu-se delimitar 9 pedreiras em atividade.

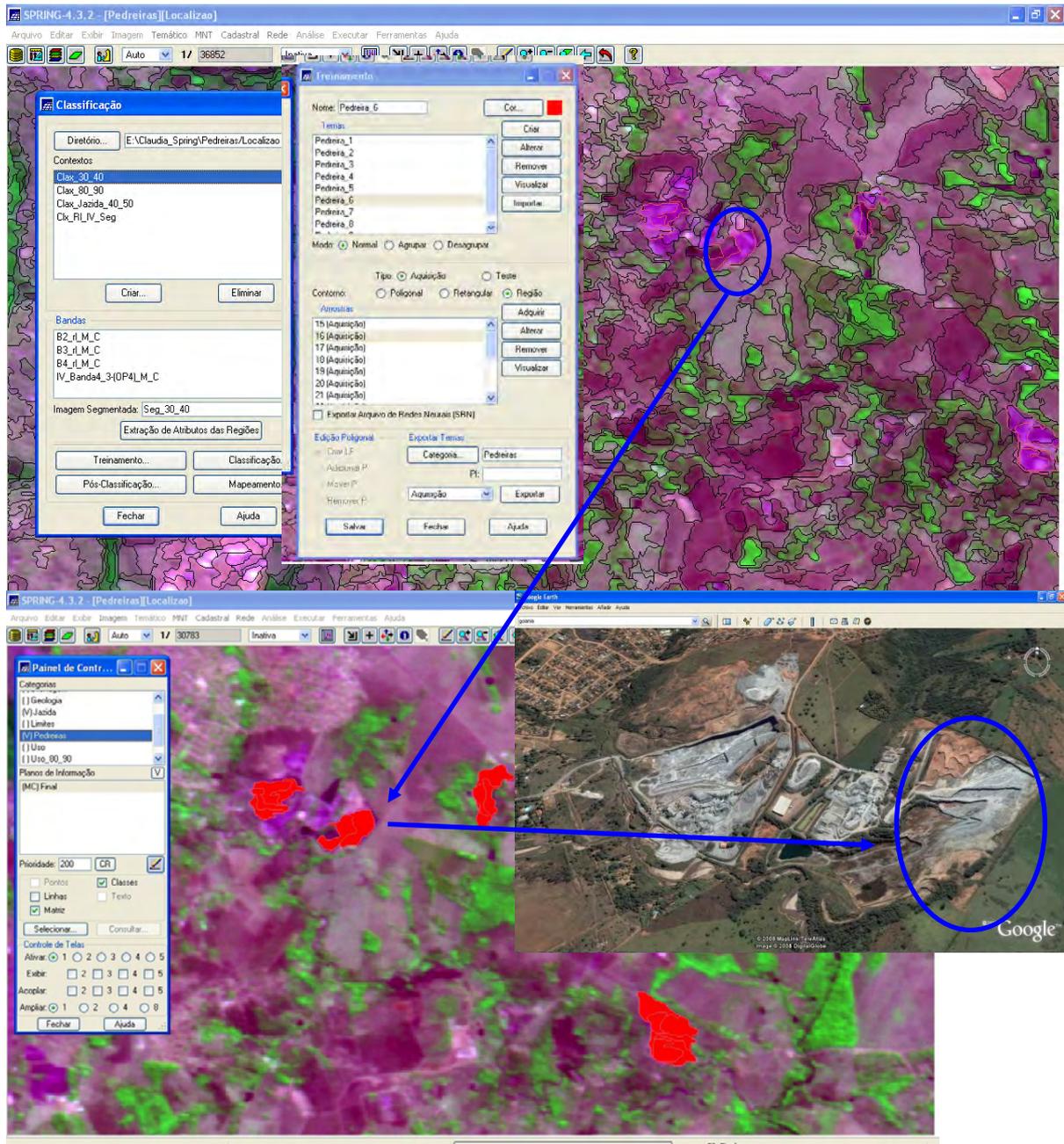


Figura 4.11. Classificação por treinamento e auxílio do GoogleEarth na identificação das pedreiras.

Finalmente se obteve o mapa preliminar de localização de pedreiras, a Figura 4.12 mostra a identificação onde cada pedra encontrada na região de estudo. Após a localização os polígonos das áreas foram exportados para o ArcMap com a finalidade de caracterizar a zona de estudo que envolve as pedreiras localizadas e também criar a tabela com atributos.

“Seria melhor antes de começar os mapas finais dizer que os polígonos foram importados”

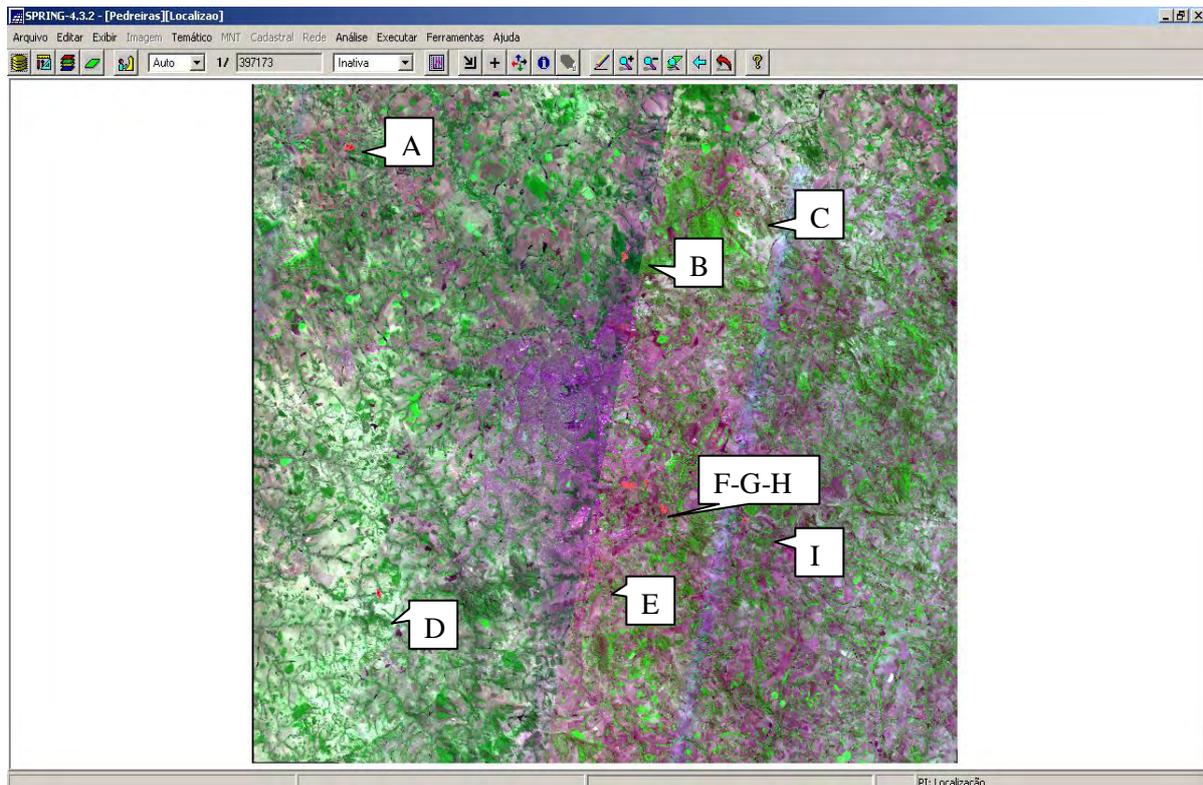


Figura 4.12. Localização preliminar das pedreiras pertencentes a área de estudo.

4.4.2. Verificação da localização preliminar e visita as pedreiras

Após a classificação da imagem, realizou-se trabalho de campo para obter maior confiabilidade na identificação de cada área o que levou ao planejamento de roteiros de visita realizados em diversos dias. É importante destacar a dificuldade encontrada para localizar as pedreiras identificadas nas imagens em campo; além disso, durante as visitas foi observada uma certa dificuldade em realizar uma visita mais detalhada na área o que resultou na dificuldade de obter a grande maioria dos dados da folha de cadastro.

Das 9 pedreiras identificadas inicialmente, foram visitadas em campo as regiões A,B,E,F mostradas na Figura 4.12 para verificar que as coordenadas em campo medidos com o GPS,

concordavam com aquelas proporcionadas pelo próprio programa como o caso da área A que corresponde à Pedreira Anhanguera e a área E que corresponde à Pedreira Itaúna.

Alguns locais, como a área F, que foram identificados como uma só pedreira, no trabalho de campo comprovou serem duas pedreiras que ficaram muito próximas se verificando que eram as Pedreiras Araguaia e Pedreira Izaira, no caso da área B, se comprovou que tratava da Barragem de João Leite.

Diante das avaliações e confirmações no campo foi necessário repetir o processamento digital relativo a classificação por treinamento a fim de corrigir a distribuição das pedreiras.

4.4.3. Fichas de cadastro

Uma vez visitadas as pedreiras foi utilizada uma ficha de cadastro conforme apresentada na Figura 4.13 contemplando dados que serão gerados pelo próprio Spring adicionados de outros que serão fornecidos pelos responsáveis das pedreiras. As fichas preenchidas se encontram no Anexo A.

A principal dificuldade no preenchimento da ficha de cadastro foi a obtenção das informações referentes às explorações e às reservas, pois as pedreiras não dispunham de todos esses dados, já as outras informações foram facilmente fornecidas.

É importante ressaltar o apoio das pedreiras Araguaia e Anhanguera, não somente no fornecimento dos dados, mais também no apoio para realizar o levantamento geológico com a finalidade de caracterizar e classificar os maciços rochosos.



FICHA DE CADASTRO

Código
Nº

1. INFORMAÇÃO DA EMPRESA

Nome do titular/dono _____
 Endereço _____
 Data início da atividade _____

2. INFORMAÇÃO DA PEDREIRA

2.1 IDENTIFICAÇÃO DA PEDREIRA

COORDENADAS TOPOGRÁFICAS DA LAVRA PRINCIPAL				
LONGITUDE	LATITUDE	ELEVAÇÃO	ZONA	DATUM

2.2 PRODUÇÃO E RESERVAS

JAZIDAS NÃO METÁLICO (MARQUE COM X)	PRODUÇÃO t/ano
AREIA (de brita)	
BRITA	
CASCALHO	
OUTROS	

DETALHE	RESERVAS (TN)	OBSERVAÇÕES
MEDIDA		
INDICADA		
INFERIDA		
LAVRÁVEL		

Vida útil (anos) _____

2.3 MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO _____

2.4 EXPLORAÇÃO, MOVIMENTO DE TERRAS

ATIVIDADES	Unidades	PROGRAMADO	EXECUTADO	PROGRAMADO
				ANO SEGUINTE
PROGRAMA AMOSTRAGEM	Nº amostras			
PERF. DIAMANTINA	m			
TRINCHEIRAS	m			
MAPEAMENTO SUPERFICIAL	HA / ESCALA			
OUTROS				

3. OUTROS

ATIVIDADES	
USO DO MATERIAL QUE PRODUZ	
DESTINO DO MATERIAL (EX: GO, DF, ETC)	
REJEITO QUE PRODUZ (TIPO E QUANTIDADE m3/t)	
DISPOSIÇÃO DO REJEITO (LOCAL)	
LICENCIAMENTO AMBIENTAL (SE POSSUI)	
OUTROS	

DATA ____/____/____

Figura 4.13. Ficha de cadastro

4.4.4. Levantamento Geomecânico

O trabalho de campo foi programado visando a localização das pedreiras e realizar o cadastro das mesmas, além disso se realizou o levantamento geomecânico por meio de janelas de amostragem de algumas das pedreiras, sendo escolhidas as pedreiras Araguaia e Anhanguera com a finalidade de caracterizar os maciços rochosos. Os dados obtidos foram colocados na ficha de levantamento geomecânico, conforme a Figura 4.14. Logo após foram coletadas amostras para os respectivos ensaios em laboratório.



FICHA DE LEVANTAMENTO GEOMECANICO

Nome do Projeto : _____

Data do levantamento : _____

Coordenadas : _____

Altitude : _____

Nº Janela : _____

Direção da janela : _____

Rocha _____

Cor da rocha _____

Familia 1		Familia 2	
Dip/Dir	Dip	Dip/Dir	Dip

Familia 3		Familia 4	
Dip/Dir	Dip	Dip/Dir	Dip

CONDIÇÕES DA DISCONTINUIDADE

Persistencia		Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Muito baixo	< 1m				
Baixo	1-3 m				
Medio	3-10 m				
Alto	10-20 m				
Muito alto	> 20 m				
Abertura					
Muito fechadas	< 0.1 mm				
Poco fechadas	0.1-0.5 mm				
Moderadamente abertas	0.5-2.5 mm				
Abertas	2.5-10 mm				
Muito abertas	> 10 mm				
Rugosidade (sendo que pode se irregular, lisa e polida com estria)					
Recortada					
Ondulada					
Plana					
Preenchimento					
Tipo					
Espessura					
Compressao uniaxial paredes Mpa					
Espacamento					
Muito amplo	> 2 m				
Amplo	0.6-2 m				
Moderado	20-60 cm				
Fechado	6-20 cm				
Muito fechado	< 6 cm				

CONDIÇÕES DO MACIÇO

RQD (%)	
Excelente qualidade	90-100
Boa qualidade	75-90
Pouca qualidade	50-75
Pobre qualidade	25-50
Muito pobre qualidade	<25

Resistência Uniaxial (Mpa)	
Muito alta	Mais 250
Alta	100-250
Medianamente alta	50-100
Moderada	25-50
Baixa	5-25
Muito Baixa	1-5

Percolação	
Seco	
Úmido	
Úmido e gotejando	
Fluxo contínuo de água	

Alteração	
Sã	Muito
Moderado	Extremamente

Observações : _____

Figura 4.14.

Ficha de Levantamento Geomecânico

O levantamento geomecânico iniciou-se com a observação da quantidade de família em zonas específicas e dentro do possível, observando as características importantes como a ocorrência de fluxo de água e alteração. Essas zonas foram escolhidas para delimitar as janelas a estudar. Uma vez definido isso, continuou-se com a coleta de dados para preencher a ficha com os respectivos equipamentos.

- Dip/dir Direction: medido com a bússola.
- RQD: estimado com a trena.
- Resistência à compressão uniaxial: estimado com o martelo para geólogo.
- Percolação: observação visual.
- Alteração: observação visual.
- Persistência: medido com a trena.
- Abertura: medido com a trena.
- Rugosidade: medido com o perfilômetro.
- Preenchimento: observação visual.
- Espaçamento: medido com a trena.

Foram caracterizadas 3 janelas para cada pedreira como mostram as Figura 4.15 e Figura 4.16.



Figura 4.15. Localização das janelas de amostragem – Pedreira Araguaia.



Figura 4.16. Localização das janelas de amostragem – Pedreira Anhanguera.

A mesma bancada de janelas de amostragem apresentou condições diferentes, o que indica a variabilidade das características do maciço, conforme ilustrado na Figura 4.17 que apresenta uma vista panorâmica das janelas 1 e 2 da pedreira Araguaia. A Figura 4.17(a) mostra a janela 1, note-se a percolação no lado direito, a Figura 4.17(b) mostra a janela 2, note-se uma única descontinuidade.



(a) Janela 1



(b) Janela 2

Figura 4.17. Vista Panorâmica das janelas - Pedreira Araguaia.

A Figura 4.18 mostra uma vista panorâmica das janelas 1 e 3 da pedreira Anhanguera, a Figura 4.18(a) mostra a janela 1 com rocha praticamente sã, a Figura 4.18(b) mostra a janela 3, note-se que a cor da rocha é predominantemente de um verde acinzentado com manchas marrons.



(a) Janela 1



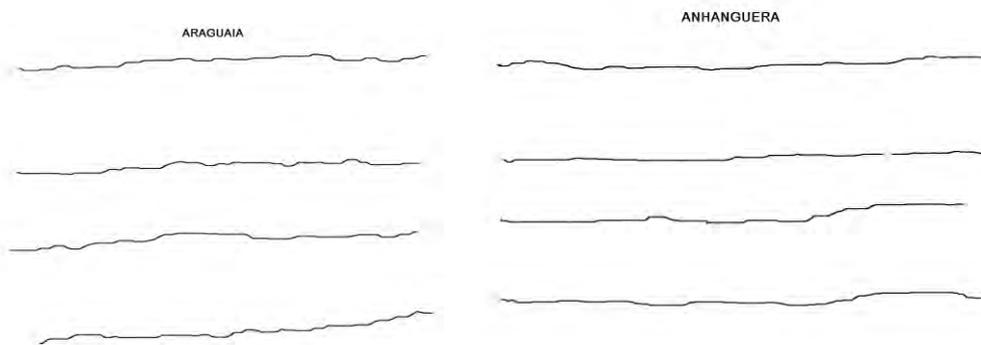
(b) Janela 3

Figura 4.18. Vista Panorâmica das janelas - Pedreira Anhanguera.

Para coletar os dados se utilizou principalmente a trena e observação visual, para o caso da medição da rugosidade se usou o perfilômetro conforme mostra a Figura 4.19(a) a Figura 4.19(b) mostra os perfis de rugosidade das descontinuidades da pedreira Araguaia, a Figura 4.19(c) mostra os perfis de rugosidade das descontinuidades da pedreira Anhanguera.



(a)



(b) Pedreira Araguaia

(c) Pedreira Anhanguera

Figura 4.19. Medição da rugosidade com o perfilômetro

As fichas de levantamento com os dados referidos a cada pedreira podem ser consultadas no Anexo B.

4.4.5. Ensaios de Laboratório

Os blocos foram coletados nas regiões de estudo próximos ao local onde foi realizado o levantamento geomecânico. A extração dos blocos foi realizada pela própria empresa e as amostras coletadas foram enviadas ao Laboratório de Mecânica das Rochas de FURNAS para a realização dos ensaios, uma vez coletados 3 blocos de amostras (1m x 1m) de cada pedreiras foram realizados os ensaios de resistência a compressão uniaxial e resistência à tração no Laboratório de Mecânica das Rochas de FURNAS, todos os ensaios realizados seguiram a norma da ASTM D 2938 (1995) para o ensaio de resistência a compressão uniaxial e a norma ISRM 1978 para o ensaio a compressão diametral.

4.4.5.1. Ensaios de Resistência a Compressão Uniaxial

Foram extraídos três corpos de provas como mostra a Figura 4.20, com medidas aproximadas: 53 mm de diâmetro e 138 mm de altura.



Figura 4.20. Preparação dos corpos de prova.

Na Tabela 4.2 são apresentadas as dimensões dos corpos de prova para cada pedreira.

Tabela 4.2. Dimensões dos corpos de prova

Nº de amostra	Araguaia		Anhanguera	
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
A	53.92	138.57	53.18	138.33
B	53.24	137.54	53.15	137.85
C	53.22	138.05	53.21	138.80
Valor médio	53.46	138.05	53.18	138.33
Desvio Padrão	0.398	0.515	0.030	0.475

Os corpos de prova foram preparados e colocados no equipamento de compressão uniaxial, conforme ilustrado na Figura 4.21.

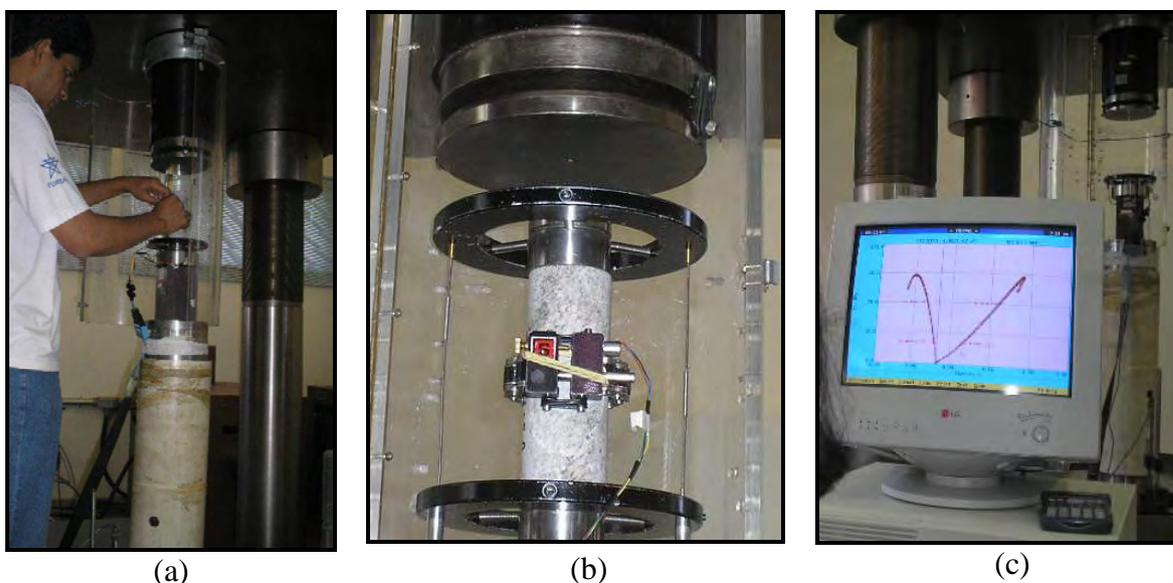


Figura 4.21. (a) Montagem do equipamento - ensaio resistência à compressão uniaxial (b) Amostra pronta para a realização do ensaio; (c) aquisição de dados

A Figura 4.22(a) mostra a ruptura em forma curva e a Figura 4.22(b), a ruptura linear que seria uma ruptura representativa dos efeitos do carregamento simulados no ensaio.



(a)



(b)

Figura 4.22. Tipo de Ruptura: (a) Ruptura Amostra “A”; (b) Ruptura Amostra “B” – Pedreira Anhanguera

4.4.5.2. Ensaios de Resistência a Tração

Para a realização dos ensaios de resistência à tração foram preparados dez corpos de prova para cada pedreira estudada como mostra a Figura 4.23(a), os 10 corpos do lado direito pertencem à pedreira Anhanguera e os 10 corpos do lado esquerdo pertencem à pedreira Araguaia. A Figura 4.23(b) apresenta o equipamento onde as mostas serão ensaiadas.



(a)



(b)

Figura 4.23. (a) Amostras prontas – ensaio de resistência à tração; (b) Vista do equipamento para o ensaio à tração.

As dimensões da amostra foram aproximadamente de 27 mm comprimento e 53 mm de diâmetro conforme a Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Dimensões dos corpos de prova

Nº de amostra	Araguaia		Anhanguera	
	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)
1	53.27	26.68	52.67	28.20
2	52.93	26.06	53.39	25.15
3	52.92	27.02	52.71	26.78
4	53.20	26.54	53.74	28.71
5	52.88	26.71	52.47	27.55
6	53.16	27.67	53.57	25.63
7	53.49	27.76	52.71	26.88
8	53.20	26.73	52.70	27.59
9	53.03	26.95	53.69	26.49
10	53.45	27.87	53.77	28.73
Valor médio	53.15	27.00	53.14	27.17
Desvio Padrão	0.214	0.591	0.531	1.217

A montagem do equipamento para a realização do ensaio à tração pode ser observada na Figura 4.24(a) e as amostras após a realização do ensaio são mostradas na Figura 4.24(b).

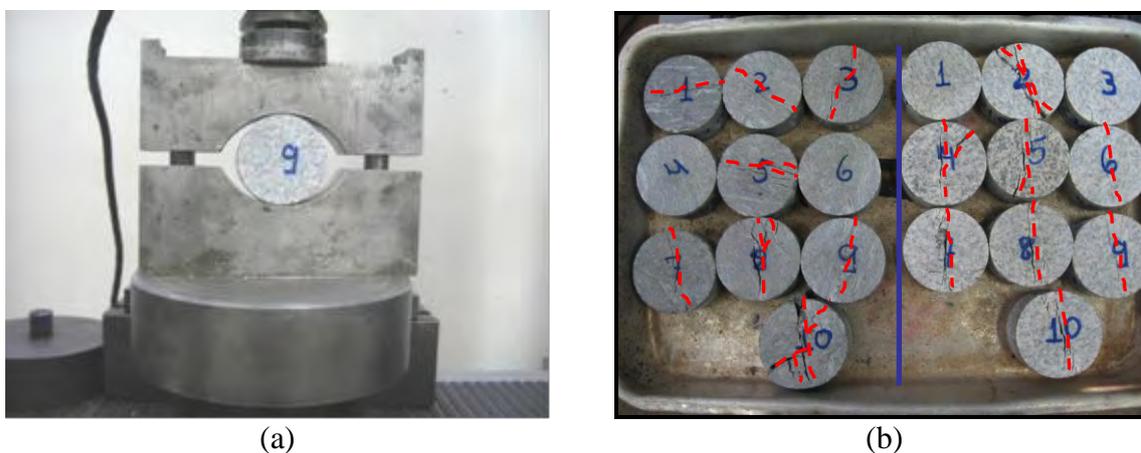


Figura 4.24. (a) Montagem do equipamento; (b) Amostras ensaiadas, note-se a ruptura no corpo de amostras.

CAPÍTULO 5 : Apresentação e análise dos resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa de acordo com a metodologia proposta. Inicialmente serão apresentados os mapas temáticos, como o mapa de localização de pedreiras, mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de solos. Em seguida é mostrado os resultados dos ensaios de laboratório e classificação geomecânica, dados que servirão para criar o banco de dados georreferenciado.

5.1. Elaboração dos Mapas Temáticos

Os mapas foram gerados, utilizando o programa ArcGIS 8.3 especificamente o módulo ArcMap 8.3. A justificativa para utilização deste módulo é que ele apresenta funções que possibilita a apresentação final na forma de um documento cartográfico. Além disso, estão disponíveis opções para editar uma carta e gerar um arquivo para impressão.

Assim, os mapas elaborados referem-se à localização das pedreiras e demais mapas capazes de fornecer informação do município em que se encontram, dados da geologia, geomorfologia e tipo de solos.

5.1.1. Localização das pedreiras

Com base nas informações extraídas das imagens de satélite, foi gerado um mapa de localização das pedreiras em atividade, isto é em processo de lavra distribuídas na zona em estudo, sendo identificadas nove pedreiras como mostrados na Figura 5.1.

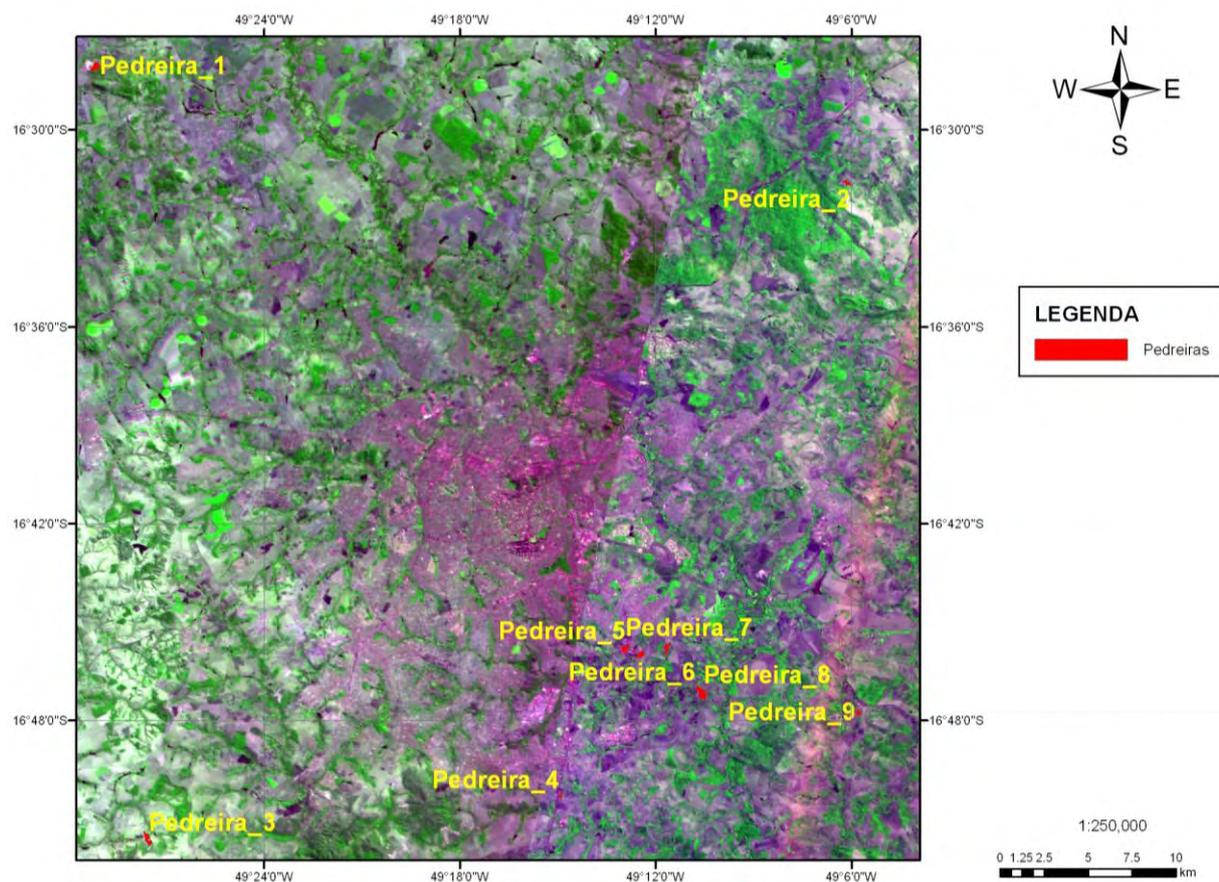


Figura 5.1. Mapa de localização das pedreiras

A Tabela 5.1 apresenta os nomes de cada pedreira (informações disponibilizadas pela DICAM do DNPM via *on line* <http://sigmine.dnpm.gov.br>) e suas referidas coordenadas que foram posteriormente conferidas durante as visitas em campo nas pedreiras 1, 3, 4, 5 e 6, 8, e quanto as informações das áreas de cada pedreira foram obtidas pelo próprio programa ArcMap 8.3.

Tabela 5.1. Coordenadas geográficas e áreas das pedreiras

Nº Pedreira	Nome	Coordenadas Geográficas		Área (ha)
Pedreira_1	Pedreira Anhanguera S.A - Empresa de Mineração.	49°29'11'' W	16°28'05'' S	17,4
Pedreira_2	Pedra Britada Indústria, Comércio e Rep. Ltda.	49°06'10'' W	16°31'37'' S	9,4
Pedreira_3	Ciplan-cimento Planalto S.A.	49°27'36'' W	16°51'36'' S	12,2
Pedreira_4	Pedreira Itaúna Ltda.	49°14'46'' W	16°50'22'' S	5,5
Pedreira_5	Pedreira Araguaia Ltda.	49°12'43'' W	16°45'58'' S	14,4
Pedreira_6	Pedreira Izaíra Industria e Comercio Ltda.	49°12'27'' W	16°45'59'' S	13,4
Pedreira_7	COMPAV-Cia de pavimentação do Mun. de Go.	49°11'41'' W	16°45'49'' S	13,8
Pedreira_8	Briteng-Britagem e construções Ltda.	49°10'35'' W	16°47'10'' S	9,5
Pedreira_9	Pedreira Bela Vista Ltda.	49°05'47'' W	16°47'45'' S	74,4
TOTAL				103,2

5.1.2. Características das pedreiras

As características das pedreiras foram analisadas com base nos dados do município em que se localizam, respeito à geologia, geomorfologia em que se encontram e tipo de solos que foram retirados para dar início ao processo de extração. A Figura 5.2 mostra a distribuição das pedreiras em relação aos municípios pertencentes à região de estudo.

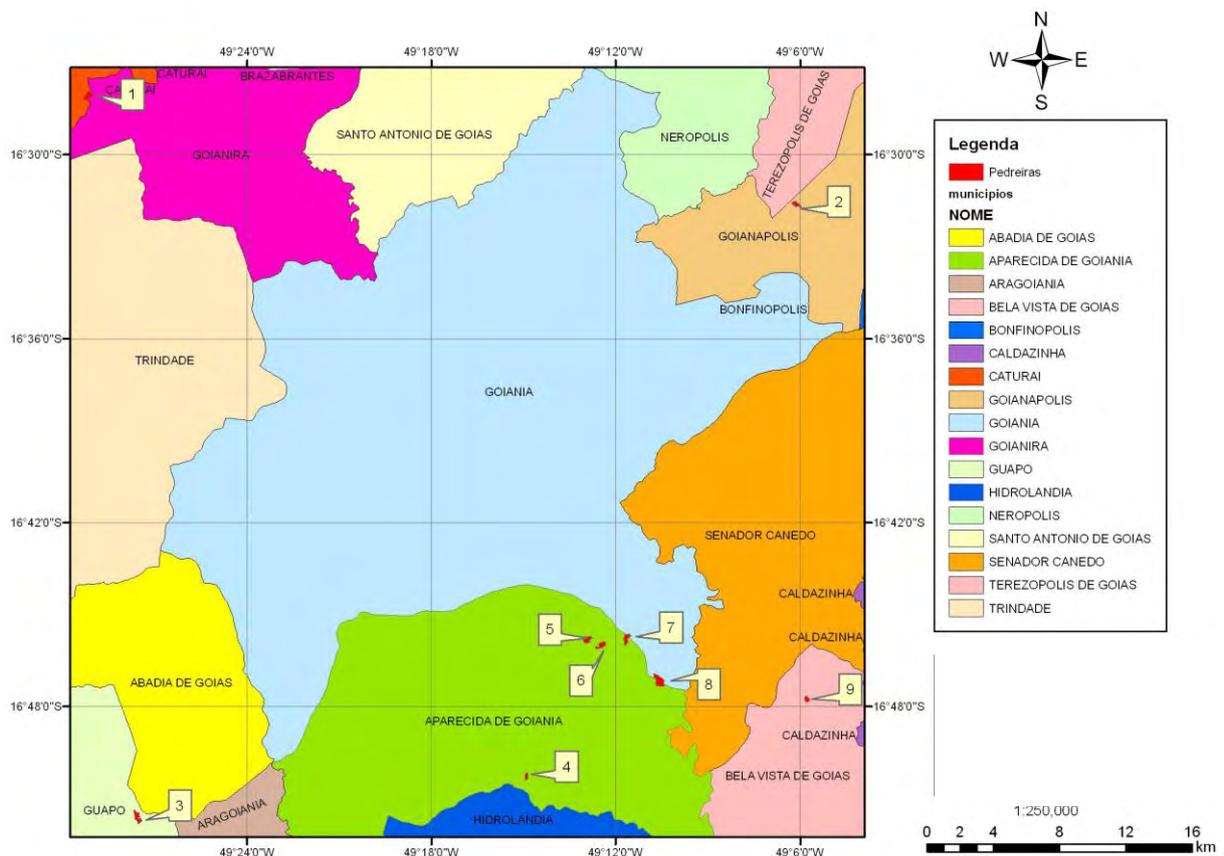


Figura 5.2. Mapa de localização das pedreiras quanto aos municípios.

Conforme a Figura 5.2 a pedreira 1 se encontra no município de Caturai, a pedreira 2 no município de Goianópolis, a pedreira 3 no município de Guapó, as pedreiras 4,5,6,7,8 se encontram no município de Aparecida de Goiânia e a pedreira 9 no município de Bela Vista de Goiás. Observa-se uma maior concentração pedreiras localizadas no município de Aparecida de Goiânia.

Em relação à geologia as Figuras 5.3 e Figura 5.4 mostram a localização das pedreiras quanto a geologia em grupo e litologia, respectivamente.

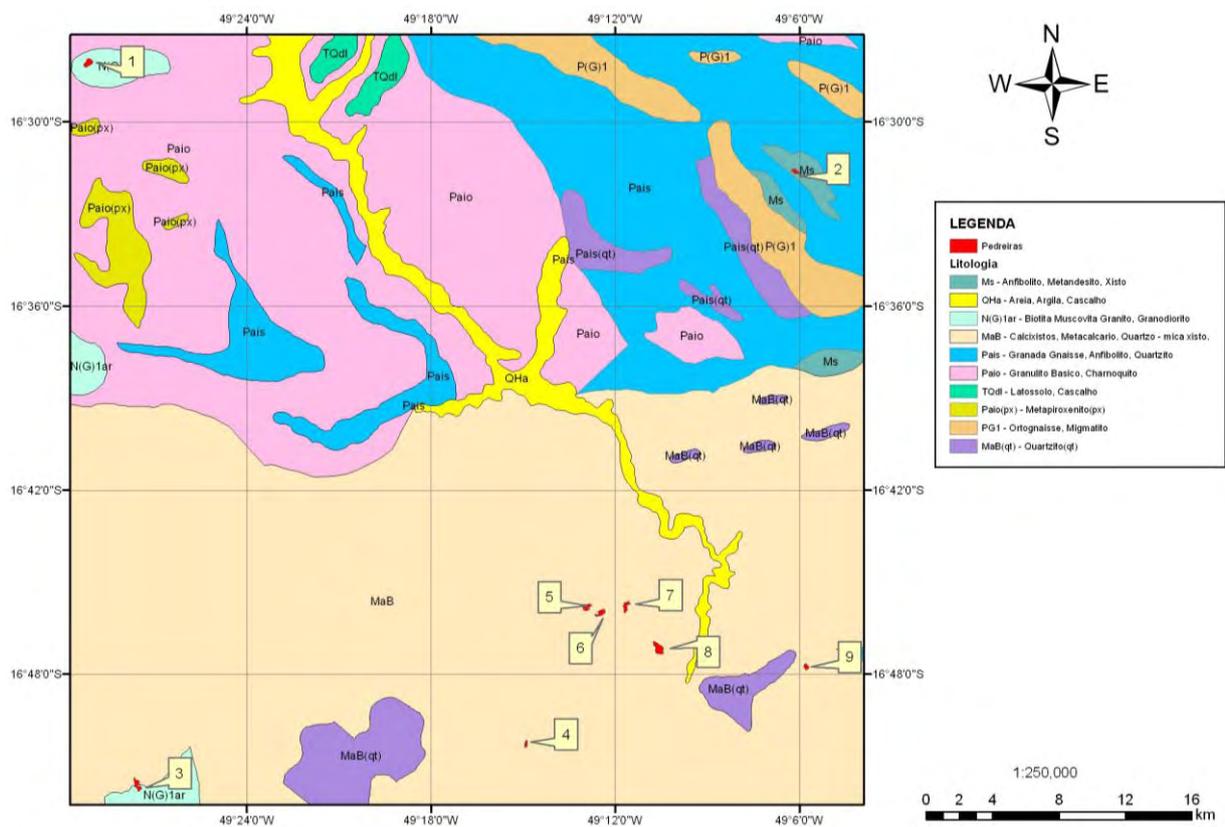
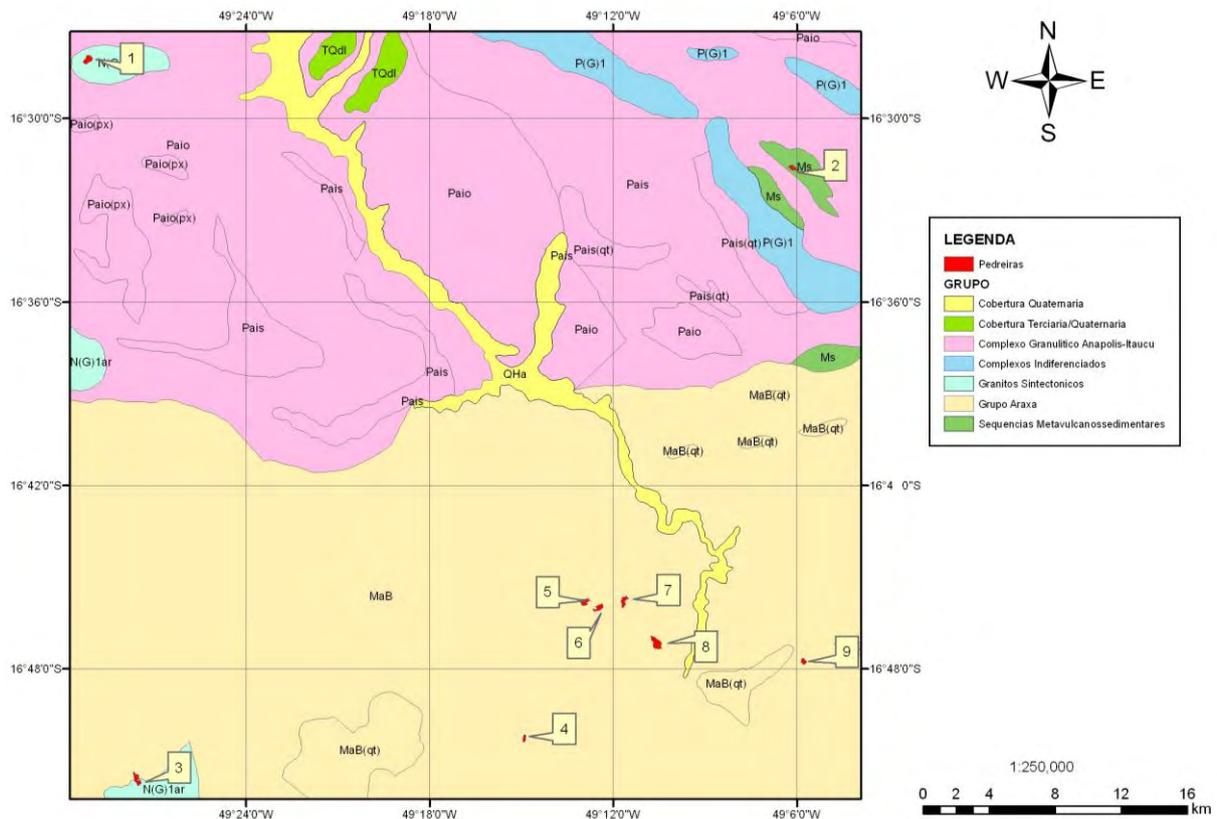


Figura 5.4. Mapa de localização das pedreiras quanto à geologia por litologia.

Observando a Figura 5.3 e 5.4 verifica-se que a pedreira 1 se encontra no grupo Granitos Sintectônicos, com litologia Biotita, Muscovita, Granito, Granodiorito. Idade Proterozóico inferior a arqueano. A pedreira 2 se encontra no grupo Sequências Metavulcanossedimentares com litologia Anfibólito, Metandesito, Xisto. Idade Proterozóico médio a inferior. A pedreira 3 se encontra nos grupos Granitos Sintectônicos e Grupo Araxá (Unidade B) com litologia Biotita, Muscovita, Granito, Granodiorito /Calcixistos, Metacalcario, Quartzo-mica xisto. Idade Proterozóico inferior a arqueano/ Proterozóico médio. A maior concentração de pedreiras 4,5,6,7,8,9 se encontra no grupo Grupo Araxá (Unidade B) com litologia Calcixistos, Metacalcario, Quartzo, mica xisto. Idade Proterozóico médio.

No que se refere à geomorfologia, pode ser observado na Figura 5.5 referente a geomorfologia da região, que:

A pedreira 1 encontra-se na unidade relevo de morros e colinas que são remanescentes de litologias mais resistentes à erosão, que foram preservados à medida que uma superfície regional de aplanamento evolui com tendência recuante.

A pedreira 2 localiza-se na superfície regional de aplainamento IIA que é uma unidade denudacional, gerada pelo arrasamento/aplainamento de uma superfície de terreno que se desenvolve sobre as formações proterozóicas menos resistentes.

As outras sete, pedreiras 3,4,5,6,7,8,9 encontram-se na superfície regional de aplainamento IIIA, que desenvolve principalmente sobre o Grupo Araxá e Complexos Indiferenciados, onde ocorrem colúvios nas vertentes dos vales e áreas de sedimentação restrita e se acumularam sedimentos aluviais.

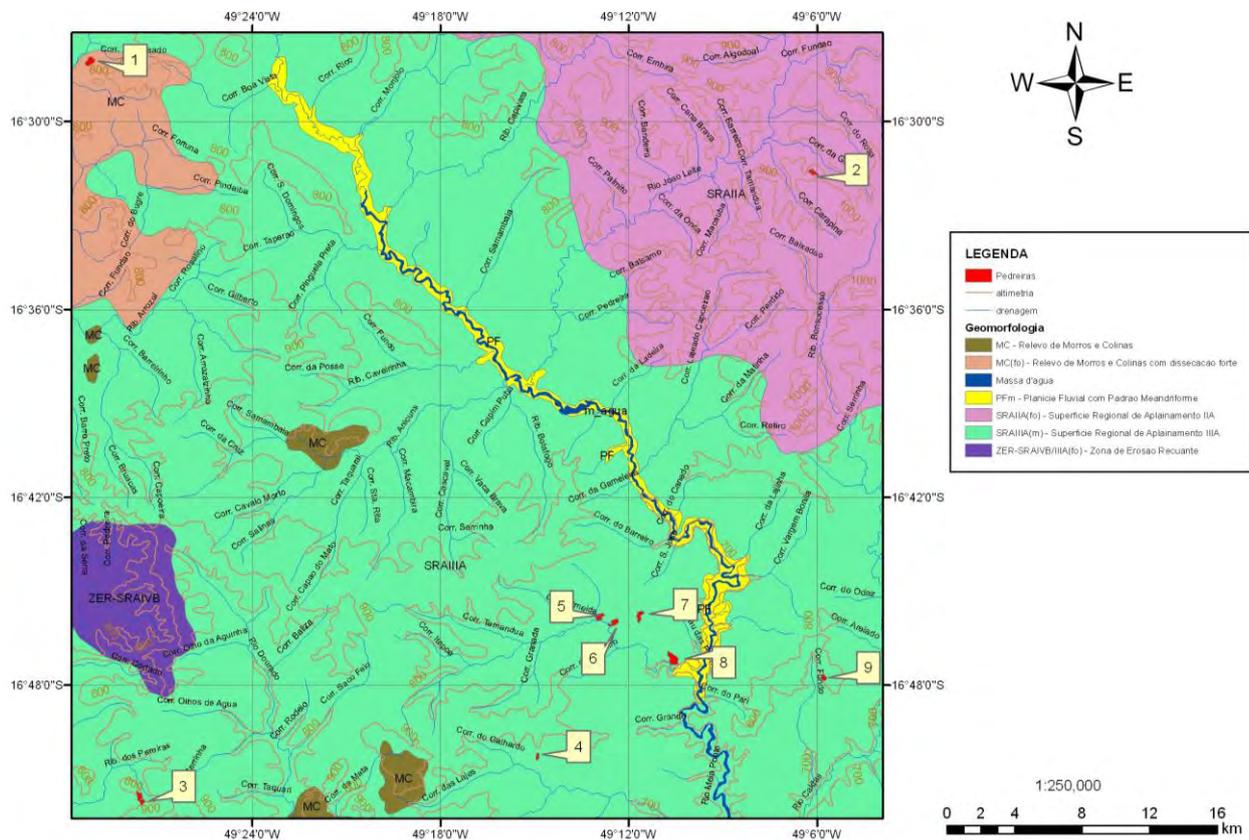


Figura 5.5. Mapa de localização das pedreiras quanto à geomorfologia.

Finalmente, por meio do mapa de solos Figura 5.6 foi possível ter uma idéia dos solos que foram removidos para dar início ao processo de extração de cada pedreira.

A pedreira 1 caracterizava-se por um solo do tipo PVe1, podzólico vermelho-amarelo eutrófico textura media/argilosa, e LEd5, associação de latossolo vermelho-escuro + latossolo vermelho-amarelo, ambos distróficos textura argilosa + cambissolo distrófico textura argilosa cascalhenta.

A pedreira 2 compreendia solos do tipo PEe1, associação de podzólico vermelho-escuro eutrófico, textura media argilosa + podzólico vermelho-amarelo eutrófico moderado textura media cascalhenta argilosa e Cd4, associação de cambissolo textura media cascalhenta + podzólico vermelho-amarelo textura media cascalhenta argilosa.

A pedreira 3 evidenciava presença de solos do tipo Cd4, associação de cambissolo textura media cascalhenta + podzólico vermelho-amarelo textura media cascalhenta argilosa e LEd5,

associação de latossolo vermelho-escuro + latossolo vermelho-amarelo, ambos distroficicos textura argilosa + cambissolo distrófico textura argilosa cascalhenta.

A pedreira 4, 7 continha solos do tipo LE_d5, associação de latossolo vermelho-escuro + latossolo vermelho-amarelo, ambos distróficicos textura argilosa + cambissolo distrófico textura argilosa cascalhenta.

As pedreiras 5, 6, 8 mostrava solos do tipo Cd₂, associação de cambissolo textura media cascalhenta + podzolico vermelho-amarelo textura media cascalhenta argilosa, ambos distroficicos + cambissolo álico textura argilosa.

A pedreira 9 tinha como cobertura o solo Ca₁, associação de cambissolo álico textura argilosa + cambissolo distrofico textura media cascalhenta + latossolo vermelho-amarelo distrófico textura argilosa.

A importância desta análise refere-se simplesmente ao conhecimento das características originais do terreno e dos tipos de solos que se encontravam na região antes da fase de extração.

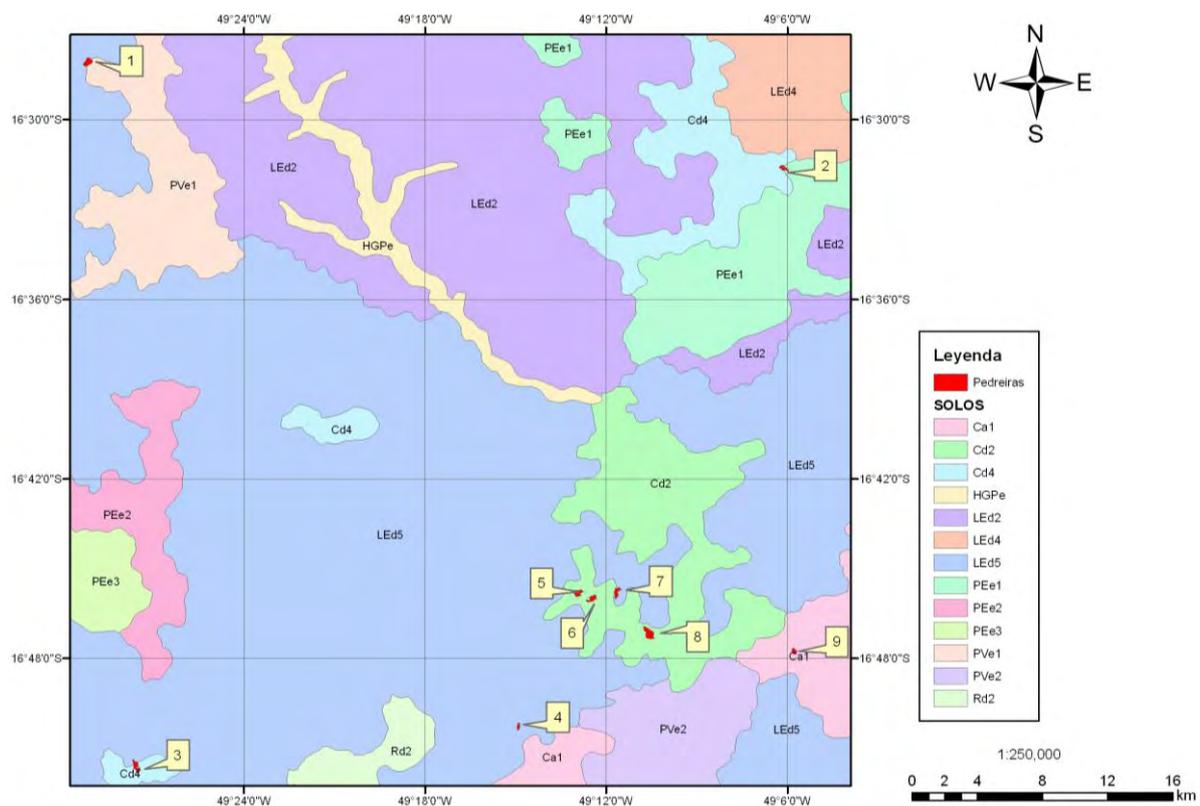


Figura 5.6. Mapa de localização das pedreiras quanto os solos.

5.2. Classificação geomecânica de maciços rochosos

Como estudo de caso, foram escolhidas duas pedreiras, Araguaia e Anhanguera, para realizar a classificação geomecânica dos maciços rochosos. Nesta classificação utilizou-se os dados obtidos no mapeamento geomecânico e colocados nas fichas de levantamento geomecânico. As fichas contendo todas as informações podem ser consultadas no Anexo B.

É importante ressaltar que a rocha que conforma o maciço rochoso da pedreira Araguaia é uma rocha metamórfica, especificamente um micaxisto e para o caso da pedreira Anhanguera trata-se de uma rocha intrusiva denominada granito.

A partir das investigações geomecânicas de campo que foi feita com a observação visual, martelo de geólogo e trena, utilizando as Tabelas 2.4, 2.5, 2.6 (Capítulo 2) referidas à caracterização do maciço foram obtidos os seguintes resultados:

- Para o caso da pedreira Araguaia, a rocha apresenta um grau de alteração A2, coerência C2 e fraturamento F2;
- Para o caso da pedreira Anhanguera a rocha apresenta um grau de alteração A1, coerência C1 e fraturamento F3.

Visando confirmar os dados levantados em campo foram realizados ensaios de laboratório. Estes ensaios foram detalhados no capítulo 4 sendo relativos as amostras das duas pedreiras estudadas (pedreira Araguaia e pedreira Anhanguera)

Com relação ao ensaio de compressão uniaxial as curvas de tensão vs. deformação são apresentadas na Figura 5.7 para as amostras da pedreira Araguaia e na Figura 5.8 para a pedreira Anhanguera.

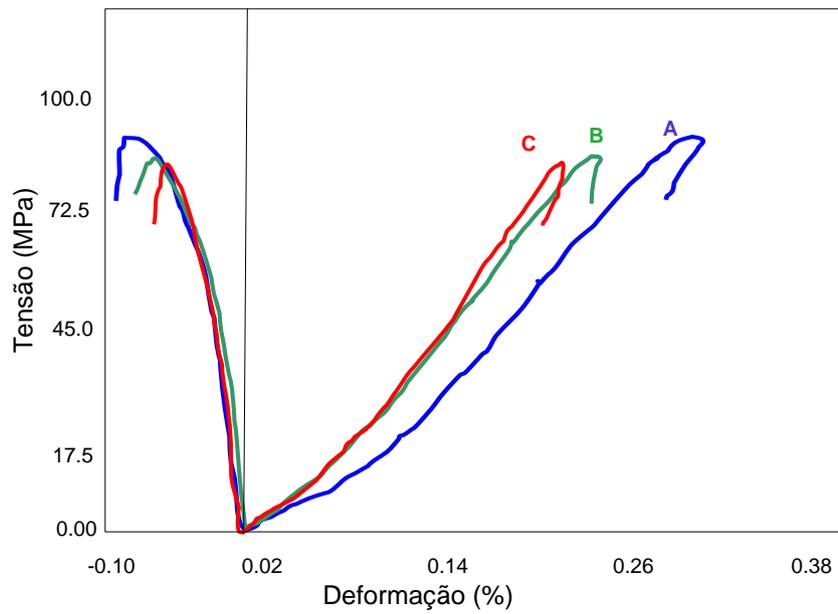


Figura 5.7. Curvas tensão vs. deformações axial, radial das amostras da pedra Araguaia.

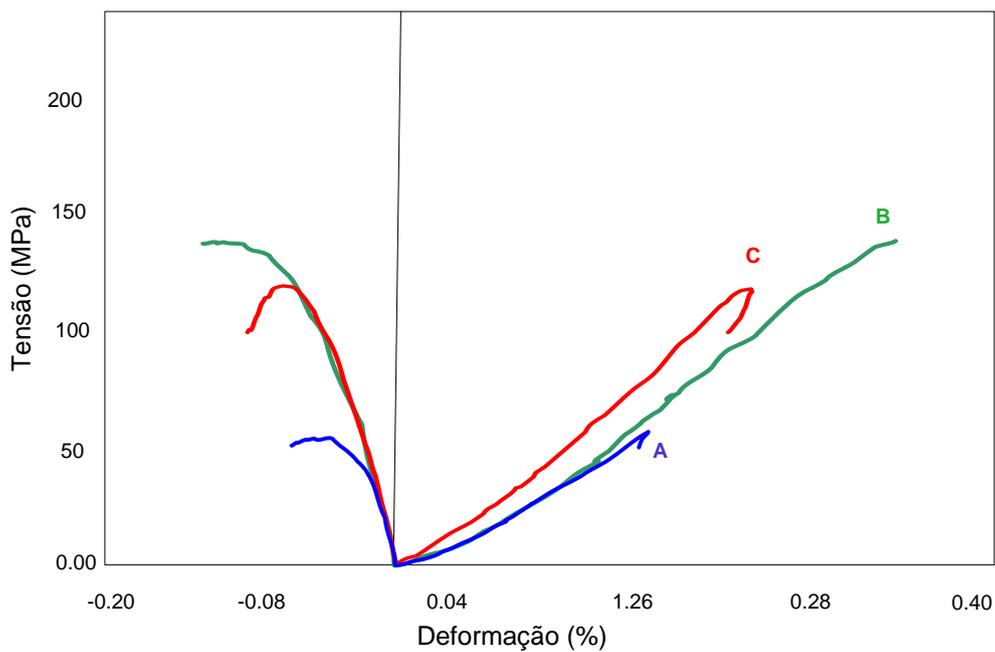


Figura 5.8. Curvas tensão vs. deformações axial, radial das amostras da pedra Anhanguera.

Com os resultados obtidos foi possível avaliar a resistência à compressão uniaxial (σ_c) e os parâmetros elásticos, tais como o módulo de elasticidade (E) e coeficiente de Poisson (ν). Os resultados obtidos, considerando as duas pedreiras analisadas e as respectivas amostras estão apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Resultados do ensaio à compressão uniaxial.

Pedreira Araguaia	σ_c (MPa)	E (GPa)	ν
Amostra A	91.7	32.9	0.14
Amostra B	82.9	35.7	0.21
Amostra C	76.0	35.9	0.25
Valor médio	83.5	34.8	0.20
Desvio Padrão	7.9	1.7	0.06
Pedreira Anhanguera			
Amostra A	53.1	29.1	0.21
Amostra B	141.0	42.5	0.21
Amostra C	112.4	45.8	0.26
Valor médio	102.2	39.1	0.23
Desvio Padrão	44.8	8.8	0.03
Amostra B	141.0	42.5	0.21
Amostra C	112.4	45.8	0.26
Valor médio	126.7	44.2	0.24
Desvio Padrão	20.2	2.3	0.04

Conforme apresentado na Tabela 5.2, o valor de resistência a compressão uniaxial para a pedreira Araguaia foi de 83.5 MPa, para o caso da pedreira Anhanguera foi de 126.7 MPa, sendo que o resultado da amostra A foi desconsiderado por ser um valor muito distante das demais conforme indica o Desvio Padrão, devido provavelmente à forma de ruptura conforme a Figura 4.21 no capítulo anterior.

De acordo com a Tabela 2.8 apresentada no capítulo 2 referente a caracterização do maciço rochoso a classificação da rocha em função da sua resistência, foi encontrada para as amostras obtidas na pedreira Araguaia uma resistência correspondente a uma “rocha forte”, por estar na faixa de 50 a 100 MPa. Para o caso das amostras obtidas na pedreira Anhanguera o valor obtido se encontra na faixa de 100 a 250 MPa, que corresponde a uma “rocha muito forte”. Os parâmetros elásticos obtidos foram de $E = 34.8$ GPa e $\nu = 0.2$ para a pedreira Araguaia e $E = 44.2$ GPa e $\nu = 0.24$ para o caso da pedreira Anhanguera.

Com respeito ao ensaio de compressão diametral cujos detalhes foram apresentados no capítulo 4, as Figuras 5.9. e Figura 5.10 mostram a relação carga vs. Tempo, para as amostras relativas às pedreiras Araguaia e Anhanguera respectivamente.

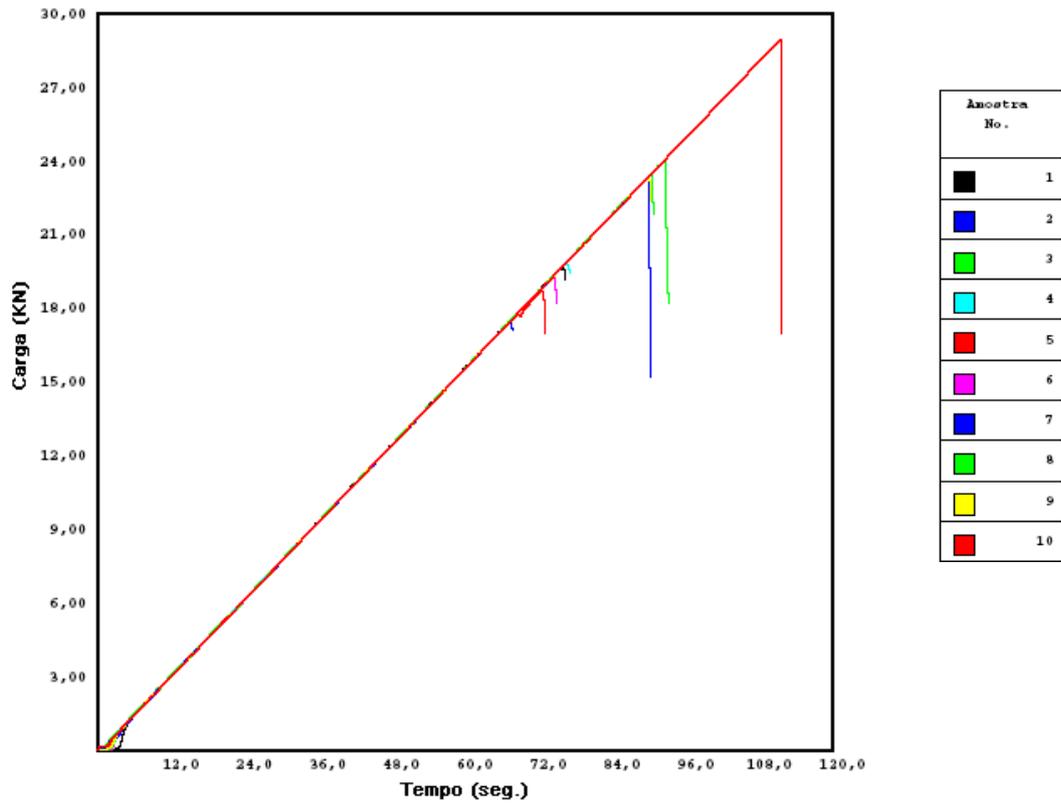


Figura 5.9. Diagrama Força vs. Tempo - Pedreira Araguaia

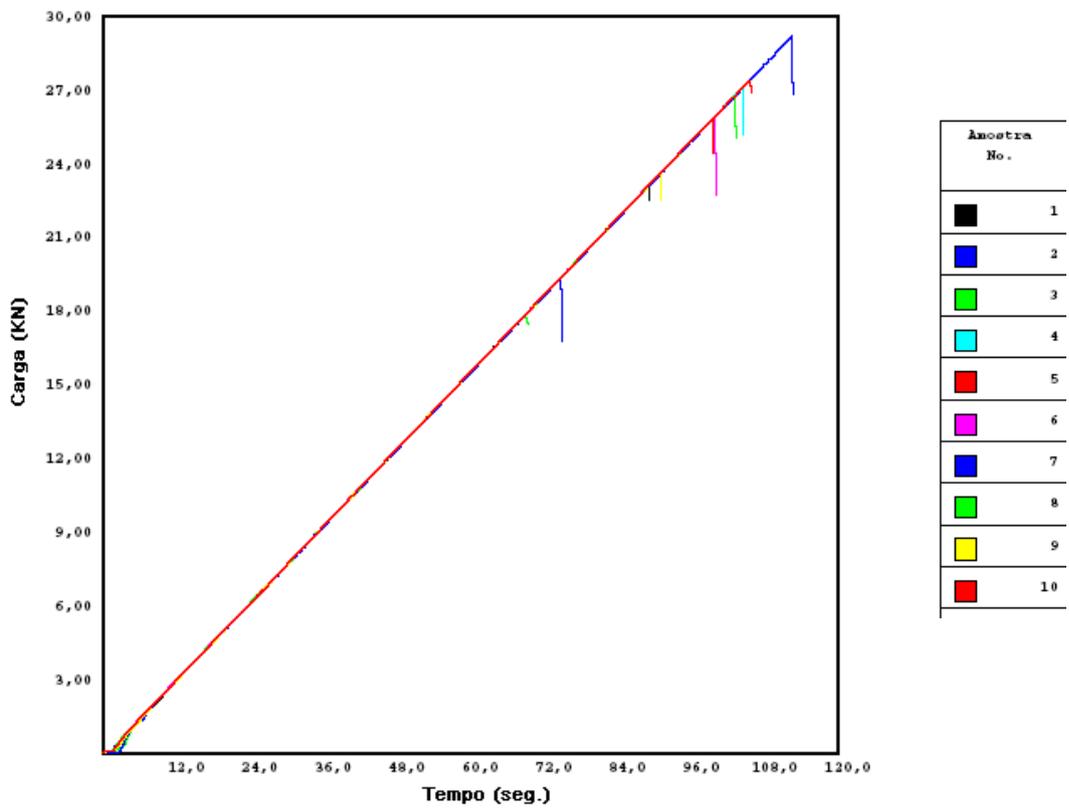


Figura 5.10. Diagrama Força vs. Tempo - Pedreira Anhanguera

Considerando os resultados obtidos e o tratamento estatístico a Tabela 5.3 mostra os resultados de resistência à tração para as duas pedreiras analisadas. Para o maciço rochoso da pedreira Araguaia o valor de σ_t médio foi 9.68 MPa e para o caso da pedreira Anhanguera o valor de σ_t médio obtido foi de 10.84 MPa.

Tabela 5.3. Resistência à tração.

Identificação da amostra	Pedreira Araguaia	Pedreira Anhanguera
	σ_t (MPa)	σ_t (MPa)
1	8.83	9.91
2	8.07	9.16
3	10.49	8.04
4	8.96	11.19
5	8.44	11.39
6	8.38	12.04
7	10.03	13.13
8	10.78	11.71
9	10.42	10.58
10	12.37	11.30
Valor médio	9.68	10.84
Desvio Padrão	1.30	1.40

Para classificar o maciço também foi importante analisar a orientação das descontinuidades, sendo para isso utilizado o programa DIPS v.5 os resultados relativos a pedreira Araguaia encontram-se apresentados nas Figuras 5.11 a 5.14 e referem-se a pedreira Araguaia.

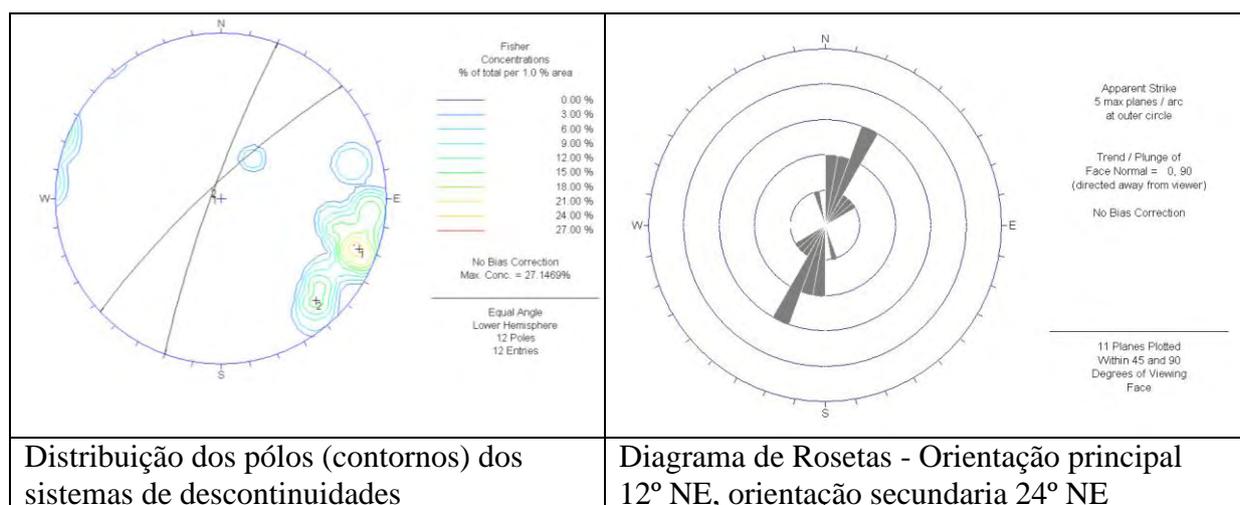


Figura 5.11. Janela 1 – Pedreira Araguaia – talude 263° NE

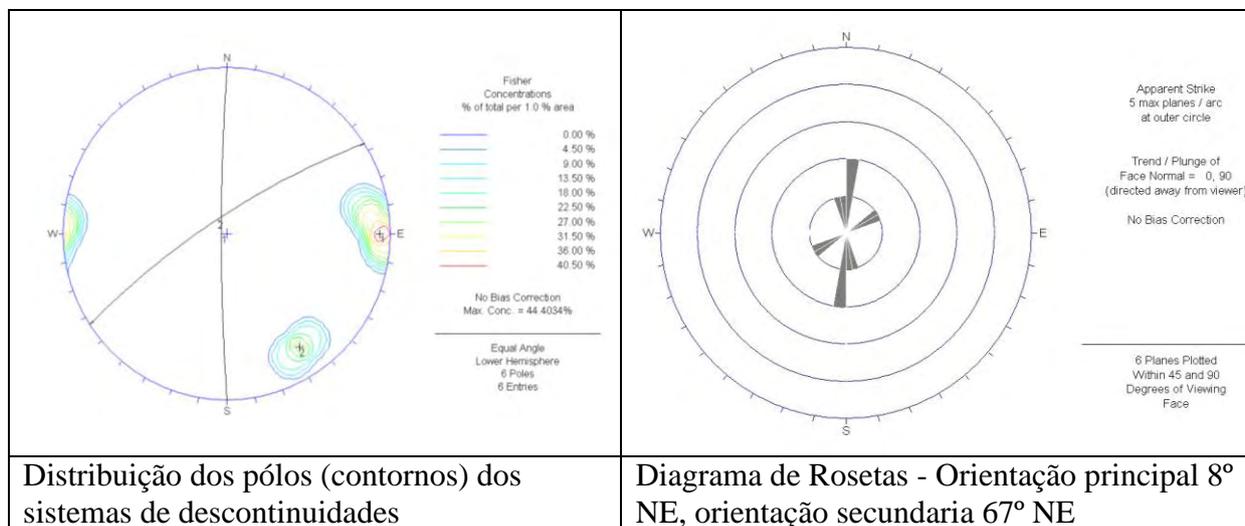


Figura 5.12. Janela 2 – Pedreira Araguaia – talude 240° NE

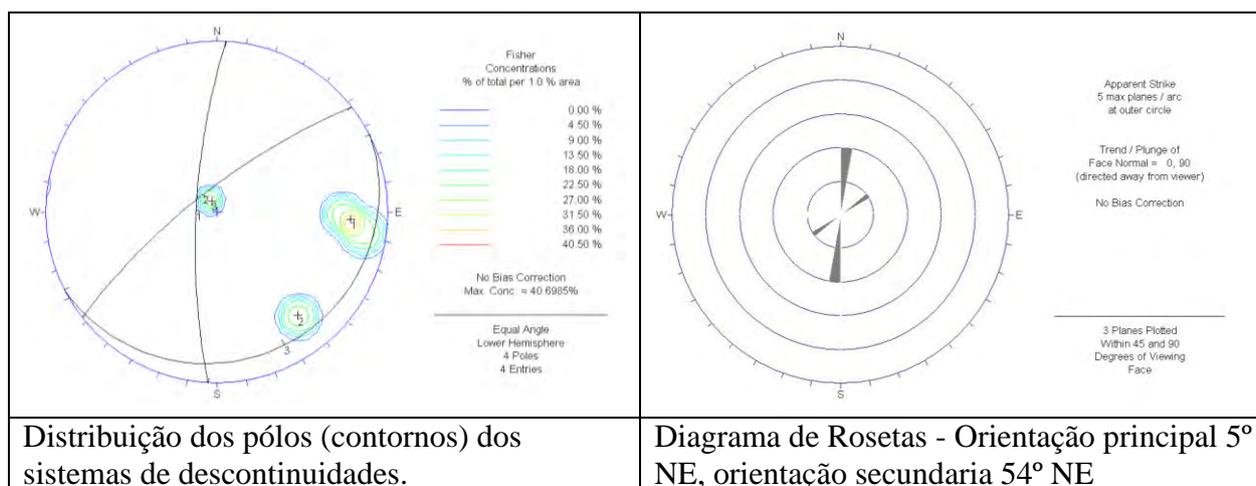


Figura 5.13. Janela 3 – Pedreira Araguaia – talude 352° NE

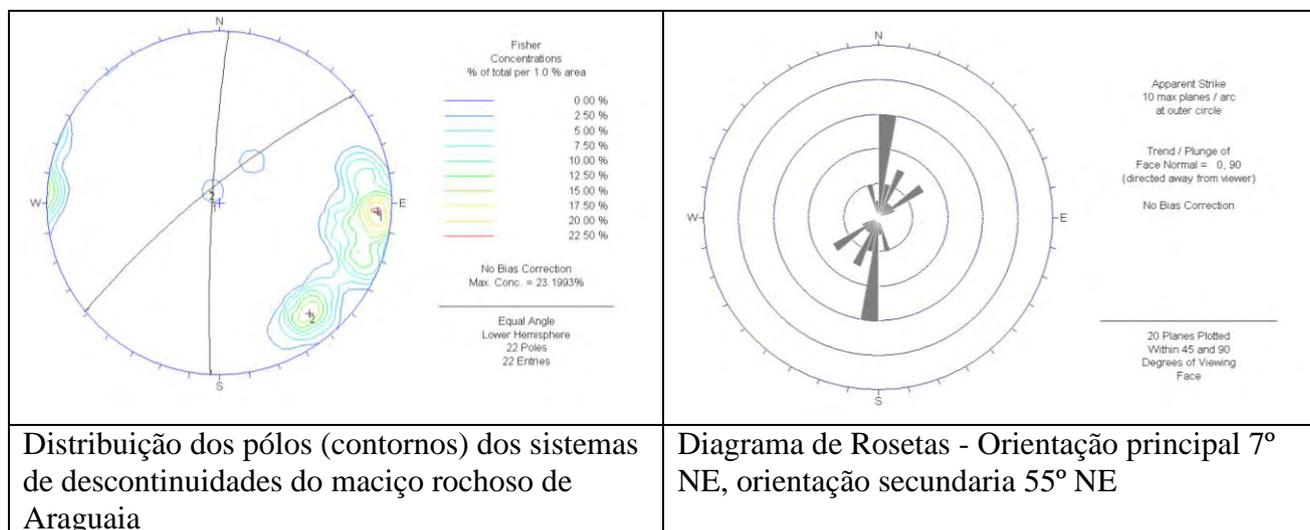


Figura 5.14. Janelas 1,2,3 – Pedreira Araguaia

Os dados de *dip dip/direction* foram analisados primeiramente por janelas, sendo posteriormente agrupados, assim pode ser observado que existem duas orientações predominantes a primeira com azimute de 7° NE e mergulho de 80°NW a segunda com 55°NE de azimute e 80°NW de mergulho.

Para a pedreira Anhanguera também foram analisados os dados de *dip dip/direction* em cada Figura 5.15 a 5.17, posteriormente foram agrupados todos os dados e analisados de forma conjunta (Figura 5.18) obtendo assim 3 famílias de descontinuidades com azimute de 136° NE, 71° NE e 92° NE com mergulho de 86° NW, 88° NW e 72° NW respectivamente.

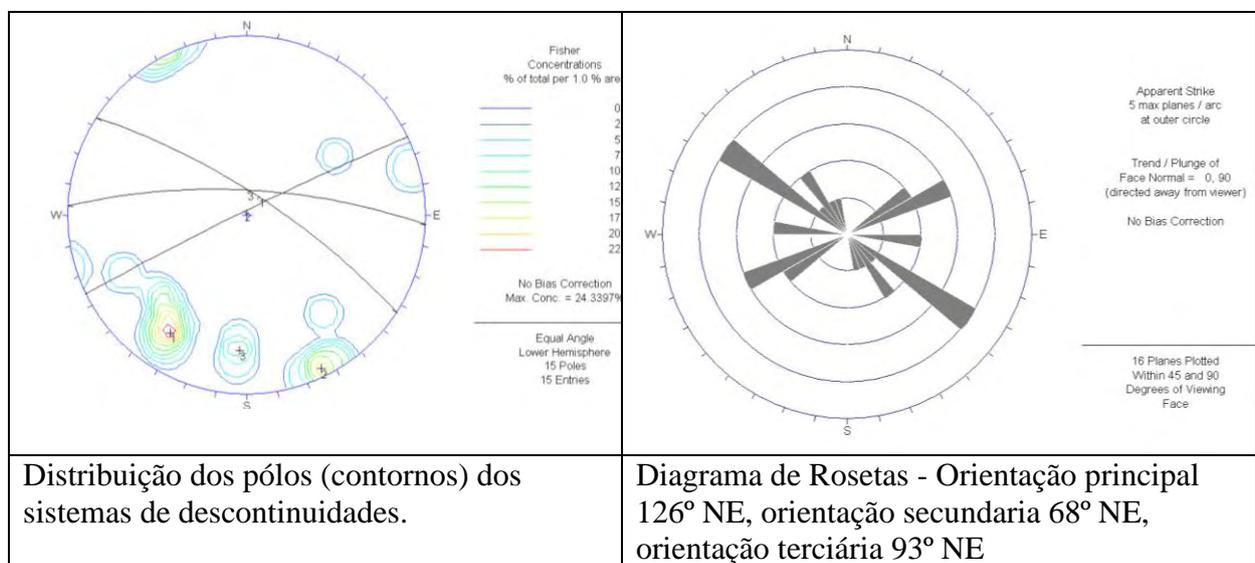


Figura 5.15. Janela 1 – Pedreira Anhanguera – talude 263° NE

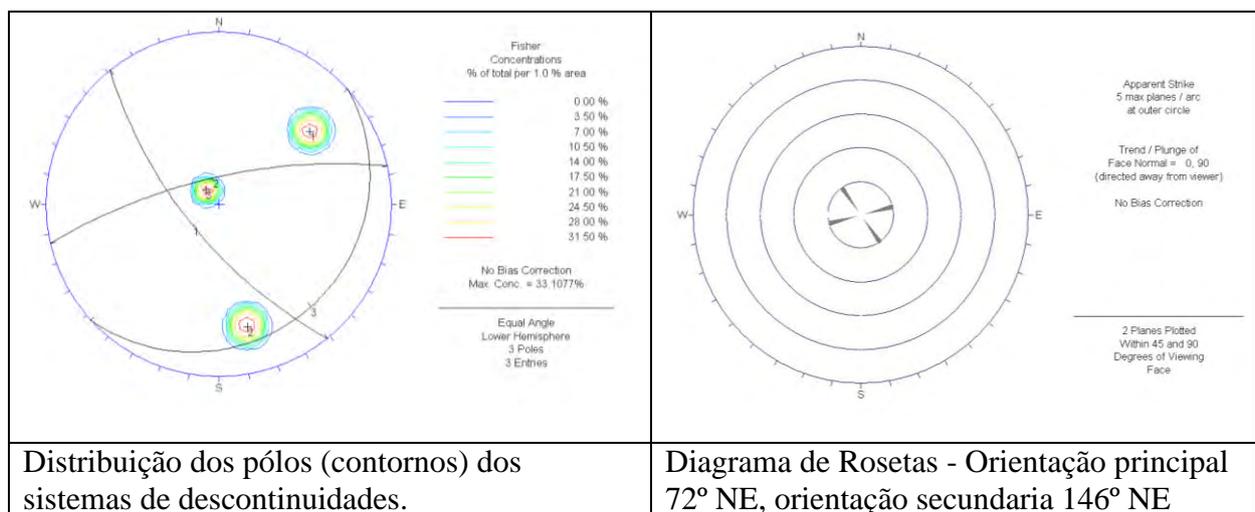


Figura 5.16. Janela 2 – Pedreira Anhanguera – talude 245° NE

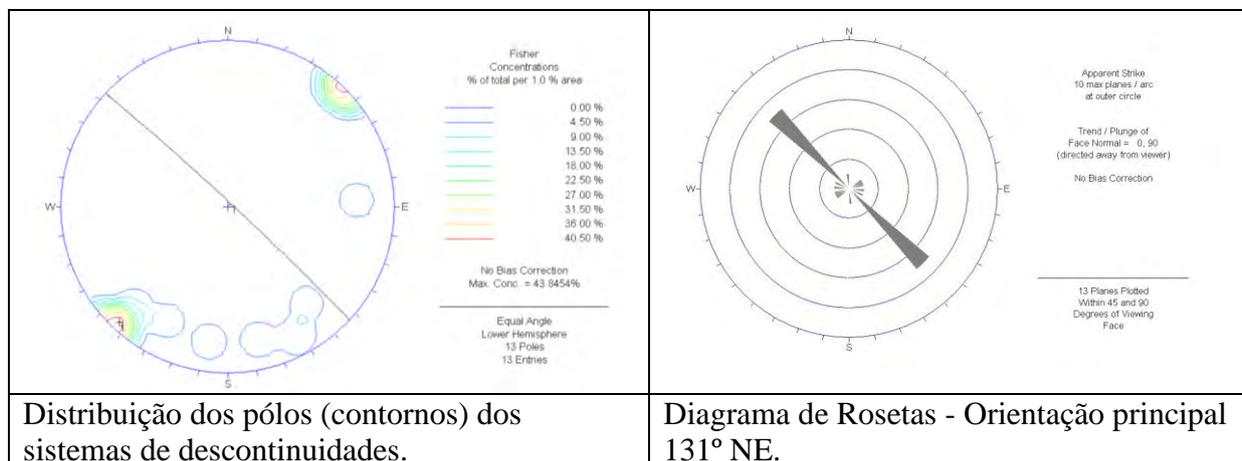


Figura 5.17. Janela 3 – Pedreira Anhanguera – talude 243° NE

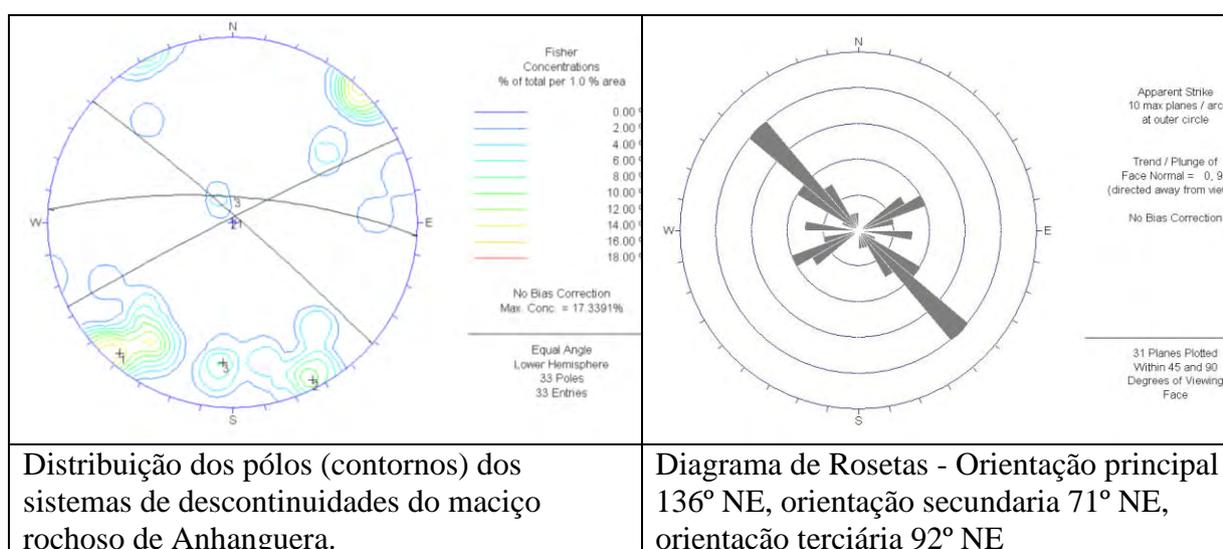


Figura 5.18. Janela 1,2,3 – Pedreira Anhanguera

Com os resultados obtidos nas investigações de campo, nos ensaios de laboratório, análise das estruturas e os dados da ficha do levantamento geomecânico, foi possível fazer a classificação geomecânica dos maciços por meio do índice RMR_{89} conforme a Tabela 2.9 apresentada no capítulo 2 e estimar o Índice de Resistência Geológica (GSI) a Tabela 5.4 apresenta a estimativa do GSI e a Tabela 5.5 mostra os valores de RMR e GSI obtidos para as pedreiras analisadas.

Tabela 5.4. Estimação do GSI

CARACTERÍSTICAS DOS MACIÇOS ROCHOSO PARA ESTIMAR O ÍNDICE DE RESISTÊNCIA GEOLOGIO (GSI)						
ESTRUTURA		SUPERFÍCIE DA DESCONTINUIDADE				
MACIÇO ROCHOSO NÃO FOLIADO	MACIÇO ROCHOSO FOLIADO	DIMINUIÇÃO DA PARÊDE DA DESCONTINUIDADE				
<p>INTACTA OU MACIÇA Rocha intacta ou maciça com poucas descontinuidades muito espaçadas.</p>	<p>POUCO FOLIADA Maciço rochoso parcialmente fraturado formado por 3 famílias de descontinuidades. Podem existir camadas finas foliadas.</p>	<p>MUITO BOA Muito rugosa, fechada e superfícies não alteradas.</p>	<p>BOM Rugosa, pouco alterada, abertura < 1 mm, com preenchimento duro</p>	<p>MODERADA Pouco rugosa, moderadamente alterada, abertura 1-5-mm, preenchimento duro e mole</p>	<p>RUÍM Plana, muito alterada, abertura > 5 mm, preenchimento mole.</p>	<p>MUITO RUÍM Lisa, polida, muito alterada, abertura > 5 mm, preenchimento mole.</p>
<p>FRATURADA Maciço rochoso não perturbado com blocos cúbicos intertravados formados por 3 famílias de descontinuidades</p>	<p>MODERADAMENTE FOLIADA Maciço rochoso fraturado formado por intervalos de rochas foliadas ou não foliadas em proporções iguais.</p>	90	80	70	60	50
<p>MUITO FRATURADA Intertravada maciço parcialmente perturbado com blocos angulares formados por 4 ou mais famílias</p>	<p>FOLIADA Maciço rochoso foliado, muito fraturado, rochas foliadas prevalecem aos intervalos de rochas não foliadas.</p>			40	30	20
<p>FRATURADA /PERTURBADA/DÉBIL Blocos angulares formados pela intersecção de muitas famílias de descontinuidades</p>	<p>MUITO FOLIADA Maciço rochoso foliado, altamente fraturado, formado somente por rochas foliadas. Podem existir falhas.</p>					
<p>DESINTEGRADA Travamento débil, maciço rochoso muito fraturado com blocos angulares e arredores</p>	<p>FALHADA/CISALHADA Maciço rochoso muito foliado e falhado, influência tectonicamente, com aspecto de brecha.</p>					10
<p>LAMINADA/CISALHADA Maciço rochoso totalmente fraturado, ausência de blocos.</p>						

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5. Resultados da Classificação geomecânica.

Nome da Pedreira	RMR ₈₉	GSI
Pedreira Araguaia	58	40-48
Pedreira Anhanguera	75	60-70

O maciço da pedraira Araguaia foi classificado segundo o RMR₈₉ como tipo III (Regular) e o maciço da pedraira Anhanguera é do tipo II (Bom). O GSI estimado para a pedraira Araguaia foi de 40 - 48 por apresentar superfícies de descontinuidades boas e porque a estrutura do maciço apresenta foliação. Para a pedraira Anhanguera o GSI estimado foi de 60 -70 por apresentar superfícies de descontinuidades boas a muito boas, com uma estrutura do maciço muito fraturada a fraturada.

5.3. Cadastro georreferenciado

O cadastro georreferenciado foi realizado conforme a metodologia proposta na Figura 5.19. Para criação da tabela de atributos foi utilizado o programa ArcMap 8.3, pois este módulo apresenta funções que possibilitam a entrada de informações proporcionadas pelo próprio programa e outros inseridos manualmente provenientes das fichas de cadastro, como também os resultados da classificação geomecânica e ensaios de laboratório. Além disso, este módulo permite ainda a incorporação de registros fotográficos que tendem a complementar as informações.

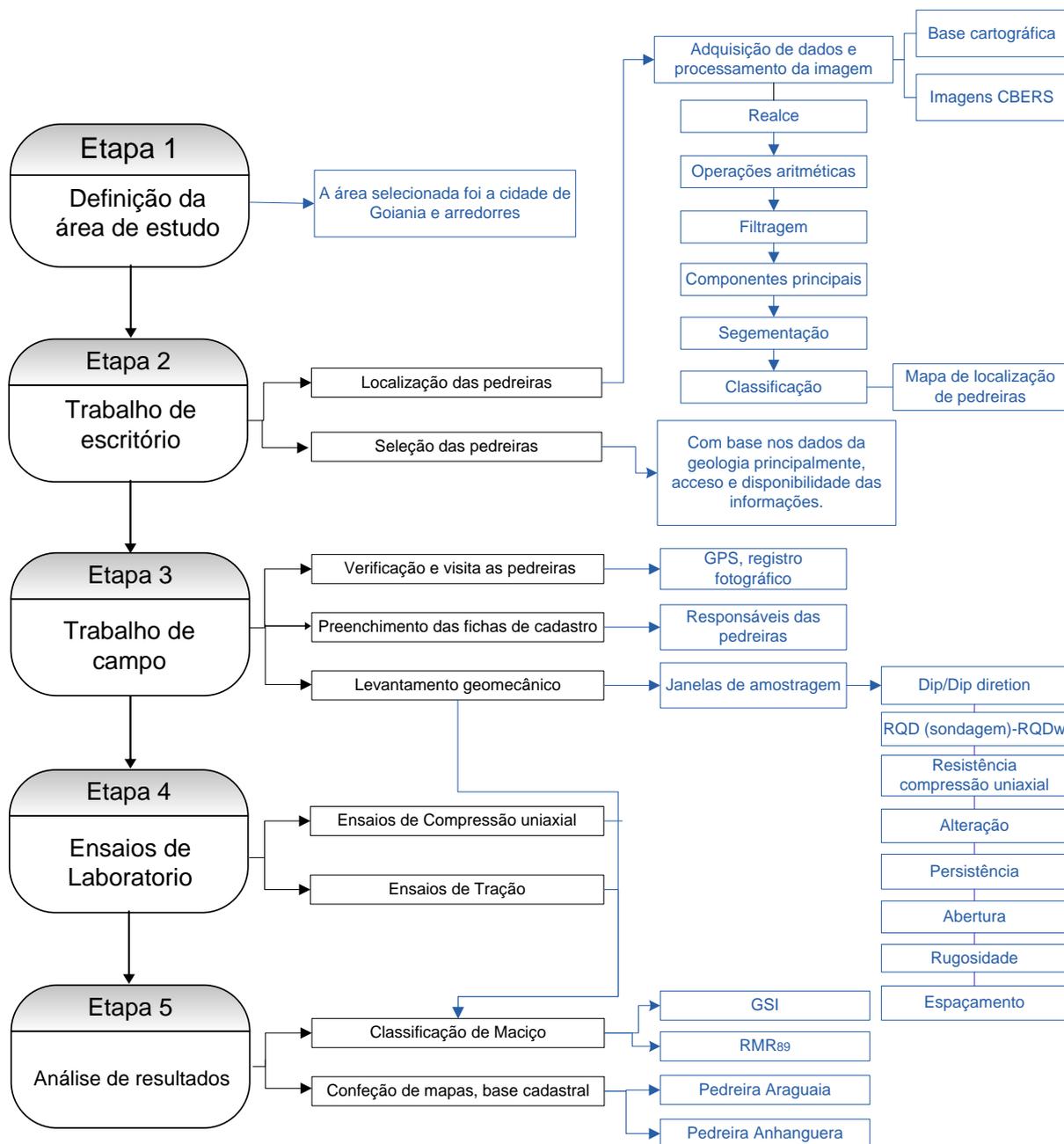


Figura 5.19. Metodologia desenvolvida para o cadastramento georreferenciado.

Uma das principais características do banco de dados georreferenciado é que integra um sistema automático de acesso aos dados das pedreiras cadastradas e aos mapas temáticos elaborados.

Os atributos que compõem o cadastro georreferenciado foram:

FID (identificador), Shape (forma geométrica), SPRAREA (área em m²), SPRCLASSE (número de pedreira escolhido aleatoriamente), Nome (nome da empresa proprietária), Endereço, Data_activ (data início da atividade), Longitude, Latitude, Elevação_m (elevação em metros), Mineral (tipo de material que produz), Produção_t (produção em t/ano), ReservasMed (reserva medida), ReservaInd (reserva indicada), ReservaInf (reserva inferida), ReservaLav (reserva lavrável), Vida_anos (vida útil em ano), Met_Lavra (método de lavra), Exploração (só se realiza explorações), UsoMineral (uso do material que produz), Destino (destino do material), Rejeito (rejeito que produz em m³/t), Disposição (disposição do rejeito), LicAmbien (licenciamento ambiental), RMR (classificação geomecânica), GSI (*Geological Streng Index*), Uniax_MPa (resistência à compressão uniaxial em MPa), E_GPa (módulo de elasticidade em GPa da rocha intacta), Poisson (coeficiente de Poisson), Tração_MPa (resistência à tração em MPa da rocha intacta), FotosLavra (registro fotográfico de lavra), FotoEnsaio (registro fotográfico dos ensaios).

Estes atributos podem ser visualizados na tela de consulta do cadastro georreferenciado como na Figura 5.20.

Attributes of Pedreiras										
FID	Shape	SPRAREA	SPRCLASSE	Nome	Endereço	Data_activ	LONGITUDE	LATITUDE	ELEVAÇÃO_m	
0	Polygon	174354	Pedreira_1	Pedreira Anhanguera S.A - Empresa de Mineração.	Av.Perimetral Norte,Gleba 4A-Vila João Vaz-Goiânia	17/11/1987	49°29'11" W	16°28'05" S	760	
1	Polygon	93906	Pedreira_2	Pedra Britada Indústria, Comércio e Rep Ltda.		<Null>	49°06'10" W	16°31'37" S	0	
2	Polygon	122253	Pedreira_3	Ciplan-cimento Planalto S.A.		<Null>	49°27'36" W	16°51'36" S	0	
3	Polygon	74406	Pedreira_9	Pedreira Bela Vista Ltda.		<Null>	49°05'47" W	16°47'45" S	0	
4	Polygon	144070	Pedreira_5	Pedreira Araguaia Ltda.	Rodovia BR153, s/n° Km 9,5 Goiânia	23/03/1982	49°12'43" W	16°45'58" S	715	
5	Polygon	135590	Pedreira_6	Pedreira Izaira Industria e Comercio Ltda.		<Null>	49°12'27" W	16°45'59" S	0	
6	Polygon	137776	Pedreira_7	COMPAV-Cia de pavimentação do Mun. de Go.		<Null>	49°11'41" W	16°45'49" S	0	
7	Polygon	94795	Pedreira_8	Briteng-Britagem e construções Ltda.		<Null>	49°10'35" W	16°47'10" S	0	
8	Polygon	54848	Pedreira_4	Pedreira Itaúna Ltda.		<Null>	49°14'46" W	16°50'22" S	0	

Attributes of Pedreiras											
Mineral	Produção_t	ReservaMed	ReservaInd	ReservaInf	ReservaLav	Vida_anos	Mét_Lavra	Exploração	UsoMineral	Destino	
Brita - areia de brita	319,500.00 - 106,500.00	357094640	0	0	285675712	500	Encosta	Não há	Construção Civil e Obras de Infra	Construção Civil e	
		0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0					
Brita - areia de brita	450,000.00 - 150,000.00	9500000	0	0	8500000	22	Encosta e cava	Não há	Construção Civil / Pavimentação	100% para Goiás	
		0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0					

Attributes of Pedreiras											
Rejeito	Disposição	LicAmbien	RMR	GSI	Unbca_MPa	E_GPa	Poisson	Tração_KN	FotosLavra	FotoEnsaio	
Material Inerte, Filler – 3000 M ³ /ano	Armazenado no Pátio da empresa a céu aberto	Estadual GUS 440/2007	75	51-60	102.2	39.1	0.2	24.62	C:\Anhangue	C:\Ensaio1.jpg	
					0	0	0	0			
					0	0	0	0			
					0	0	0	0			
Filler (0,03 m3/ton)	Aterros	PROC. 5702.1091/84-1 LICENÇA GUS 777/05	58	40-48	83.5	34.8	0.23	21.85	C:\Wraguaia.J	C:\Ensaio.jpg	
					0	0	0	0			
					0	0	0	0			
					0	0	0	0			
					0	0	0	0			

Figura 5.20. Tela de consulta do cadastro georreferenciado.

5.4. Apresentação das pedreiras cadastradas

Considerando as dificuldades associadas à coleta de dados relativos às pedreiras existentes na área de estudo foram cadastradas duas das nove pedreiras identificadas como apresentado anteriormente, estas pedreiras representam o estudo do caso e visam fornecer um exemplo das características e formatação do banco de dados digital. Além disso, é possível se ter uma idéia de como as informações devem ser organizadas e a forma de acervo dos dados. Assim, os dados das duas pedreiras selecionadas foram inseridas na tabela de atributos. Observando as Figuras 5.21 e 5.22 é possível visualizar as informações e a forma como elas podem ser consultadas, representando o produto final desta pesquisa.

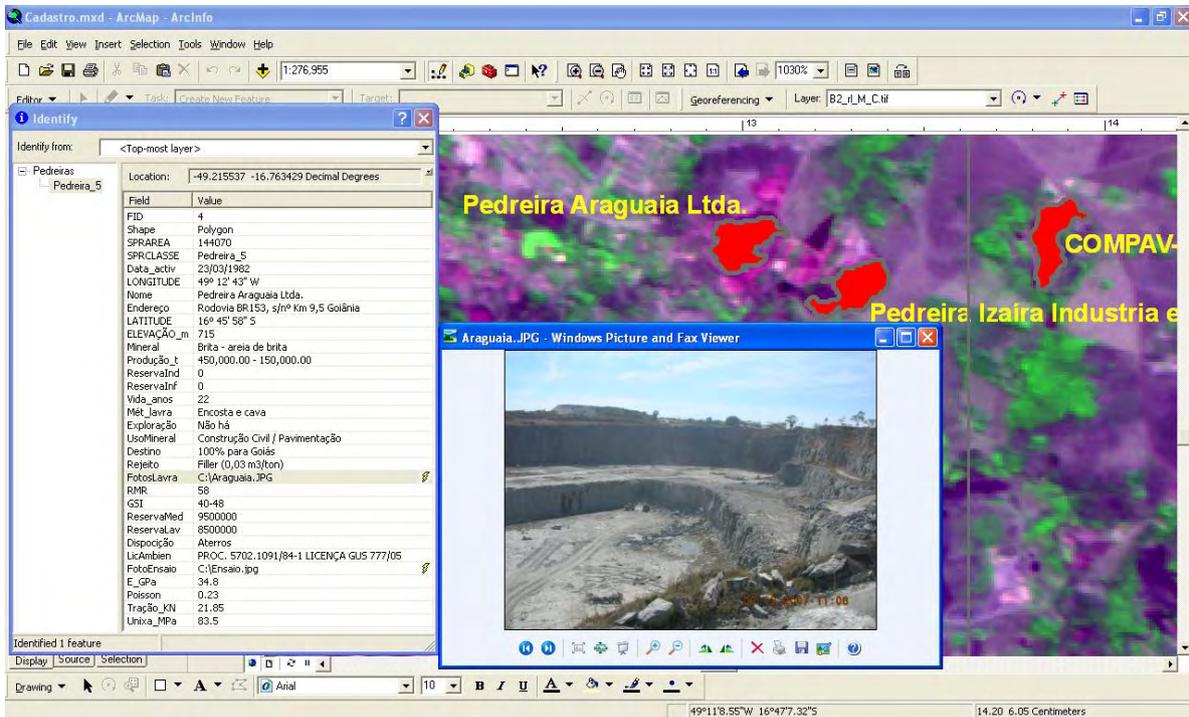


Figura 5.21. Tela do ArcMap mostrando o mapa de localização de pedreiras e as diversas informações cadastradas - Pedreira Araguaia.

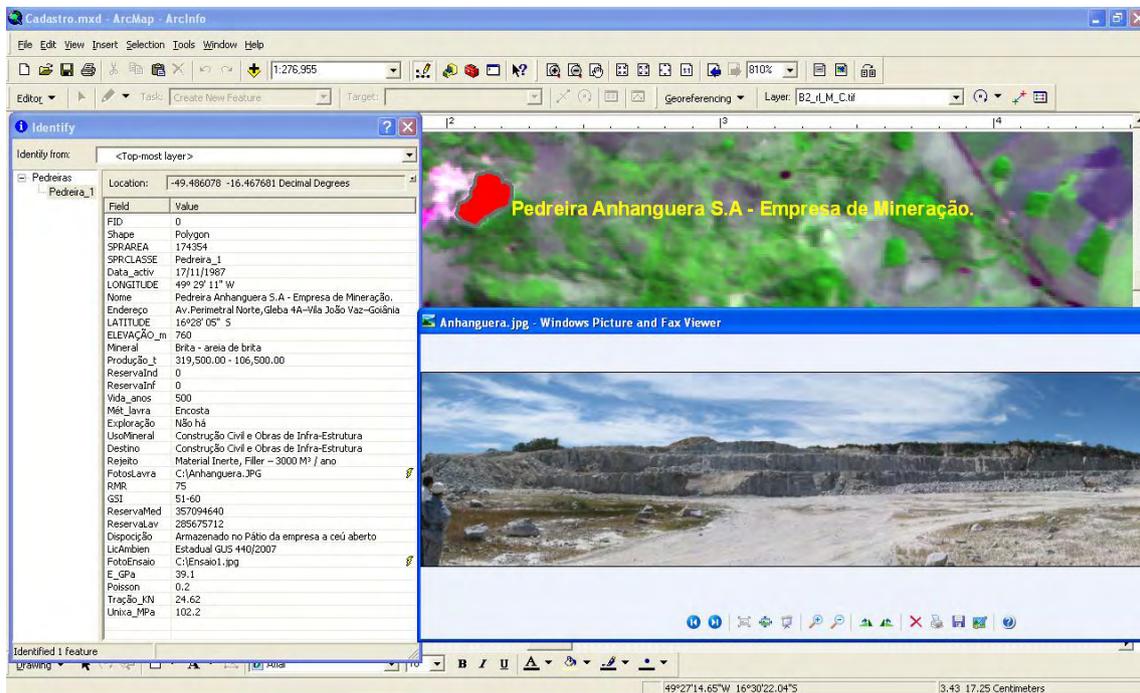


Figura 5.22. Tela do ArcMap mostrando o mapa de localização de pedreiras e as diversas informações cadastradas - Pedreira Anhanguera.

CAPÍTULO 6 : Conclusões e Sugestões

6.1. Conclusões

Como o objetivo do trabalho era cadastrar, mapear e caracterizar as jazidas, situadas no entorno da cidade de Goiânia, foi gerado um banco de dados que permite a consulta rápida de suas informações. Foram identificadas na área de estudo, nove pedreiras na fase de lavra de brita, utilizando o SIG e aplicando técnicas de geoprocessamento nas imagens de satélite, sendo que a maior concentração das atividades de extração de agregados encontra-se ao sudeste da zona de estudo.

O trabalho foi realizado com imagens de 2003, 2004, 2005, o que difere um pouco da realidade do trabalho de campo que foi realizado em 2007. Baseado nestes estudos foram localizadas nove pedreiras, sendo a maioria checadas com visitas em campo, exceto as pedreiras 7 e 9. Com tudo, devido as dificuldades na obtenção dos dados cadastrais relativos a todas as pedreiras, foram selecionadas duas cujo volume de informações se apresentava mais completo.

Por meio dos mapas temáticos e localização das pedreiras relativas a área de estudo foi possível identificar que:

- O município de Aparecida de Goiânia apresenta o maior número pedreiras, sendo as outras pedreiras localizadas nos municípios de Caturaí, Goianópolis, Guapó e Bela Vista de Goiás;
- Com relação à geologia, a maioria das pedreiras (4,5,6,7,8 e 9) se encontram no Grupo Araxá, as outras pedreiras (1,2,3) em Granitos sintectônicos e Sequências Metavulcanossedimentares;
- Quanto à geomorfologia, a maioria se encontra na Superfície Regional de Aplainamento IIIA, as demais (pedreiras 1, 2) se encontram na Superfície Regional de Aplainamento IIA e Relevo de Morros e Colinas;
- O processo de lavra foi iniciado após a retirada dos solos PVe1, LEd5, PEe1, Cd4, Cd2, Ca1.

Dos ensaios realizados em laboratório nas amostras de rocha intacta das duas pedreiras selecionadas se obteve para a pedreira Araguaia um valor de $\sigma_c = 83.5$ MPa, $E = 34.8$ GPa, $\nu = 0.20$, $\sigma_t = 9.86$ MPa. Para a pedreira Anhanguera foram obtidos valores de $\sigma_c = 126$ MPa, $E = 44.2$ GPa, $\nu = 0.24$, $\sigma_t = 10.84$ MPa.

A classificação geomecânica RMR₈₉ para a pedreira Araguaia foi possível enquadrar o maciço na Classe III (maciço regular) e no caso da pedreira Anhanguera a classificação obtida foi a Classe II (maciço bom). O valor do GSI atribuído para a pedreira Araguaia foi 40 - 48 e para pedreira Anhanguera de 60-70.

Com base nos dados cadastrais, informações obtidas nos mapas e dados de laboratório foi possível criar o banco de dados digital no SIG para as duas pedreiras cadastradas para cada pedreira foram relacionadas uma delas com 30 atributos, permitindo uma consulta rápida e eficaz dos dados cadastrados.

Com base no cadastramento dos dados foi possível estabelecer uma metodologia para elaboração do cadastro georreferenciado das indústrias de extração de agregados, conforme o fluxograma apresentado no capítulo 4. É importante ressaltar que esta metodologia poderá ser aplicada na elaboração do cadastro georreferenciado de pedreiras em processo de lavra. A principal vantagem deste método é a facilidade de consulta dos dados pelo público e pelas próprias mineradoras, a fim de obtenção de informações de seu interesse, além de incluir novos dados e/ou atualizá-los.

6.2. Sugestões para futuras pesquisas

Embora tenha-se conseguido cumprir boa parte dos objetivos propostos algumas dificuldades e contratempos geraram algumas novas possibilidades de complementação deste trabalho. Assim, serão apresentadas algumas sugestões para continuidade desta pesquisa:

- Atualização periódica do mapa de localização de pedreiras, já que constitui uma ferramenta importante na avaliação do crescimento da mineração no Estado de Goiás;
- Incrementar o banco de dados do cadastro georreferenciado com informações mais detalhadas referentes a caracterização petrográfica da rocha;

- Completar o cadastramento das outras sete pedreiras a fim de realizar a análise da cadeia produtiva de esse setor de mineração (rochas britadas) da região estudada;
- Determinação da velocidade de propagação de onda, calcular o fator de rocha (BI – *Blastability Index*) e determinar a quantidade de explosivo, a fim de otimizar o planejamento de fogo, reduzindo-se a produção de rejeito.
- Avaliar a possibilidade de aplicação desta metodologia em outras atividades de extração mineral.
- Realizar o levantamento geomecânico de mais janelas de amostragem e mais ensaios de laboratório visando obter dados mais representativos dos maciços além de resultados de sondagens.

Referencias Bibliográficas

- ASSIS, A. P. (2003). Mecânica das Rochas, Apostila do Curso Básico, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília DF, 110 p.
- ASTM D 2938 (1995) Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT-1993). NBR 7225: Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro.
- BARTON, N. LIEN, R. & LUNDE, J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics*, 6: 189-236.
- BATALIONE GIOVANE, (2007). Estabilização de solos tropicais com a utilização de rejeitos finos de pedreira de uma rocha granítica, 172p.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1974). Geomechanics Classification of Rock Masses and its Applications in Tunneling. 3rd International Congress. of Rock Mechanics, ISRM, Denver, Vol. IIA: 27-32.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classification: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering. 251 p.
- BRADY, B. H. C. & BROWN, E. T. (1994). *Rock Mechanics for Underground Mining*, Chapman and Hall, London, 571p.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. & MONTEIRO, A. M. V. (2001). Introdução á Ciência da Geoinformação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 345 p.
- CÂMARA, G. (2005). Manual do programa Spring. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Acesso em: março. 2007.
- CARVALHO M. S., DE PINA M. F. & DOS SANTOS S. M. (2000). Conceitos Básicos de Informação Geográfica Aplicados à Saúde. Rede Interagencial de Informações para a Saúde (RIPSA), Brasília, Brasil, 122p.
- CETEM Centro de Tecnologia Mineral (2005), Utilização de rejeitos minerais em misturas asfálticas.
- CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil (2001). Projeto Goiânia - Folha Goiânia SE.22-X-B.
- CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e

- Energia (2002). Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre (RS).
- DEERE D.U. (1967). Geological Considerations. Rock Mechanics in Engineering Practice, K.G, Stagg & O.C. Zienkiewics (eds), John Wiley & Sons, London, UK, pp. 1-20.
- DNIT 2002, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – Mapa Rodoviário Goiás.
- DNPM/CPRM (1994). Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Goiânia – Folha SE.22-X-B-IV. Estado de Goiás. Escala 1:100.000., Brasília, DF, 124 p.
- DNPM, (2004). Departamento Nacional de Produção Mineral - Agregados para Construção Civil
- DNPM, (2006). Departamento Nacional de Produção Mineral - Anuário Mineral Brasileiro 2006
- DNPM, (2007). Departamento Nacional de Produção Mineral - Panorama do mercado de agregados para construção civil no estado de Goiás
- DNPM, (2007). Departamento Nacional da Produção Mineral, Diretoria de Outorga e Cadastro Mineiro – DICAM, Informações Geográficas da Mineração - SIGMINE, <http://sigmine.dnpm.gov.br> acesso julho 2007.
- ESTADO DA BAHIA, SECRETARIA DAS MINAS E ENERGIA, COORDENAÇÃO DA PRODUÇÃO MINERAL (1975), Projeto cadastramento de ocorrências minerais do Estado da Bahia (Vol VI-Salvador).
- ESRI Environmental Systems Research Institute, Inc. (2004). What is ArcGIS, (124 p.) http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/698What_is_ArcGIS.pdf
- GOODMAN, R.E. & SHI, G.H. (1985). Block Theory and its Application to Rock Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 585 p.
- HOEK, E. & BRAY J.W. (1981). Rock Slope Engineering, The Institution of Mining & Metallurgy, London, UK, 358 p.
- HOEK, E. & BROWN, E.T. (1980). Escavaciones subterranas en roca, McGraw-Hill Book Co, Mexico DF, Mexico, 634 p.
- HOEK E. 1994. Strenght of rock and rock masses. ISRM News Journal, 2(2).
- HOEK, E., MARINOS, P. and BENISSI, M. 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. Bull. Engg. Geol. Env. 57(2), 151-160.

- HOEK, E. (2000), Practical Rock Engineering – An Ongoing Set of Notes, available on the Rocscience website, www.rocscience.com. Acesso em: Outubro 2005.
- HUTCHINSON. D & DIEDERICHS M (1996). Cablebolting in underground mines
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística <http://www.ibge.gov.br> acesso agosto de 2007
- INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, DPI Divisão de Processamento de Imagens. Programa SPRING 4.3.2 <http://www.dpi.inpe.br/spring> acesso abril 2007.
- INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, DPI Divisão de Processamento de Imagens. Imagens de satélite <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> acesso abril 2007
- ISRM (1981). Rock Characterization Testing and Monitoring - ISRM (International Society for Rock Mechanics) Suggested Methods. E.T. Brown (ed), Pergamon, Oxford, England, 211 p.
- JENSEN, J. R. Remote Sensing of Environment: an Earth Resource Perspective. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2000, 544p.
- LABGIS Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia) Universidade do Estado de Rio de Janeiro, <http://www.fgel.uerj.br/labgis/> .Acesso, dezembro 2007.
- LOCH, C. (1989). Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano. EDUMA/FEESC. Florianópolis, SC, 81p
- MAGUIRE, D. J. (1991) - An Overview and Definition of GIS. In Geographical Information Systems, Principles and Applications - D. J. Maguire, M. F. Goodchild and D. W. Rhind (edits), Longman Scientific & Technical, U.K. 649 p. (Volume 1).
- MENESES, P. R. & NETTO, J. S. M. Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados. 2001. 262 pag.
- MEZA, P.A., DUEÑAS J.R. & RIVERA J.P. (2002). Field Data Geomechanics Guide (in Spanish), Faculty of Geology & Mining, San Agustín National University, Arequipa, Peru, 27 p.
- NEVES F.& FONSECA C. & SOUSA L. (2002). Cadastro dos Recursos minerais na Bacia do Ibicui.
- NUNES, A. L. L. (1989). Estudo de Deformabilidade de Arenitos, Rio de Janeiro, Brasil.
- PININSKA J. & DZIEDZIC A. (2004). GIS application for geomechanics—a Polish example. Bull Eng Geol Env (2004) 63:83–87

- PALMSTRÖM, A. 1982. The volumetric joint count- a useful & simple measure of the degree of rock jointing. Proc. 4th Int. Congress Int. ass.Engng., Geol. Delphi 5, 221-228.
- PALMSTRÖM, A. (1995). R_{Mi} – a Rock Mass Characterization System for Rock Engineering Purposes, Ph.D. Thesis, University of Oslo, Norway, 400 p.
- PALMSTRÖM, A. (1996). Characterizing Rock Masses by the R_{Mi} for Use in Practical Rock Engineering Part 1: The Development of the Rock Mass Index. Tunneling and Underground Space Technology, 11 (2): 175-188.
- PERRI G, (2002). Contribución a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en base al GSI de Hoek. Universidad Central de Venezuela 8 p.
- ROCSCIENCE INC. (1997). Dips, User's Guide, Toronto, Ontario, Canadá, 90 p.
- ROMANA, M.R. (1996). A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating. Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice & Projects. Hudson J.A. (ed.). Volume 3, Pergamon Press, England, 45 p.
- SERRA, E. J. & OJIMA L. M. (1998) Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos. Geologia de Engenharia, Oliveira, A. S. & Brito, S. A. (Ed), ABGE, SP, 211-226 p.
- SIEG, 2007 Sistema Estadual de Estadística e de Informações Geográficas de Goiás <http://www.sieg.go.gov.br> acesso maio 2007
- TRUZMAN, M, 2000. Determinacion del Indice de Resistencia Geologica (GSI) en Rocas Metamorficas de la Cordillera de La Costa de Venezuela. Boletin de la Sociedad Venezolana de Geotecnia N° 78. 3-12p