

USP

Campus de São Carlos

AVALIAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE ENCOSTAS
NATURAIS ROCHOSAS POR MEIO DE CLASSIFICAÇÕES
GEOMECÂNICAS: ÁREA URBANA DE OURO PRETO (MG)

ESCALA 1:5.000

VOL. I

AUTOR: ÂNGELO ALMEIDA ZENÓBIO

ORIENTADOR: PROF. DR. LÁZARO VALENTIN ZUQUETTE

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 20 / 12 / 00

Ass.: *David Toledo*

**AVALIAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA
DE ENCOSTAS NATURAIS ROCHOSAS
POR MEIO DE CLASSIFICAÇÕES
GEOMECÂNICAS: ÁREA URBANA DE
OURO PRETO (MG) ESCALA 1:5.000**

VOLUME I

Ângelo Almeida Zenóbio



DEDALUS - Acervo - EESC



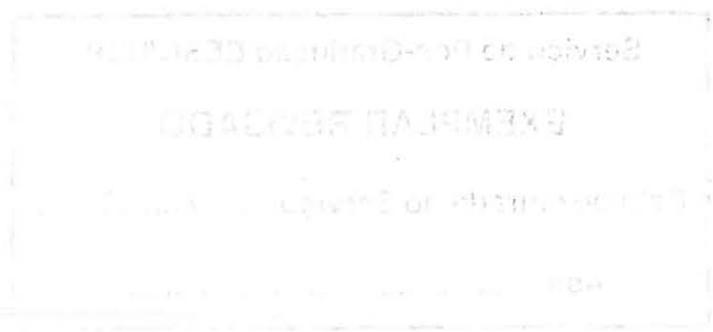
31100017133

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geotecnia

ORIENTADOR: Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette

São Carlos
2000

Class. Tese-EEEX
Cutt. 6349 ✓
v. 1
Tombo 005/01



st 11 29 184

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Z55a Zenóbio, Ângelo Almeida
Avaliação geológica-geotécnica de encostas naturais rochosas : área urbana de Ouro Preto (M.G.) escala 1:5.000 / Ângelo Almeida Zenóbio. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Geotecnia.
Orientador: Prof. Dr. Lázaro Valentim Zuquette.

1. Descontinuidades. 2. Classificações geomecânicas.
3. Índice de correção. 4. Ouro Preto. I. Título.

**“Nós nos dividimos em devoção a vários Deuses.
Como será que os Deuses, lá entre eles, nos dividem”?**
(S. Jerzy)

**Dedico esta dissertação aos meus pais, irmão, Tia
Elsie e a Raquel, por todo incentivo, apoio e força nos
momentos mais difíceis.**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette, por sua orientação, dedicação e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho;

Aos Prof. Dr.(s) Terezinha Bonucelli e Romero César Gomes, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, pela ajuda nas discussões e ensinamentos transmitidos;

Aos engenheiros Fabrício Alex dos Santos (civil) e Marcelo Lázaro de Freitas (geólogo), pelo auxílio nas etapas de campo, discussões, confecção desta dissertação e principalmente pela amizade e incentivo nos momentos difíceis;

Aos amigos Ezilma, Eliana, Miguel, Fernando, Jócelio, Sidnei e demais colegas de pós-graduação por todos os bons momentos e troca de experiências; em especial à Silvana pela amizade adquirida durante todos estes anos;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), pela infraestrutura oferecida para o programa de pós-graduação, principalmente através do quadro de docentes e funcionários;

À Universidade Federal de Ouro Preto, através do Departamento de Geologia, por toda a infraestrutura oferecida durante as etapas deste trabalho;

À Escola de Minas, célula "*mater*" da engenharia, pelo conhecimento e experiência adquiridos durante estes anos;

À República Canaan, por me acolherem de volta e pela paciência, obrigado irmãos;

À República Palmares, pela amizade em todos os momentos;

E ao meu pai, obrigado, esta conquista é nossa.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	iii
Listas de Abreviaturas	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Introdução	1
Capítulo 1 - Revisão Bibliográfica	3
1.1 - Introdução	3
1.2 - Movimentos de Massa Gravitacionais	3
1.2.1 - Fatores Condicionantes	5
1.3 - Tipos de Movimentos de Massa	10
1.3.1 - Classificação de Varnes (1978)	12
1.3.2 - Classificação de Hutchinson (1988)	17
1.4 - Descontinuidades	19
1.4.1 - Aspectos Gerais	19
1.4.2 - Definição e Parâmetros	21
1.4.3 - Estatística de Descontinuidades	31
1.5 - Classificações Geomecânicas	34
1.5.1 - Classificação de Bieniawski (1989): Sistema RMR	36
1.5.2 - Classificação de Romana (1985): Sistema SMR	43
1.5.3 - Classificação de Barton et al. (1974): Sistema Q	46
1.6 - Análise de Movimentos de Massa Gravitacionais através de Classificações Geomecânicas	53
Capítulo 2 - Metodologia e Materiais	56
2.1 - Aspectos Metodológicos	56
2.2 - Materiais	62
Capítulo 3 - Características Gerais da Área	65
3.1 - Localização e Acessos	65

3.2 - Aspectos Sócio-Econômicos	65
3.3 - Geologia	68
3.4 - Geomorfologia	74
3.5 - Clima	75
3.6 - Hidrografia	77
Capítulo 4 - Resultados e Análises	78
4.1 - Considerações Básicas	78
4.2 - Documentos Cartográficos	78
a - Mapa Topográfico - Anexo I	79
b - Mapa de Documentação I - Anexo II	79
c - Mapa de Documentação II - Anexo III	80
d - Mapa Geológico - Anexo IV	81
e - Carta das Encostas com suas Declividades - Anexo V	90
f - Mapa de Feições dos Movimentos de Massa Gravitacionais e Processos Correlatos - Anexo VI	91
4.3 - Classificações Geomecânicas	92
4.3.1 - Primeiras Análises	92
4.4 - Índice de Correção para o R.Q.D.	95
4.4.1 - Classificações Geomecânicas e o parâmetro R.Q.D.	95
4.4.2 - Resultados preliminares do parâmetro R.Q.D.	96
4.4.3 - Proposta de correção para os valores do parâmetro R.Q.D	97
4.4.4 - Resultados dos valores corrigidos do parâmetro R.Q.D.	105
4.4.5 - Análise dos resultados	105
4.5 - Avaliação das Classificações Geomecânicas após correções	106
4.6 - Análises comparativas entre as classificações antes e depois das correções	108
Capítulo 5 - Cartas de Zoneamento	111
5.1 - Metodologia	111
5.2 - Documentos Cartográficos	112
Capítulo 6 - Conclusões	114

Anexos:

Anexo I – Mapa Topográfico

Anexo II – Mapa de Documentação I

Anexo III – Mapa de Documentação II

Anexo IV – Mapa Geológico

Anexo V – Carta das Encostas com suas Declividades

Anexo VI – Mapa de Feições dos Movimentos de Massa Gravitacionais e Processos Correlatos

Anexo VII – Carta de Zoneamento para o Sistema RMR (sem correção)

Anexo VIII – Carta de Zoneamento para o Sistema Q (sem correção)

Anexo IX – Carta de Zoneamento para o Sistema SMR (sem correção)

Anexo X - Carta de Zoneamento para o Sistema RMR (com correção)

Anexo XI - Carta de Zoneamento para o Sistema Q (com correção)

Anexo XII - Carta de Zoneamento para o Sistema SMR (com correção)

Apêndices

Apêndice I – Estereogramas das litologias.

Apêndice II – Análise estatística das famílias de descontinuidades presentes nas litologias.

Apêndice III - Planilha de cálculo dos parâmetros R.Q.D. calculado, R.Q.D.corrigido e índice de correção.

Apêndice IV – Pontos com os resultados das classificações geomecânicas (primeiras análises).

Apêndice V – Pontos com os resultados das classificações geomecânicas (após as correções).

Apêndice VI – Tabelas e gráficos com os resultados das classificações geomecânicas (primeiras análises).

Apêndice VII – Tabelas e gráficos com os resultados das classificações geomecânicas (após as correções).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Influência das descontinuidades na segurança de encostas apud Guidicini e Nieble (1984).	6
FIGURA 1.2 - Vazamentos no sistema improvisado de águas de abastecimento IPT (1991)	10
FIGURA 1.3 - Execução de cortes e aterros inadequados apud IPT (1991).	11
FIGURA 1.4 - Queda de material rochoso apud Varnes (1978).	13
FIGURA 1.5 - Tombamento de rochas, Varnes (1978).	14
FIGURA 1.6 - Feições de escorregamentos em material uniforme apud Varnes (1978) apud Souza (1996).	15
FIGURA 1.7 - Escorregamentos translacionais (Varnes, 1978).	16
FIGURA 1.8 - Espalhamentos laterais apud Varnes (1978).	16
FIGURA 1.9 - Espaçamento de famílias de juntas em face de rocha (ISRM, 1978).	23
FIGURA 1.10 - Perfis de rugosidade e ondulação das paredes das descontinuidades (ISRM, 1978).	25
FIGURA 1.11 - Descontinuidades fechadas, abertas e preenchidas (ISRM, 1978).	28
FIGURA 1.12 - Classificação para a resistência da rocha intacta (Bieniawski, 1989).	41
FIGURA 1.13 - Classificação para RQD (Bieniawski, 1989).	41
FIGURA 1.14 - Classificação para espaçamento das descontinuidades (Bieniawski, 1989).	42
FIGURA 1.15 - Classificação para correlação entre RQD e espaçamento das descontinuidades (Bieniawski, 1989).	42
FIGURA 2.1 - Fluxograma das fases de estudo.	57
FIGURA 2.2a - Ficha de campo para a descrição das características geológico-geotécnicas.	60
FIGURA 2.2b - Ficha de campo para a descrição das características geológico-geotécnicas (verso).	61

FIGURA 3.1 - Mapa de localização da área de estudo (modificado de Sobreira, 1991)	66
FIGURA 3.2 - Mapa de Localização do Cráton do São Francisco (a) e a posição relativa do Quadrilátero Ferrífero (b), <i>in</i> : Marshak e Alkmin, (1989).	70
FIGURA 3.3 - Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Endo, 1997).	71
FIGURA 3.4 - Mapa representativo das principais feições morfoestruturais do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Dorr, 1969)	73
FIGURA 4.1 - Afloramento de quartzo-sericita-xisto (RvnL).	83
FIGURA 4.2 - Presença de “Boudins” nos quartzo-sericita-xistos (RvnL).	83
FIGURA 4.3 - Afloramento de quartzito sericítico (mcm).	85
FIGURA 4.4 - Conjunto de fraturas presentes nos quartzitos (mcm).	85
FIGURA 4.5 - Afloramento de filito da Formação Batatal (mcb).	86
FIGURA 4.6 - Fraturas e lineação de crenulação presentes nos filitos (mcb).	86
FIGURA 4.7 - Afloramento de itabirito (mic), coma presença de uma pequena falha.	88
FIGURA 4.8 - Vista geral de uma capa de canga cobrindo a rocha formando um “ <i>flatiron</i> ”.	88
FIGURA 4.9 - Conjunto de famílias de fraturas presentes nos itabiritos (mic).	89
FIGURA 4.10 - Afloramento de filito (mcb) da Formação Cercadinho.	89
FIGURA 4.11 - Níveis quartzosos presentes nos xistos (RvnL).	103
FIGURA 4.12 - Veio de quartzo presente nos quartzitos (mcm).	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 - Classificação dos movimentos de massa gravitacionais, proposta por VARNES (1978) apud SOUZA (1996).	13
TABELA 1.2 - Classificação dos movimentos de massas subaérea modificada de HUTCHINSON (1988).	18
TABELA 1.3 - Estado de alteração das paredes das descontinuidades (ISRM, 1978).	27
TABELA 1.4 - Sistemas de classificações desenvolvidos para maciços rochosos e suas respectivas finalidades, modificado de GOODMAN (1976) apud ALMEIDA (1994).	36
TABELA 1.5 - Classificação geomecânica de BIENIAWSKI (1989).	39
TABELA 1.6 - Orientações para classificação de descontinuidades (BIENIAWSKI, 1989).	43
TABELA 1.7 - Fatores de ajustes das descontinuidades (ROMANA, 1985).	45
TABELA 1.8 - Fator de ajuste, conforme o método de escavação (ROMANA, 1985).	45
TABELA 1.9 - Classes de Estabilidade segundo o SMR (ROMANA, 1985).	46
TABELA 1.10 - Classificação geomecânica de BARTON et al. (1974).	48
TABELA 1.11 - Classes de maciços rochosos (BARTON et al., 1974)	52
TABELA 2.1 - Relação de folhas topográficas da CEMIG, na escala de 1:2.000.	63
TABELA 3.1 - Dados da população residente no município de Ouro Preto.	67
TABELA 3.2 - Dados da precipitação mensal e anual dos anos de 1988-1998 (BONUCELLI, 1999).	76
TABELA 4.1- Coluna estratigráfica para a área estudada.	81
TABELA 4.2 - Resultado das Classificações Geomecânicas no xisto.	93
TABELA 4.3 - Resultado das Classificações Geomecânicas no filito.	93
TABELA 4.4 - Resultado das Classificações Geomecânicas no itabirito.	94
TABELA 4.5 - Resultado das Classificações Geomecânicas no quartzito.	94
TABELA 4.6 - Relação entre a qualidade das rochas e o valor do parâmetro R.Q.D., modificado de FRANKLIN & DUSSEAULT (1989).	98

TABELA 4.7 – Relação entre a qualidade das rochas e o valor do parâmetro R.Q.D..	98
TABELA 4.8 - Resistência das rochas (ISRM, 1978).	99
TABELA 4.9 - Grau de alteração do maciço rochoso, modificado da AFTES(1978).	100
TABELA 4.10 - Índices parciais referentes aos constituintes mineralógicos predominantes.	101
TABELA 4.11 - Índices parciais referentes as características dos de níveis mineralógicos específicos que ocorrem associados as litologias.	102
TABELA 4.12 - Índice de correção para o R.Q.D.	104
TABELA 4.13 - Resultados obtidos para o R.Q.D.medido, o Índice de Correção e R.Q.D.corrigido.	105
TABELA 4.14 - Resultados das Classificações Geomecânicas no xisto, com correção.	107
TABELA 4.15 - Resultados das Classificações Geomecânicas no filito, com correção.	107
TABELA 4.16 - Resultados das Classificações Geomecânicas no itabirito, com correção.	107
TABELA 4.17- Resultados das Classificações Geomecânicas no quartzito, com correção.	108
TABELA 4.18 - Resultados das Classificações Geomecânicas no filito, sem e com correção.	108
TABELA 4.19 - Resultados das classificações geomecânicas antes e após as correções no Sistema RMR.	109
TABELA 4.20 - Resultados das classificações geomecânicas antes e após as correções no Sistema Q.	109
TABELA 4.21 - Resultados das classificações geomecânicas antes e após as correções no Sistema SMR.	109
TABELA 5.1 - Resultado das classificações geomecânicas para cada família de descontinuidade.	112

LISTA DE ABREVIATURAS

AETR - Análise de Estabilidade de Taludes em Rochas

AFTES – *Association Française des Travaux en Souterrain*

CEMIG – Centrais Elétricas de Minas Gerais

ETFOP – Escola Técnica Federal de Ouro Preto

GSI - *Geological Strength Index*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo

ISRM – *International Society for Rock Mechanics*

RFFSA – Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima

R.Q.D. – *Rock Quality Designation*

RESUMO

Zenóbio, A. A. . *Avaliação Geológica-Geotécnica de Encostas Naturais Rochosas por meio de Classificações Geomecânicas: Área Urbana de Ouro Preto (MG) Escala 1:5.000.* São Carlos, 1999. 1v. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Esta dissertação teve como principal objetivo desenvolver um estudo de caracterização dos maciços rochosos em encostas naturais, via levantamento e análises das principais descontinuidades presentes no sítio urbano da cidade de Ouro Preto - M.G.

Nesta pesquisa, utilizou-se as classificações geomecânicas como ferramenta para o mapeamento geotécnico, com a geração de documentos cartográficos na escala 1:5.000, em uma área de aproximadamente 2,88 km², compreendendo uma parcela da Serra de Ouro Preto e do centro histórico.

Os sistemas de classificações geomecânicos, Sistema RMR (BIENIAWSKI, 1989), Sistema Q (BARTON et al., 1974) e Sistema SMR (ROMANA, 1985), utilizados na pesquisa, expressaram o comportamento dos maciços rochosos que, associados aos documentos cartográficos gerados, serviram de base para a elaboração das cartas de zoneamento. Como ferramenta auxiliar, foi proposto um índice de correção para o parâmetro R.Q.D. (*“Rock Quality Designation”*), com a finalidade de adequar os valores deste parâmetro, de acordo com o comportamento dos maciços em campo, visto que os primeiros valores se apresentaram elevados.

Os documentos cartográficos gerados foram: mapas de documentação I e II, mapa geológico, mapa de feições dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos, carta das encostas com suas declividades e cartas de zoneamento para cada sistema de classificação geomecânica.

PALAVRAS CHAVES: descontinuidades, classificações geomecânicas, índice de correção, Ouro Preto (MG), mapeamento geotécnico.

ABSTRACT

Zenóbio, A. A. . *Avaliação Geológica-Geotécnica de Encostas Naturais Rochosas por meio de Classificações Geomecânicas: Área Urbana de Ouro Preto (M.G.) Escala 1:5.000.* São Carlos, 1999. 1v. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The main objective at this work is to develop a study at characterization of rock masses in natural slopes, in agreement with lifting and analysis of the principal discontinuities present in the urban area of Ouro Preto - M.G..

That work to make use of geomechanics classifications as tools to engineering geological mapping with generation of the cartographical documents at scale 1:5,000 at area of approximate 2,88 km², that area cover part of Serra de Ouro Preto and historical center.

The systems of geomechanic classifications, Sistem RMR (BIENIAWSKI, 1989), Sistem Q (BARTON et al., 1974) e Sistem SMR (ROMANA, 1985) used in research expression the rock mass behavior, that associate cartographical documents general with base to making zoning chart. As auxiliary tool was propose a correction index for R.Q.D. ("*Rock Quality Designation*") with aim of adapt the value that R.Q.D. in agreement with behavior at rock mass in field proper the first value presents upper.

The cartographical documents produced were: documentation maps I and II, geological map, mass movements and related processes scars map, declivity chart and zoning chart for the geomechanics classifications systems.

KEYWORDS: discontinuities, geomechanics classification, correction index, Ouro Preto (MG), engineering geological mapping.

INTRODUÇÃO

Os estudos a respeito dos movimentos de massa gravitacionais vêm sendo realizados, há vários anos, por diversos pesquisadores dentro da área de geotecnia, geomorfologia e águas. Estes estudos visam entender atributos que levam a um melhor entendimento sobre as principais características desses movimentos e mecanismos que condicionam cada tipo.

A ocupação desordenada de encostas naturais, em centros urbanos, tem gerado graves problemas, originados principalmente pela desconsideração dos fatores do meio físico. As regiões acidentadas, com encostas íngremes, condições pluviométricas intensas e natureza do meio físico predisponentes, são fatores favoráveis aos movimentos de massa gravitacionais.

Quando, nestas encostas, os materiais rochosos estão aflorando, tem-se utilizado diversas técnicas para a escolha de áreas adequadas para a construção de moradias e outras obras afins. Uma dessas técnicas, utilizada no estudo da instabilidade de encostas, com predomínio de afloramentos rochosos, é a avaliação das características do maciço rochoso através das classificações geomecânicas. A caracterização de um maciço rochoso requer um conhecimento de seus elementos intrínsecos, principalmente de suas descontinuidades e variabilidade litológica.

Em função desses aspectos, este trabalho teve como principal objetivo desenvolver um estudo de caracterização dos maciços rochosos na escala 1:5.000, via levantamento e análises das principais descontinuidades, em uma área de aproximadamente 2,88 km², localizada no sítio urbano da cidade de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais.

Buscou-se, por meio de aplicação de classificações geomecânicas, como ferramenta para o mapeamento geotécnico, a geração de documentos cartográficos que representassem o comportamento dos maciços rochosos mapeados na área em estudo.

O trabalho foi executado em três fases. A primeira fase consistiu da realização da revisão bibliográfica, em que foram abordados os aspectos referentes aos movimentos de massa gravitacionais, levantamento das discontinuidades, sistemas de classificações geomecânicas e aplicações destes no mapeamento geotécnico. Ainda na primeira fase, foi escolhida a metodologia utilizada na pesquisa, a seleção da área, fotointerpretação e geração dos mapas topográficos nas escalas 1:2.000 e 1:5.000.

Na segunda fase, foram realizados os levantamentos geológico-geotécnicos necessários para as análises das discontinuidades e geração de documentos cartográficos que seriam a base para as cartas de zoneamento, tais como mapas de documentação I e II, mapa geológico, mapa de feições dos movimentos gravitacionais de massa e carta de encostas com suas declividades. Mas, com o andamento dos trabalhos, observou-se que demandaria de um tempo bem maior do que o estipulado para finalizar os trabalhos de campo. Com isso, optou-se por realizar o levantamento das características geológico-geotécnicas na faixa leste da área.

Numa terceira fase, foram analisados todos os resultados obtidos, via classificações geomecânicas, onde foi proposto um índice de correção para o parâmetro R.Q.D. (*“Rock Quality Designation”*), devido aos altos valores deste com relação às rochas mapeadas na área. Após a adoção desse índice, foram feitas as correções necessárias e geradas as cartas de zoneamento, para que estas pudessem ser utilizadas posteriormente por órgãos de pesquisa, instituições acadêmicas e outros profissionais da área..

1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 - INTRODUÇÃO:

A presente revisão bibliográfica visa apresentar aspectos relativos aos movimentos de massa gravitacionais (fatores condicionantes e tipos), as discontinuidades presentes em um maciço rochoso, abordar algumas classificações geomecânicas existentes na literatura, e o uso destas para a elaboração de uma carta de zoneamento de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais, condicionados pelas discontinuidades dos maciços rochosos.

1.2 - MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS:

Movimentos de massa gravitacionais e outros fenômenos correlatos, em regiões montanhosas, fazem parte de um processo natural de degradação do meio físico e alteração do relevo. Quando esse processo natural interfere nas atividades do homem, essa situação pode significar uma série de problemas. Há que se lembrar, ainda, que a própria atividade antrópica muitas vezes intervém e acelera a alteração natural do meio ambiente (BONUCELLI, 1995).

Segundo HUTCHINSON (1968) apud SOUZA (1996), os movimentos de massa gravitacionais são aqueles induzidos pela aceleração da gravidade, genericamente chamados de escorregamento. Os movimentos de massa têm sido estudados intensamente pela sua importância como agente atuante na evolução das formas de relevo. Para GUIDICINI & NIEBLE (1984), os movimentos de massa gravitacionais (solos e rochas) são os motivos de vários estudos em diversos países e por diferentes profissionais (engenheiros civis, geólogos, geógrafos, entre outros). Esses grupos de profissionais nem sempre apresentam os mesmos objetivos de pesquisa, já que determinados trabalhos não são realizados, apenas, com o intuito de se conhecer a evolução das formas de relevo com os seus agentes atuantes, mas sim a implicação prática que esta evolução e seus agentes podem causar do ponto de vista econômico.

O processo de urbanização no Brasil tem ocorrido, na grande maioria dos casos, de modo inadequado no que se refere a ocupação do meio físico, gerando com isso deteriorações e solicitações ambientais incompatíveis com as atividades de moradia, produção, lazer (ZUQUETTE, 1987).

No Brasil, em relação aos movimentos de massa gravitacionais em áreas urbanas, várias cidades apresentam um histórico de ocorrência de vítimas fatais e danos materiais. De acordo com CERRI (1993), no período de 1988 a 1992, ocorreram acidentes nos seguintes estados: São Paulo (Cubatão, Ubatuba, Santos, Guarujá, São Vicente, Campinas), Rio de Janeiro (Petrópolis, Rio de Janeiro, Teresópolis) e Minas Gerais (Belo Horizonte, Contagem, Ouro Preto).

O mais recente, que ocorreu na cidade de Ouro Preto, foi nos primeiros dias de 1997, no Bairro da Piedade, na noite de 4 de janeiro, em consequência das fortes chuvas que atingiram a cidade. Um movimento catastrófico, envolvendo um volume aproximado de 1200 m³ de material, atingiu duas residências matando 12 pessoas.

O movimento ocorrido foi do tipo complexo, e imprimiu uma cicatriz de, aproximadamente, 60 metros de extensão na encosta. O volume de material era constituído por blocos de itabirito friável, blocos de canga e material inconsolidado que se deslocaram, atingindo duas residências que se encontravam praticamente no vale por onde deslocaram os blocos.

Existem diversos trabalhos de cartografia geotécnica realizados desde a década de 80, na cidade de Ouro Preto e, mesmo assim, ainda ocorrem tragédias como esta, principalmente na época de chuvas intensas. Dentre os trabalhos, pode-se citar CARVALHO (1982), SOBREIRA (1990), SOBREIRA et al., (1990), SOUZA (1996), SOUZA & ZUQUETTE (1997), BONUCCELLI (1999) e outros em andamento.

Nos próximos tópicos deste capítulo serão considerados aspectos relacionados aos fatores condicionantes dos movimentos de massa gravitacionais e os tipos de movimentos, abordando as classificações de VARNES (1978) e HUTCHINSON (1988). Nesta dissertação, foram analisados, principalmente, os seguintes fatores condicionantes dos movimentos: aspectos geológicos, geomorfológicos e ação antrópica. E em termos dos tipos de movimentos de massa gravitacionais, foram avaliados os ocorridos em rochas na área estudada. Dentre eles pode-se citar: escorregamentos, queda de blocos e movimentos complexos.

1.2.1 - FATORES CONDICIONANTES:

Segundo VARNES (1978), os movimentos de massa gravitacionais apresentam, em geral, uma série contínua de causas e efeitos. Dificilmente, uma movimentação de massa gravitacional ocorre devido a um único e determinado fator. O autor ainda afirma que, em muitos casos, a causa principal é difícil de ser removida, sendo mais econômico aliviar os efeitos através de intervenções periódicas.

GUIDICINI & NIEBLE (1984) diferenciam os termos agentes e causas, subdividindo-os da seguinte maneira: os agentes em predisponentes e efetivos; as causas em internas, intermediárias e externas. Sendo que os agentes predisponentes se referem às condições geológicas, geometria e ambientais. Exemplos: geológico, geomorfológico e pluviométrico.

Já os agentes efetivos se referem aos elementos diretamente responsáveis pelo início do processo do movimento de massa gravitacional, incluindo as ações humanas.

As causas internas são aquelas que podem levar ao colapso, sem que se verifique qualquer alteração nas condições geométricas do talude, sendo resultado da diminuição da resistência do material.

As causas intermediárias são aquelas resultantes de efeitos provocados por agentes externos no interior do talude. Já as causas externas se referem àquelas que provocam o aumento das tensões de cisalhamento, sem que ocorra uma variação na resistência do material.

AUGUSTO FILHO (1994) afirma que as causas, ou fatores influentes nos movimentos de massa gravitacionais, devem ser bem entendidos, para que acontecimentos similares possam ser previstos, controlados e evitados. E que os escorregamentos ocorrem sob a influência de fatores geológicos, topográficos e climáticos específicos que se repetem em várias regiões do planeta.

BRAND (1992) propõe que a realização de análises de instabilização de encostas, em áreas tropicais, deve seguir quatro métodos básicos: a correlação entre ruptura da encosta e o padrão de chuva; a avaliação do terreno, principalmente com base no mapeamento geomorfológico; o enfoque semi-empírico baseado em um exame da geomorfologia e geologia das encostas estáveis/instáveis e os métodos analíticos.

Nos próximos tópicos serão abordadas algumas formas de atuação dos principais fatores no comportamento dos movimentos de massa.

A - GEOLÓGICO:

As diferenças nos tipos litológicos, a posição estratigráfica, estado de alteração e características estruturais que compõe uma encosta podem, ou não, predispor-la a movimentos de massa gravitacionais. A influência destes fatores na resistência ao cisalhamento, permeabilidade e deformabilidade do maciço rochoso, ou terroso, é fato conhecido, mas precisar como a ação individual ou em conjunto influencia os movimentos de massa ainda requer diversos estudos.

Segundo BONUCCELLI (1995) a importância da compartimentação de um maciço rochoso é evidenciada pela influência que a posição espacial, forma das discontinuidades e material de preenchimento exercem na estabilidade geral desse maciço e, para isso, foram desenvolvidas as classificações geomecânicas.

Para PATTON & DEERE (1971) apud GUIDICINI & NIEBLE (1984), detalhes geológicos aparentemente pouco significativos podem ter efeitos sobre a distribuição de pressões de água nas discontinuidades e, por conseqüência, sobre a estabilidade das encostas. Diferenças na avaliação da estanqueidade de uma discontinuidade pode alterar o valor do coeficiente de segurança, onde irá influir na situação de instabilidade (Figura 1.1).

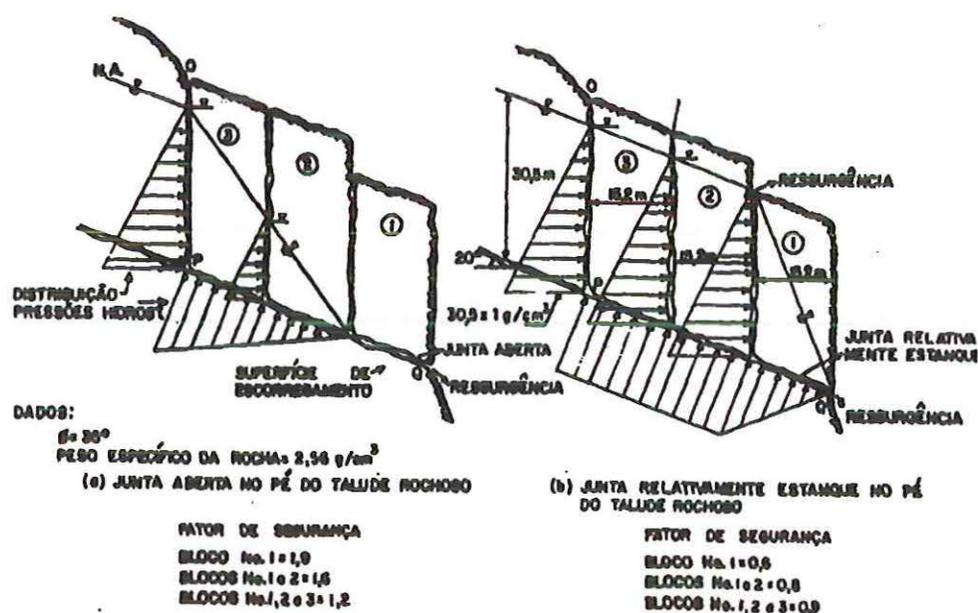


FIGURA 1.1 - Influência das discontinuidades na segurança de encostas apud GUIDICINI & NIEBLE (1984).

WOLLE (1980) afirma que, em grandes zonas de falhamentos as formas de relevo podem se tornar abruptas, ocasionando processos de instabilizações. GUIDICINI & NIEBLE (1984) afirmam que o efeito do intemperismo no solo é diferente daquele que ocorre em material rochoso, frente às conseqüências de movimentos de massa gravitacionais. Em solo pode ocorrer um adensamento que vai aumentar sua resistência, no caso da laterização.

No caso das rochas, a alteração avança produzindo uma diminuição nos parâmetros de resistência e, por conseqüência, do fator de segurança. Taludes em solos saprolíticos comportam-se, muitas vezes, mais como um maciço rochoso (descontínuo) do que como um terroso (contínuo), já que estes herdam as estruturas da rocha matriz.

AUGUSTO FILHO (1994) enfatiza que no Brasil, devido ao intenso processo de intemperismo resultante do clima tropical, a espessura de materiais inconsolidados e alterados é geralmente muito elevada, e portanto, a elaboração de mapas com caracterização dos materiais inconsolidados é de fundamental importância na análise dos movimentos de massa.

B - GEOMORFOLÓGICO:

Para BONUCCELLI (1995), quando se pretende avaliar as condições de segurança das encostas, a inclinação e forma das mesmas, seja ela natural ou modificada (cortes, aterros ou retaludamentos), é de fundamental importância. Em termos regionais, os condicionantes litológicos e estruturais se mantêm razoavelmente constantes, onde pode-se estabelecer, para cada situação hidrológica, uma relação entre níveis de segurança e altura/inclinação dos taludes.

Segundo WOLLE (1980), o conhecimento da evolução geomorfológica, de uma ou de um conjunto de encostas, é fundamental para se entenda os processos de instabilização que nelas ocorreram, e que poderão vir a acontecer.

SIDLE et al. (1985) apud BONUCCELLI (1995) afirmam que é difícil de se estabelecer valores de limites inferiores para encostas instáveis, devido a influência de fatores como a geologia, clima e outros. Os autores relatam que, em taludes com ângulos maiores que 25°, podem ocorrer escorregamentos. Já para encostas que apresentam inclinações menores que 25° podem ocorrer escoamentos.

De acordo com JENNINGS (1971) apud CHAPADEIRO (1995), a orientação das discontinuidades é o fator mais importante, principalmente em maciços rochosos, nos quais as superfícies de ruptura são condicionadas pelas estruturas geológicas e geomorfológicas

presentes nos maciços. A posição relativa da descontinuidade, considerando o plano do talude, possibilita, ou não, a ocorrência de ruptura, havendo situações em que esta é cinematicamente impossível, ou no mínimo, bastante improvável.

C – REGIME PLUVIOMÉTRICO:

GUIDICINI & NIEBLE (1984) afirmam que oscilações térmicas diárias, ou sazonais, originam variações volumétricas que podem promover o destacamento (quedas e tombamentos) de blocos rochosos (a variação térmica diurna pode influenciar no processo de rastejo-creep, escoamentos lentos).

A influência das chuvas nos movimentos de massa, como fator predisponente ou deflagrador, é amplamente conhecida. A ação das precipitações pode ser assim explicada: alteração dos parâmetros de resistência do substrato, aumento da sollicitação externa (aumento do peso específico) e, com o avanço da frente de saturação no maciço, ocorre o desenvolvimento de pressões neutras nos solos, subpressões nas descontinuidades rochosas e forças de percolação (BONUCCELLI, 1995).

Os movimentos de massa em rocha, que são condicionados por descontinuidades, são mais susceptíveis a chuvas de alta intensidade e curta duração, e menos afetados por chuvas acumuladas nos dias anteriores ao evento. Segundo BRAND (1995), em áreas de climas tropicais, um dos grandes responsáveis pela instabilidade de encostas são as condições climáticas.

D - COBERTURA VEGETAL:

As coberturas vegetais desempenham um papel de proteção nas encostas, sendo que o seu desmatamento provoca o aparecimento de erosões, movimentos de massa e processos correlatos.

De acordo com GUIDICINI & NIEBLE (1984) e AUGUSTO FILHO (1994), a atuação da cobertura vegetal sobre os terrenos íngremes ocorre através da redução da intensidade dos agentes climáticos no maciço natural, detritos vegetais em contínua acumulação na superfície do terreno e o sistema radicular.

A redução da intensidade dos agentes climáticos no maciço, devido a cobertura vegetal, é ocasionada pela interceptação da ação dos raios solares, ventos e chuvas. A

retenção substancial do volume de água nas partes aéreas (folhas, flores, galhos) e a eliminação da água retida na forma de vapor, evitam que esse volume se infiltre no terreno.

Já os detritos vegetais, em contínua acumulação na superfície dos terrenos, promovem a retenção e imobilização de parte da água que chega a superfície, e a contenção do escoamento superficial em condições de máxima pluviosidade.

No caso do sistema radicular, ele atua sobre os seguintes aspectos: estruturação do solo (aumentando sua resistência ao cisalhamento), a sucção de parcela da água e a criação de pressões neutras negativas.

Segundo GRAY & LEISER (1982), a cobertura vegetal provoca alguns efeitos desfavoráveis, que são: efeito alavanca (as árvores transmitem ao solo uma força cisalhante, quando são atingidas por ventos); efeito cunha (as raízes que penetram nas fendas e fissuras de solos e rochas causam um aumento de pressão); sobrecarga vertical (provocada pelo peso das árvores, que pode ter um efeito benéfico, ou não, na estabilidade, devido a inclinação do terreno).

E - AÇÃO ANTRÓPICA:

Segundo AUGUSTO FILHO (1994), atualmente, o homem é o maior agente modificador da dinâmica das encostas. As diversas formas de ocupação do solo, em áreas suscetíveis a movimentos de massa gravitacionais, aceleram e ampliam os processos de instabilização.

As principais ações antrópicas indutoras dos movimentos de massa gravitacionais são: remoção da cobertura vegetal; modificações nos padrões de drenagem, devido ao despejo de lixo; construção de moradias em calhas naturais; cortes com geometria desfavorável; recursos para acúmulo de águas em superfície; ocorrência de situações que promovem o aumento de infiltração de água nas encostas, devido ao lançamento e concentração de águas pluviais (deficiências ou ausência de sistema de drenagem superficial); lançamento de águas servidas, por ausência de sistema de esgoto sanitário; vazamentos na rede de abastecimento de água (Figura 1.2) e presença de fossas sépticas em encostas íngremes.

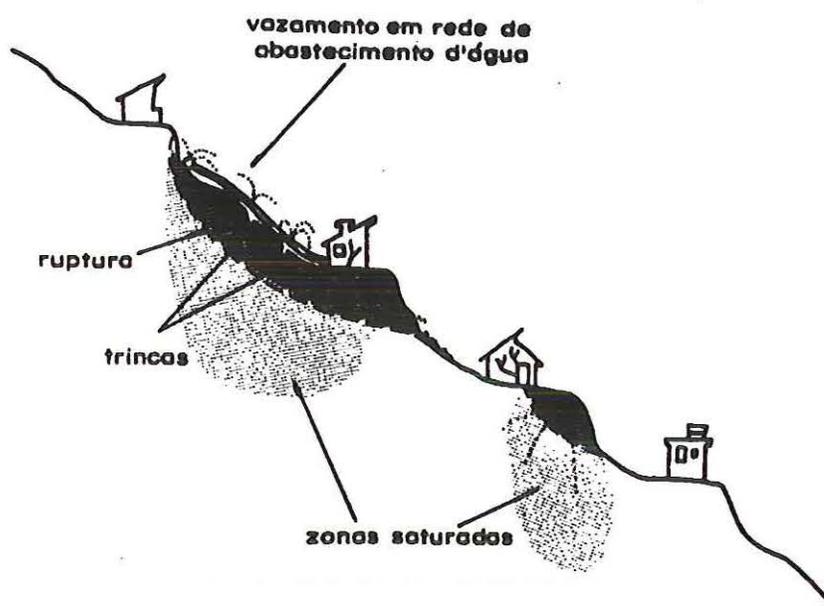


FIGURA 1.2 - Vazamentos no sistema improvisado de águas de abastecimento IPT (1991)

Uma outra ação antrópica desencadeadora dos movimentos de massa é a construção de aterros em locais impróprios como: drenagens naturais, ou geralmente, sem qualquer compactação e com a utilização de lixos e entulhos (Figura 1.3), cortes inadequados no solo superficial realizados para a abertura de ruas e construção de residências, onde muitas vezes são feitos com altura e inclinações inadequadas.

1.3 - TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA:

O problema de instabilidade de encostas está distribuído por todo o mundo. No Brasil, os processos de instabilização constituem-se numa das principais fontes de risco geológico-geotécnico, atingindo, com especial gravidade, a parcela da população que habita favelas implantadas em encostas.

Os sistemas de classificação e descrição dos tipos de movimentos de massa gravitacionais constituem-se em importante base, porque auxiliam na definição e estruturação do campo de estudo. Facilitam, também, na troca de idéias entre pesquisadores de diferentes países, e até entre diferentes áreas do conhecimento, e estabelecem uma terminologia clara e consensual.

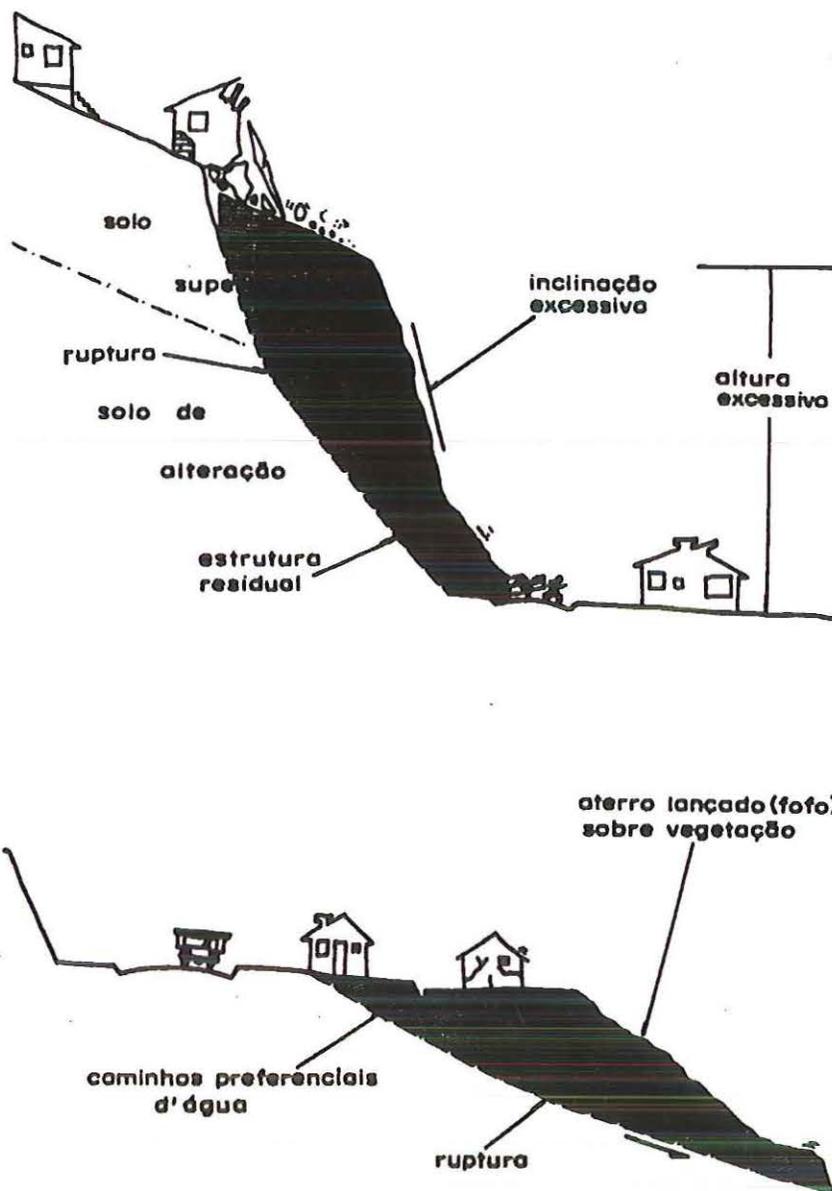


FIGURA 1.3 - Execução de cortes e aterros inadequados, IPT (1991).

Entre os mais diferentes tipos de classificações existentes pode-se citar os trabalhos de SHARPE (1938), TERZAGHI (1950), FREIRE (1965), SKEMPTON & HUTCHINSON (1969) apud GUIDICINI & NIEBLE (1984), VARNES (1978) e HUTCHISON (1988) entre outros.

Segundo CARVALHO (1997), em relação aos maciços naturais, é antiga a preocupação dos engenheiros geotécnicos em classificar os fenômenos de instabilização. Por outro lado, os maciços artificiais urbanos não foram objeto do mesmo interesse, apesar de representarem, atualmente, uma parcela importante das situações de perigo que atingem nossas cidades.

Nesse mesmo trabalho, o autor descreve e sintetiza os aspectos principais dos processos de escorregamento e erosão, que ocorrem para a instabilização dos maciços artificiais urbanos. No caso dos escorregamentos, descreve os que acontecem em aterros comuns, aterros sanitários e em depósitos artificiais de encosta.

Neste tópico, serão abordados dois tipos de classificação de movimentos de massa, bastante citados na literatura, de VARNES (1978) e de HUTCHINSON (1988), abrangendo praticamente todos os tipos.

1.3.1 - CLASSIFICAÇÃO DE VARNES (1978):

VARNES (1978) propôs uma classificação para os tipos de movimentos de massa gravitacionais, que se baseia na publicação de 1958, em inúmeras referências bibliográficas e em exemplos de vários locais.

Nesse trabalho, a terminologia utilizada pelo autor, para designar os materiais inconsolidados, são detritos e solos ("*debris*" e "*earth*"), advindos do conceito de solo da engenharia. Os detritos ("*debris*") se referem a um solo mais grosseiro, com 80% das partículas maiores que 2 mm, e os solos finos ("*earth*"), com 80% das partículas menores que 2mm.

Os tipos de processos apresentados pelo autor são os seguintes: quedas ("*falls*"), tombamento ("*topples*"), deslizamentos ("*slides*"), espalhamento ou expansão lateral ("*lateral spread*"), escoamentos ("*flows*") e movimentos complexos, sumarizados na Tabela 1.1.

As quedas ("*falls*") ocorrem quando uma massa de material, com qualquer tamanho, destaca-se de um talude íngreme, ou escarpa, ao longo de uma superfície com pouco, ou nenhuma, ocorrência de cisalhamento. A movimentação é muito rápida, com velocidades entre (0,3 - 30 m/s), podendo ter, ou não, pequenos movimentos anteriores à ruptura.

No caso de queda de rochas ("*rock fall*"), o movimento se dá quando uma massa é destacada recentemente da área do maciço (Figura 1.4). Já a queda de detritos, ("*debris fall*") geralmente, precede à ruptura.

TABELA 1.1 - Classificação dos movimentos de massa gravitacionais, proposta por VARNES (1978).

TIPO DE MOVIMENTO			TIPO DE MATERIAL		
			ROCHA	SOLO (ENGENHARIA)	
				Grossoiro	Fino
QUEDAS			de rocha	de detritos	de terra
TOMBAMENTOS			de rocha	de detritos	de terra
ESCORREGAMENTOS	ROTACIONAL	poucas unidades	abatimento de rocha	abatimento de detritos	abatimento de terra
	TRANSLACIONAL	unidades	de blocos rochosos	de blocos de detritos	de blocos de terra
		muitas unidades	de rocha	de detritos	de terra
EXPANSÕES LATERAIS			de rocha	de detritos	de terra
ESCOAMENTOS			de rocha (rastejo prof.)	de detritos (rastejo de solo)	de terra
COMPLEXOS: Combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimentos					

ROCK FALL, extremely rapid

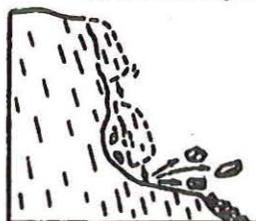


FIGURA 1.4 - Queda de material rochoso apud VARNES (1978).

Segundo SOUZA (1996), o tombamento (*"topples"*) é o movimento de rotação de uma ou mais unidades, em torno de um ponto situado abaixo das mesmas, sob a ação da gravidade e forças externas aplicadas através das unidades adjacentes, ou por fluídos presentes nas descontinuidades.

O movimento de tombamento pode, ou não, culminar queda ou deslizamento, e irá depender da geometria do maciço, da orientação e extensão das descontinuidades (Figura 1.5). Este movimento pode ocorrer em vários tipos de rochas, solos grossos (*"debris"*) ou finos, podendo movimentar desde algumas centenas até a milhares de metros cúbicos de material.

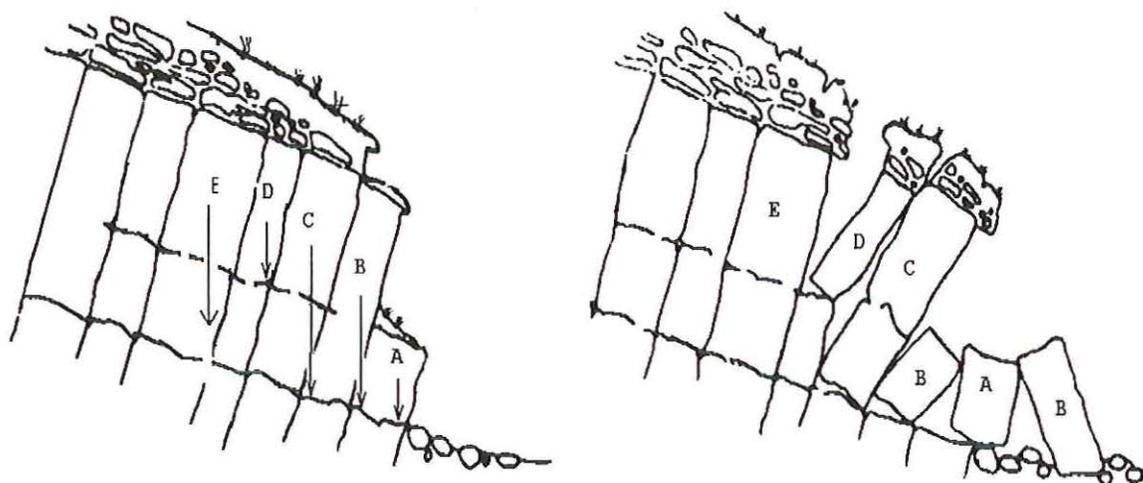


FIGURA 1.5 - Tombamento de rochas, VARNES (1978).

Os escorregamentos (“*slides*”) são definidos, pelo autor, como sendo os movimentos ao longo da encosta, e podem ocorrer através das deformações cisalhantes e deslocamentos ao longo, de uma ou várias superfícies facilmente observáveis (ou inferidas facilmente), ou ainda dentro de uma zona estreita que pode ser bem definida.

Os escorregamentos foram subdivididos em dois tipos: rotacionais e translacionais (ou planar). Nos rotacionais, o material movimentado não é muito deformado e é composto de uma ou poucas unidades. Os exemplos mais comuns da ocorrência de escorregamentos rotacionais, ao longo de uma superfície de ruptura, são a ocorrência de pequenas fraturas (“*slumps*”) ao longo dos deslizamentos internos da superfície.

As fissuras que aparecem nas pequenas deformações são concêntricas e côncavas na direção do movimento, e a superfície de ruptura subjacente junto às escarpas expostas configuram-se na forma de “colher” (Figura 1.6a).

No caso de escorregamentos mais extensos, o autor enfatiza que, se o escorregamento estender-se a uma distância considerável ao longo do comprimento da encosta, e este encontrar-se perpendicular à direção do movimento, a superfície de ruptura se assemelha a um setor de cilindro, cujo eixo é paralelo ao talude, onde a rotação ocorre em torno de um eixo paralelo ao talude (Figura 1.6b).

Segundo BONUCCELLI (1995), embora a superfície de ruptura apresentar a concavidade voltada para cima, ela não é uniformemente circular. Ela é frequentemente influenciada por falhas, juntas, foliações ou outras descontinuidades pré-existentes.

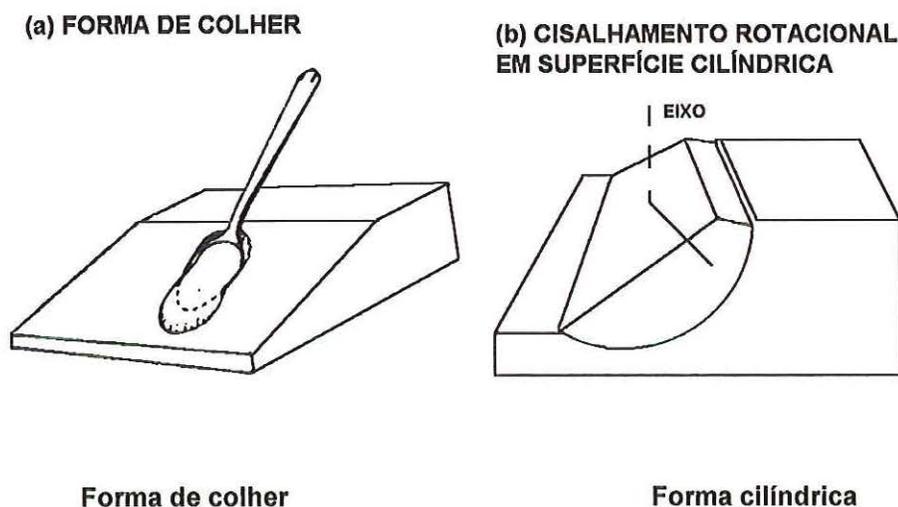


FIGURA 1.6 - Feições de escorregamentos em material uniforme apud VARNES (1978).

Os escorregamentos translacionais (ou planar) ocorrem quando a massa se movimenta sobre uma superfície mais ou menos plana, apresentando um pequeno movimento rotatório. Esses movimentos são geralmente condicionados por superfícies de fraqueza, originadas de descontinuidades (fraturas, falhas e foliações) e do contato entre o substrato rochoso e o material subjacente (Figura 1.7).

No caso do escorregamento rotacional, a geometria tende a reequilibrar a massa instável na altura do pé do talude, já que a superfície de deslizamento mergulha para dentro do talude; no escorregamento translacional, o reequilíbrio só ocorre quando as forças atuantes diminuem relativamente às resistentes.

O espalhamento, ou expansão lateral (*"lateral spread"*), é o material resultante de fraturas por cisalhamento, ou tração, onde se podem distinguir dois tipos: os movimentos distribuídos e os que envolvem fraturamento e expansão lateral de materiais coesos (Figura 1.8).

Os movimentos distribuídos são resultados da expansão lateral externa, mas sem o reconhecimento ou controle definido da superfície de cisalhamento basal, ou da zona de fluxo plástico. Já os movimentos que envolvem fraturamento e expansão lateral de materiais coesos (rochas, detritos e solos finos) são originados da liquefação ou do fluxo plástico do material subjacente.

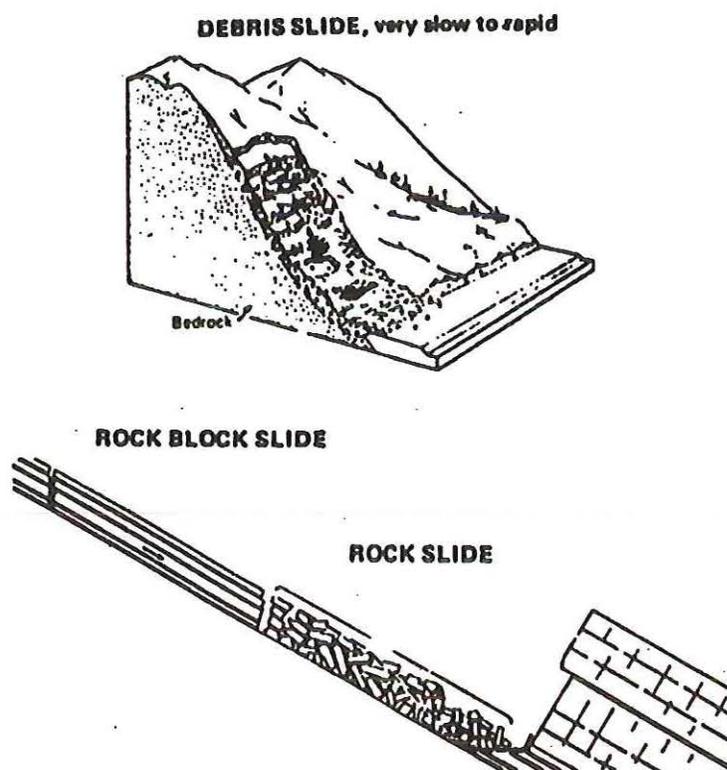


FIGURA 1.7 - Escorregamentos translacionais (VARNES, 1978).

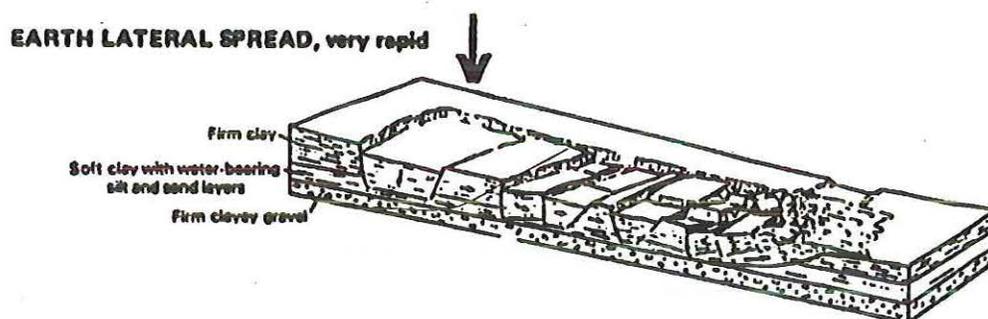


FIGURA 1.8 - Espalhamentos laterais apud VARNES (1978).

Os escoamentos (*"flows"*) são deformações, ou movimentos contínuos, com a superfície de ruptura definida, ou não, e esses escoamentos podem ser rápidos ou lentos, úmidos ou secos. Ocorrem na rocha, onde o movimento é extremamente lento, resultando em dobramentos e outras feições de comportamento plástico.

Em materiais inconsolidados, onde os movimentos são mais facilmente reconhecidos do que aqueles que ocorrem em rochas, os deslocamentos relativos na massa de solo são maiores e sua aparência assemelha a um fluxo de fluídos.

A superfície de deslizamento não é visível, porque os limites entre a massa de material que se move e o material que permanece é apenas uma estreita superfície de movimentos diferenciais.

Para BONUCCELLI (1995), a diferenciação entre escorregamentos e escoamentos e escorregamentos e avalanches não é simples pois, ocorre uma mudança gradativa de um tipo para outro, função do teor de umidade, mobilidade e caráter do movimento.

Os movimentos de massa complexos são a combinação de um, ou vários, dos principais tipos de movimentos descritos anteriormente, sendo que, cada um, dentro de alguma parte do talude em movimento é mais comum do que qualquer um deles isoladamente.

1.3.2 - CLASSIFICAÇÃO DE HUTCHINSON (1988):

Essa classificação tem como base os trabalhos de HUTCHINSON (1968), HUTCHINSON & SKEMPTON (1969) e VARNES (1978). O autor prioriza a morfologia dos movimentos de massas gravitacionais e considera os mecanismos, materiais envolvidos e proporção dos movimentos.

Ela se aplica aos movimentos de massas gravitacionais subaéreos que acontecem em taludes naturais ou artificiais. A escala utilizada para esses movimentos é a proposta por VARNES (1978), que possui uma variação entre 0,3 a 30 m/s.

Os tipos de processos apresentados pelo autor são os seguintes: recuo (*"rebound"*), rastejo (*"creep"*), fraturamento de taludes de montanhas (*"sagging of mountain slopes"*), escorregamentos (*"landslides"*), movimentos de detritos em forma de fluxo (*"debris movements of flow-like form"*), tombamentos (*"topples"*), quedas (*"falls"*) e movimentos complexos de taludes (*"complex slope movements"*), sumarizados na Tabela 1.2.

O recuo (*"rebound"*) é um movimento que ocorre quando o terreno não é resistente, seja artificialmente pela escavação ou naturalmente pela erosão.

O rastejo (*"creep"*) são movimentos extremamente lentos, difíceis de serem observados, exceto através de medições por um longo período de tempo. Eles podem ser superficiais, contínuos, profundamente assentados, de massa, de pré e pós-ruptura.

O movimento do tipo rastejo superficial pode ocorrer em solos, tálus e regiões onde o clima é próprio para o congelamento e descongelamento. Ele é sazonal, e acha-se confinado às

camadas da superfície do solo que sofrem mudanças através da temperatura e volume da água. Já os movimentos contínuos, profundamente assentados e de massa, ocorrem abaixo do limite do rastejo superficial, possuindo uma pressão constante e presente abaixo da resistência do material envolvido.

TABELA 1.2 - Classificação dos movimentos de massas subaérea modificada de HUTCHINSON (1988).

Tipos de Movimentos Fundamentais	Principais Tipos de Ocorrências
Recuo (“Rebound”)	<ul style="list-style-type: none"> ● Escavações Artificias ● Vales Naturalmente Erodidos
Rastejo	<ul style="list-style-type: none"> ● Superfície Sazonal e do Manto ● Contínuo, Profundamente Assentado e de Massa ● Pré-Ruptura e Progressivo ● Pós-Ruptura
Fraturamento nos Taludes de Montanhas (“Sagging of Mountain Slopes”)	<ul style="list-style-type: none"> ● Unilateral ● Bilateral ● Tombamento
Escorregamentos (“Landslides”)	<ul style="list-style-type: none"> ● Fraturas Confinadas ● Rotacionais ● Compostos ● Translacionais
Movimento de Detritos em Forma de Fluxo (“Debris Mov. Of Flow-Like Form”)	
Tombamentos (“Topples”)	
Quedas (“Falls”)	<ul style="list-style-type: none"> ● Primárias ● Secundárias
Movimentos Complexos de Taludes (“Complex Slope Moviments”)	

O rastejo de pré-ruptura é uma forma acelerante que antecede a fratura total do cisalhamento. O pós-ruptura envolve pequenas reincidências de fraturas em uma superfície de deslizamento preexistente.

O fraturamento nos taludes de montanhas (*"sagging of mountain slopes"*) formam uma variedade de escarpas e fossas tectônicas, e podem ser do tipo unilateral (associada a estágios intermediários entre rastejos e escorregamentos), bilateral (ocorre associado a estágios iniciais de escorregamentos duplos) e associado a tombamento múltiplos (combinados com escorregamentos).

Segundo o autor, os escorregamentos (*"landslides"*) são movimentos rápidos de solos e rochas que ocorrem em, uma ou mais, superfícies de deslizamentos limitadas e distintas. Neste tipo de escorregamento é possível o desenvolvimento de fraturas confinadas, escorregamentos rotacionais (geralmente presentes em taludes que consistem em um depósito de material grosseiro), escorregamentos compostos (ocorrem entre rupturas translacionais e rotacionais) e escorregamentos translacionais (ocorrem basicamente rupturas por cisalhamento).

Nos movimentos de detritos na forma de fluxo (*"debris movements of flow-like form"*), o principal fator é a morfologia, e os tipos de movimentos relacionados a eles foram classificados da seguinte maneira: escorregamentos de lama e lama periglacial (gelifluxão de argilas), escorregamentos em fluxo (solos sem coesão e rochas com alta porosidade) e fluxos de detritos úmidos e secos.

Os tombamentos (*"topples"*) são condicionados por descontinuidades pré-existentes, ou podem ocorrer devido a liberação de blocos fraturados por tensões de tração que aparecem no material intacto, sendo divididos em únicos e múltiplos.

As quedas são movimentos rápidos, compostos por solos e rochas de qualquer tamanho. São divididas em dois tipos: primária, quando ocorre deslocamento recente do material, e secundária, abrangendo porções fisicamente destacadas da encosta.

Por fim, os movimentos complexos de taludes (*"complex slope movements"*), que são a combinação de dois ou mais tipos de movimentos descritos acima. Como exemplo deste tipo de movimento, tem-se o arqueamento de vales, movimentos de taludes tipo bloco, penhascos de argilas abandonados e escorregamentos causados por erosão.

1.4 - DESCONTINUIDADES:

1.4.1 - ASPECTOS GERAIS:

Primeiramente, foram descritos aspectos referentes aos fatores que condicionam os movimentos de massa gravitacionais, podendo observar que, dentre estes fatores, o geológico

está diretamente relacionado aos outros, principalmente no que diz respeito às descontinuidades presentes no maciço rochoso.

A maioria dos maciços rochosos, em particular aqueles até uma profundidade de algumas centenas de metros da superfície, comportam-se como descontínuos, cujas descontinuidades, principalmente, determinam o comportamento mecânico desses meios. É por isso, essencial que a estrutura e a natureza das descontinuidades do maciço rochoso sejam descritas, em adição à descrição litológica do tipo de rocha (ISRM - “International Society for Rock Mechanics”, 1978).

Esses parâmetros, utilizados em alguns tipos de análises de estabilidade, devem ser quantificados sempre que possível. Por exemplo, no caso da estabilidade de um talude em rocha, certas descrições quantitativas podem ser usadas diretamente em uma análise preliminar. A orientação, persistência, pressão d’água na junta e resistência ao cisalhamento de descontinuidades críticas serão dados essenciais para uso em análises.

Na fase de investigação preliminar, os últimos dois parâmetros podem ser provavelmente estimados com aceitável precisão, a partir de uma cuidadosa descrição da natureza dessas descontinuidades. Feições como rugosidade, resistência das paredes, grau de intemperismo, tipo de material de preenchimento e sinais de percolação de água são dados indiretos importantes no caso da estabilidade de taludes.

No aspecto referente a obtenção (campo) e tratamento (escritório) de dados de descontinuidades em maciços rochosos, há bastante discussão e críticas sobre as metodologias utilizadas. A avalanche de informações sobre metodologias de obtenção e tratamento dos dados de caracterização de descontinuidades, que periodicamente atinge os profissionais com formação para este tipo de trabalho, tem originado procedimentos confusos e de baixo rendimento, no que diz respeito ao processo que origina determinado estudo que tem alguma relação com descontinuidades.

A partir do momento em que vão ser realizados os trabalhos de campo, deve-se predeterminar quais serão os principais parâmetros das descontinuidades do maciço a serem levantados. Este levantamento deve ser feito de maneira bem criteriosa, pois, se isto não ocorrer, o trabalho de tratamento destes dados pode gerar uma ruim caracterização do maciço, proporcionando problemas na hora de se realizar uma análise com relação aos movimentos de massa ou, até mesmo, da implantação de uma obra.

A ISRM (1978) propõe, em um manual, uma série de metodologias para a obtenção e tratamento destes dados, sendo que estas devem ser aplicadas de acordo com a área em

estudo. Alguns autores questionam essas metodologias, mostrando que é um ponto para maiores discussões e análises.

Segundo ABRAHÃO (1986), é necessário que se identifique o que realmente se quer dos sistemas de descontinuidades, antes de partir para classificações que requerem rugosidade, persistência, preenchimento, presença d'água, abertura, espaçamento, e assim por diante.

O autor ainda salienta que, em primeiro lugar, deve-se estabelecer como as fraturas do maciço serão solicitadas, o que é função do tipo de obra a ser construída e da posição espacial dos sistemas. Dessa forma, está estabelecendo, de imediato, que o que interessa é a modificação do campo de tensões naturais, que mantém o maciço rochoso através de suas fraturas nos diversos graus de equilíbrio encontrados na natureza.

CHAPADEIRO (1996) questiona, para caso de taludes rochosos em áreas urbanas, o caso de se fazer o levantamento dos parâmetros das descontinuidades ao longo de linhas de observação ("scanlines"), como é proposto pela ISRM (1978), pois, em algumas situações, observa-se a dificuldade de se realizar caminhamentos em direções pré-determinadas.

1.4.2 - DEFINIÇÃO E PARÂMETROS:

De acordo com a ISRM (1978), descontinuidade é o termo geral para qualquer descontinuidade mecânica do maciço rochoso e que tenha nenhuma, ou baixa, resistência à tração. É o termo coletivo para a maioria dos tipos de juntas, planos de acamamento mais fracos, planos de xistosidade mais fracos, zonas de fraqueza e falhas.

O levantamento dos parâmetros estruturais, que caracterizam a geometria das descontinuidades, é uma das tarefas mais complexas na aplicação de métodos para a caracterização de maciços rochosos. A correlação de dados obtidos sobre a geometria das descontinuidades (parâmetros do maciço), à realidade das aplicações na engenharia, exige o emprego de métodos próprios da estatística e da geologia estrutural (QUADROS, 1992).

WATTS & WEST (1986) afirmam que, tradicionalmente, todas as descontinuidades presentes em um maciço rochoso são tratadas igualmente. Na realidade, algumas descontinuidades possuem características físicas mais significantes do que outras, no estudo da estabilidade de taludes. Com isto, os autores acima citados, propuseram um índice (DSI - "Discontinuity Significance Index) para permitir a seleção entre as descontinuidades mapeadas, quais as mais importantes presentes em maciço rochoso, em termos de potenciais para a instabilidade do talude.

Com a finalidade de caracterizar as estruturas geológicas, do ponto de vista geomecânico, como parâmetros de entrada para as classificações geomecânicas, a ISRM (1978) selecionou dez parâmetros para a descrição das discontinuidades e dos maciços rochosos: orientação, espaçamento, persistência, rugosidade, resistência das paredes, abertura, preenchimento, percolação, número de famílias e tamanho dos blocos.

A - ORIENTAÇÃO:

A orientação é o posicionamento da discontinuidade no espaço, determinada pelo rumo do mergulho da linha de maior inclinação. A direção é medida no sentido horário, a partir do norte geográfico, e o mergulho a partir do plano horizontal até o plano da discontinuidade (ISRM, 1978). Para a obtenção das atitudes das famílias de juntas, utiliza-se a bússola como equipamento.

A orientação de discontinuidades é um fator importante que determina as condições de instabilidade do maciço e o desenvolvimento de deformações excessivas. A importância da orientação cresce quando outras condições para deformações estão presentes tais como; baixa resistência ao cisalhamento e um número suficiente de discontinuidades que possam ocasionar um escorregamento.

A posição das discontinuidades no maciço determina a geometria dos blocos unitários, que podem ser estáveis, ou instáveis, em relação à superfície de escavação (FIGUEIREDO, 1996).

B - ESPAÇAMENTO:

O espaçamento das discontinuidades é a distância perpendicular entre discontinuidades adjacentes de uma mesma família (Figura 1.9), que, aliado à persistência, condicionam o tamanho dos blocos individuais de uma rocha intacta (FIGUEIREDO, 1996).

Um intenso fraturamento, caracterizado por um pequeno espaçamento, confere ao maciço um comportamento mais próximo do comportamento dos materiais granulares, enquanto que para grandes espaçamentos tem-se, fundamentalmente, o efeito condicionante do tamanho dos blocos (ISRM, 1978). Esses efeitos estão relacionados com a persistência das discontinuidades.

O espaçamento das discontinuidades tem grande influência na permeabilidade do maciço e nas características de percolação. Geralmente, a condutividade hidráulica de um

sistema de descontinuidades é inversamente proporcional ao espaçamento, desde que as aberturas das mesmas sejam comparáveis.

Segundo STEFFEN & JENNINGS (1974) apud DIAS (1996), o espaçamento é considerado como um dos parâmetros de resistência mais importante na definição de fatores de segurança em taludes, sendo os outros dois a orientação e a persistência.

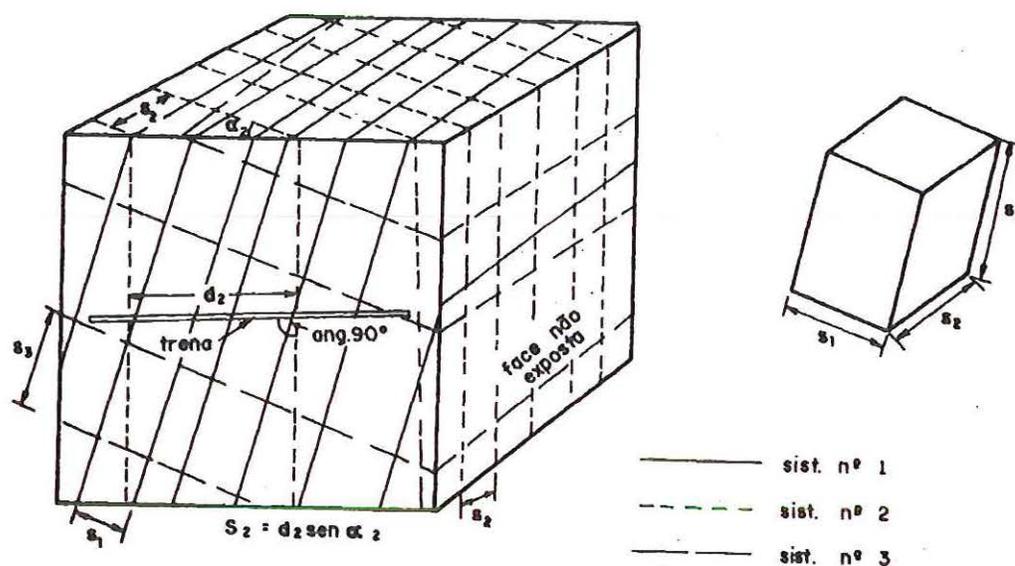


FIGURA 1.9 - Espaçamento de famílias de juntas em face de rocha (ISRM, 1978).

C - PERSISTÊNCIA:

A persistência é definida como a extensão do traço da descontinuidade ao longo do plano de exposição. É um dos parâmetros de maior importância para o conhecimento dos maciços rochosos, mas sua quantificação é uma das mais difíceis de se executar (ISRM, 1978).

As descontinuidades de um sistema particular vão ser, frequentemente, mais ou menos contínuas do que aquelas de outro sistema. O sistema de menor persistência tem sempre a tendência de terminar em feições primárias, ou podem terminar quando se encontra com rocha sã.

No caso de taludes, é de grande importância estimar-se o grau de persistência das descontinuidades, principalmente aquelas orientadas desfavoravelmente à estabilidade do

maciço. O grau de persistência das descontinuidades do maciço adjacente à estrutura determinará, em última análise, a probabilidade de envolvimento do maciço de rocha sã numa eventual ruptura (FIGUEIREDO, 1996).

Segundo FRANKLIN & DUSSEAULT (1989), um plano idealizado de uma junta apresenta três componentes: segmento de juntas (área sem coesão), ponte de rocha (área tão forte quanto a rocha intacta) e segmento frágil (área com a reduzida coesão). Sendo que, com esses conceitos, os autores definem persistência como a razão da soma das áreas de segmentos de juntas para a área total.

D - RUGOSIDADE:

A rugosidade das paredes de uma descontinuidade é uma característica importante na sua resistência ao cisalhamento, especialmente nos casos de junta não preenchida. A importância da rugosidade diminui a medida que a abertura, ou material de preenchimento, aumenta (ISRM, 1978).

A rugosidade das paredes de uma descontinuidade pode ser caracterizada através das ondulações de primeira e segunda ordem. Sendo que as ondulações de primeira ordem estão relacionadas com o fenômeno de dilatância durante o cisalhamento, enquanto que as ondulações de segunda ordem tendem a ser rompidas durante o processo de cisalhamento.

Em resumo, as ondulações de primeira e segunda ordem são, na realidade, rugosidades quando observadas numa escala maior (macro-rugosidade), e de menor detalhe (micro-rugosidade), respectivamente.

Na prática, as ondulações de primeira ordem influenciam a direção inicial dos deslocamentos no cisalhamento do plano médio das descontinuidades, enquanto que as ondulações de segunda ordem influenciam a resistência ao cisalhamento que, normalmente, são obtidas de ensaios de laboratório ou em ensaios “in situ” de blocos de pequenas variações.

No caso de a direção preferencial de escorregamento for conhecida, a rugosidade pode ser determinada através de perfis ao longo desta direção (Figura 1.10). Em muitos casos, essa direção é paralela ao mergulho. Em alguns casos, onde o escorregamento é controlado por dois sistemas planos de descontinuidades que se interceptam, a direção preferencial de escorregamento é paralela à linha de intersecção dos dois planos (ISRM, 1978).

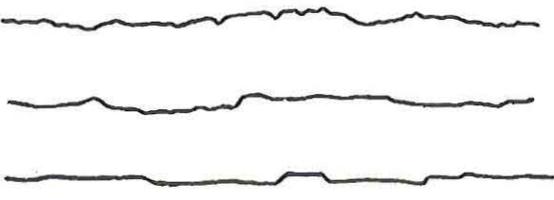
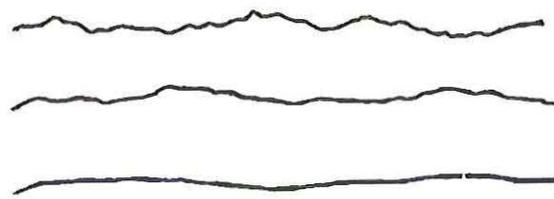
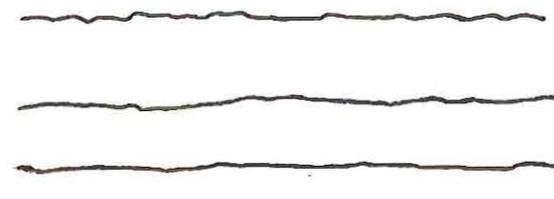
<i>Perfil</i>	<i>Termo</i>
	Rugosa (R)
	Lisa (L)
	Polida c/ estria (E)
	Recortada (R)
	Rugosa (R)
	Lisa (L)
	Polida c/ estria (E)
	Ondulada (O)
	Rugosa (R)
	Lisa (L)
	Polida c/ estria (E)
	Plana (P)

FIGURA 1.10 - Perfis de rugosidade e ondulação das paredes das descontinuidades (ISRM, 1978).

E - RESISTÊNCIA DAS PAREDES:

A resistência à compressão da rocha, que constitui as paredes de uma descontinuidade, é um importante componente da resistência ao cisalhamento e deformabilidade, especialmente se as paredes estão em contato direto (rocha com rocha), como é o caso de juntas sem preenchimento. Pequenos deslocamentos de juntas individuais, causadas por tensões de cisalhamento dentro do maciço, frequentemente resultam em danos à aspereza, pois, nas áreas de contato as tensões se aproximam, ou excedem, localmente a resistência à compressão da rocha (ISRM, 1978).

Os maciços rochosos são, frequentemente, mais intemperizados próximos à superfície. Em maciços fraturados, a intemperização avança para seu interior, principalmente através dos sistemas de fraturas, o que torna possível a percolação d'água, acelerando o

processo de alteração. Isto implica que a resistência da rocha da superfície de uma descontinuidade é sempre menor do que a obtida de material do interior do bloco rochoso (FIGUEIREDO, 1996).

A superfície rochosa, ou as paredes das descontinuidades dos maciços rochosos, expõe minerais constituintes da rocha à ação dos agentes intempéricos, principalmente, os químicos que reduzem a resistência da superfície rochosa por meio de decomposição.

O estado de alteração das paredes das descontinuidades, quando observado a olho nu, ou com auxílio de uma lupa, pode ser classificado conforme a Tabela 1.3.

F - ABERTURA:

A abertura é definida como a distância perpendicular que separa as paredes adjacentes de rocha de uma descontinuidade aberta, onde este espaço é preenchido por ar, água ou material (minerais ou solo). A abertura é, desta forma, diferente da largura de uma descontinuidade preenchida (Figura 1.11).

Grandes aberturas podem ser resultantes de deslocamentos cisalhantes de descontinuidades, com apreciável rugosidade e ondulação; de carreamento de materiais pela água, e por dissolução. Descontinuidades abertas por tração, como resultado de erosão, podem apresentar grandes dimensões. Entretanto, a maioria das aberturas subsuperficiais, em maciços rochosos, apresentam pequenas aberturas e, provavelmente, menores que meio milímetro. A menos que as descontinuidades sejam excepcionalmente lisas e planas, elas não terão significado na resistência ao cisalhamento de uma feição fechada (0,1 mm ou 1 mm) (ISRM, 1978).

G - PREENCHIMENTO:

O preenchimento é a designação para o material que separa as paredes de rocha de uma descontinuidade, por exemplo: calcita, clorita, argila, silte, entre outros. A distância perpendicular entre as paredes é chamada de espessura da descontinuidade preenchida, diferenciando-se da abertura de uma feição falhada ou aberta.

Devido aos inúmeros tipos de ocorrências, as descontinuidades preenchidas apresentam uma grande variedade de comportamentos físicos, particularmente quanto à resistência, deformabilidade e permeabilidade.

TABELA 1.3 - Estado de alteração das paredes das descontinuidades (ISRM, 1978).

TERMO	DESCRIÇÃO	GRAU
PAREDE SÃ	Nenhum sinal visível a olho nu de minerais alterados; às vezes, observa-se uma leve descoloração, ou minerais sem brilho, na superfície da descontinuidade.	I
PAREDE LEVEMENTE ALTERADA	a descoloração e mudança de cor dos minerais indicam alterações na superfície das descontinuidades.	II
PAREDE ALTERADA	menos da metade do material rochoso exposto está decomposto.	III
PAREDE MUITO ALTERADA	mais da metade do material rochoso exposto está decomposto e/ou desintegrado em solo.	IV

O comportamento físico depende de muitos fatores. São eles: mineralogia do material de preenchimento; classificação ou tamanho das partículas; razão de sobre-adensamento; conteúdo d'água e permeabilidade; deslocamentos tangenciais prévios; rugosidade das paredes; largura do fraturamento ou esmagamento da parede da rocha (ISRM, 1983).

BARTON et al. (1974) comentam que a presença do material de preenchimento está relacionada ao processo de alteração "in situ" intempérica, ou hidrotermal, falhamento, ou deposição do material carregado de outros horizontes do perfil de alteração. O autor ainda salienta que, camadas estratificadas contendo materiais de baixa resistência entre materiais de maior resistência, constituem-se em superfície de fraqueza, que também podem ser estudadas como descontinuidades preenchidas.

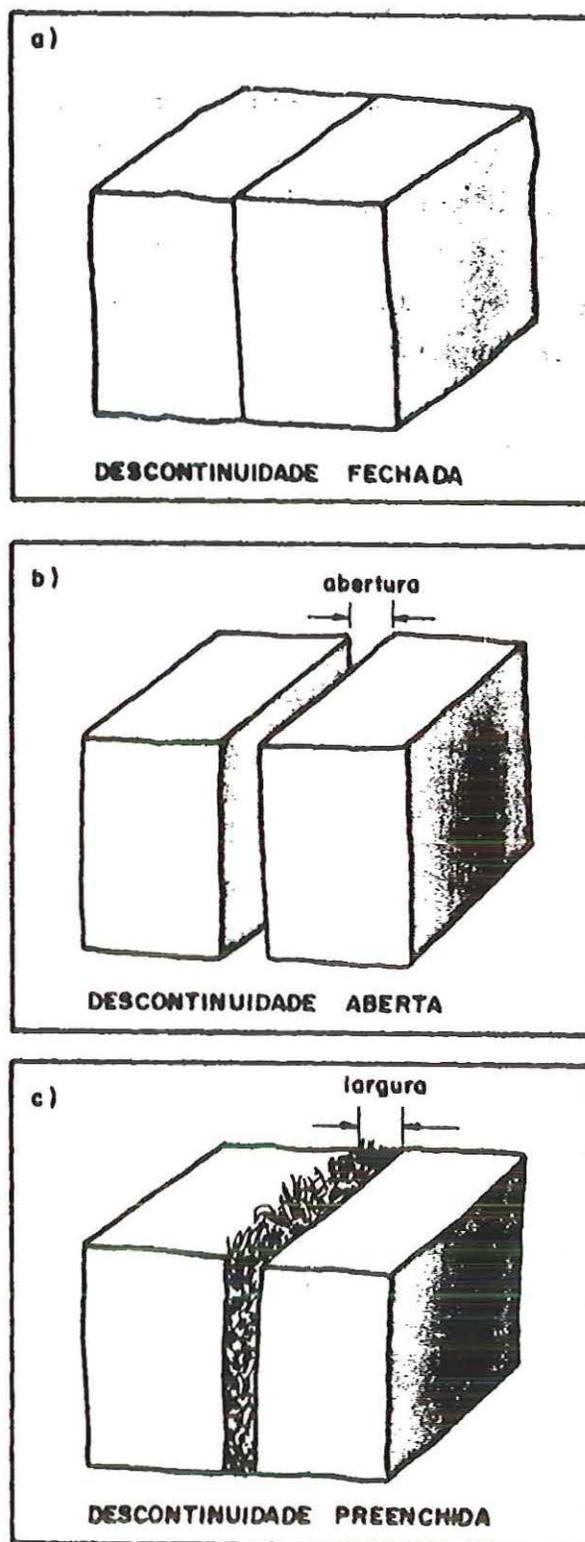


FIGURA 1.11 - Descontinuidades fechadas, abertas e preenchidas (ISRM, 1978).

H - PERCOLAÇÃO D'ÁGUA:

A percolação d'água, através de maciços rochosos, resulta, principalmente, do fluxo através de descontinuidades (permeabilidade secundária). A velocidade de percolação é grosseiramente proporcional ao gradiente hidráulico local e à permeabilidade direcional. Sendo que esta proporcionalidade, ocorre com fluxo laminar. A determinação do nível do lençol freático, do caminho preferencial de percolação e pressão d'água aproximada, pode prever problemas de estabilidade (ISRM, 1978).

TERZAGHI (1962) apud DIAS (1996) discute os efeitos danosos da água em taludes rochosos, e resume-os como:

- Aumento da pressão neutra nos materiais de preenchimento de descontinuidades e/ou alteração química desses materiais, proporcionando redução nos parâmetros de resistência;
- Efeitos da pressão hidrostática nas paredes das descontinuidades, com redução da tensão efetiva sobre elas, e conseqüente perda da resistência ao cisalhamento ao longo das superfícies potenciais de ruptura;
- Efeito físico e químico da pressão da água nos poros da rocha intacta, causando a redução da resistência à compressão.

DIAS (1996) recomenda que, antes de se avaliar a influência da pressão d'água na estabilidade de taludes, é conveniente que se conheça o sistema de fluxo regional, para assim determinar se o maciço comporta-se como área de recarga, ou de descarga, pois, em cada caso, o fluxo apresentará características diferentes durante e após a escavação.

H - NÚMERO DE FAMÍLIAS:

O número de famílias de descontinuidades pode ser o fator dominante na estabilidade de taludes em rocha, já que a orientação das descontinuidades em relação à face é considerada de suma importância. Entretanto, se existem poucas famílias, sua importância pode ser reduzida a quase zero. Por outro lado, um grande número de famílias pouco espaçadas, podem mudar o modo potencial de escorregamento.

Tanto o comportamento mecânico, quanto a aparência do maciço rochoso, serão controlados por um número de famílias de descontinuidades que se interceptam. O comportamento mecânico é especialmente afetado, uma vez o número de famílias determina o

quanto o maciço pode deformar-se sem provocar o fraturamento da rocha intacta (ISRM, 1978).

O número de famílias será frequentemente uma função do tamanho da área mapeada. Em uma investigação preliminar, é importante registrar-se todas as famílias presentes. O reconhecimento das famílias individuais é realizado, simultaneamente, com a medida de sua orientação. Pode ser necessário medir-se até 150 juntas, podendo o número de famílias ser determinado pelo contorno dos polos das juntas, plotando-se em diagramas de igual área (Schmidt-Lambert).

I - TAMANHO DO BLOCO:

O tamanho do bloco é um indicador extremamente importante do comportamento do maciço rochoso. As dimensões dos blocos são determinadas pelo espaçamento das descontinuidades, pelo número de famílias e pela persistência das descontinuidades delineando blocos potenciais.

O número de famílias e a orientação determinam as formas resultantes dos blocos, que podem exibir a forma aproximada de cubos, tetraedros, romboedros, lâminas, entre outros.

A combinação do tamanho do bloco e resistência ao cisalhamento entre blocos determinam o comportamento mecânico do maciço rochoso sob dadas condições de tensão. Um maciço rochoso composto de grandes blocos tende a ser menos deformável. No caso de taludes, um pequeno tamanho de blocos pode ser causa do modo potencial de escorregamento semelhante aqueles em solo, isto é, rotacional; em vez de translacional e tombamento usualmente associados com maciços de rochas descontínuas (ISRM, 1978).

O tamanho dos blocos pode ser descrito de dois modos: por meio das dimensões médias dos blocos típicos (índice de tamanho dos blocos - I_b), e pelo número total de juntas, interceptando um volume unitário de rocha (contador volumétrico de juntas - J_v), onde o índice de tamanho de blocos pode ser estimado pela seleção de vários tamanhos de blocos típicos, tomando suas dimensões médias. Desde que o índice pode variar de milímetros a vários metros, uma precisão de medida de 10 % é suficiente.

No caso do contador volumétrico de juntas, ele é definido como a soma do número de juntas, por metro, para cada família de juntas presentes. Descontinuidades aleatórias podem ser incluídas, mas geralmente têm pouco efeito nos resultados (ISRM, 1978).

1.4.3 - ESTATÍSTICA DE DESCONTINUIDADES:

A análise estatística baseia-se em hipóteses, dentre as quais a lei de distribuição do parâmetro amostrado. Nos casos mais gerais, essas leis têm-se apresentado como sendo do tipo normal, lognormal e exponencial.

A caracterização estatística de descontinuidades, efetuada por diversos autores em vários locais, estabeleceu os tipos de distribuição que permitem uma descrição matemática das orientações, espaçamentos, comprimentos e aberturas, parâmetros de interesse para a caracterização de um maciço rochoso. A aproximação estatística decorre das dificuldades para caracterizar cada descontinuidade, individualmente, devido sua natureza tridimensional e limitada exposição ao longo dos elementos de investigação.

Na literatura, a maioria dos estudos encontrados diz respeito à frequência e ao espaçamento das descontinuidades, já que são os que oferecem maior facilidade para sua amostragem em campo.

Segundo BAECHER & EINSTEIN (1977) apud FIGUEIREDO (1996), a descrição estatística das propriedades do maciço rochoso é essencial por dois motivos:

- a análise em engenharia de rochas requer descrições estatísticas para dar a característica distributiva dentro do cálculo;
- a amostragem de campo requer descrições estatísticas para desenvolver planos de amostragem e obter inferências dos dados. Sendo que, para ambos, é essencial conhecer as distribuições apropriadas das características dos maciços rochosos.

A - ESPAÇAMENTO:

A análise estatística dos dados de espaçamento é um assunto muito estudado. Diversos trabalhos apresentam resultados discordantes quanto a melhor curva de ajuste para o histograma de frequência de dados.

Dentre os trabalhos realizados, pode-se citar os de STEFFEM et al. (1970), BRIDGES (1976), BARTON (1977), THOPE (1981) e WITHERSPOON & GALE (1983) apud TRESSOLDI (1991) que, através da análise de qual a melhor curva de ajuste, obtiveram uma distribuição lognormal.

DOYURAN et al. (1993) apud FIGUEIREDO (1996) encontraram distribuições exponencial negativa, lognormal e gama no estudo de espaçamento em mármore na Turquia.

Os autores ainda salientam que, de acordo com o grau de intemperização da rocha e da intensidade do fraturamento, a distribuição do espaçamento segue diferentes distribuições estatísticas.

Para PRIEST & HUDSON (1976) a curva de distribuição do espaçamento só não é dada por uma exponencial, em duas condições especiais:

- quando as descontinuidades estão igualmente espaçadas, a curva gerada apresenta distribuição normal;

- quando ocorrem agrupamentos, onde a curva gerada apresenta uma distribuição lognormal.

Em condições normais, a distribuição é gerada ao acaso e assim mesmo a curva obtida será uma exponencial negativa. Esta mesma curva será obtida se ocorrer a combinação das três distribuições.

Na literatura, também são encontradas correlações entre espaçamento e R.Q.D. (*“Rock Quality Designation”*).

A fórmula do R.Q.D. foi proposta por DEERE et al. (1967) e definida como:

$$RQD = 100 \times \frac{\sum x_i}{L}$$

Onde:

$\sum x_i$ - somatório dos comprimentos de testemunhos iguais, ou superiores, a 10 cm.

L - comprimento total do testemunho ou da linha de amostragem.

Posteriormente, PRIEST & HUDSON (1976) questionaram a validade do R.Q.D. convencional, que, para eles, só é possível para valores de espaçamento médio < 0,3 m. Logo, para valores maiores que este possam ser analisados, os autores propuseram a seguinte relação, sendo ela válida para casos em que a curva de distribuição é do tipo exponencial negativa:

$$RQD = 100 \times e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1)$$

Onde: λ - frequência das descontinuidades, obtida através do espaçamento médio das descontinuidades em metros.

DURAND (1995) adverte que, tanto nesta equação quanto a proposta por BARTON et al. (1974), o valor obtido de R.Q.D., na face de uma escavação recente, pode resultar num R.Q.D. maior que aquele obtido por um testemunho de sondagem, devido ao fato de estar livre das quebras ocasionadas pelo processo de perfuração na sondagem.

DUNNE & HANCOCK (1994) apud FIGUEIREDO (1996) propõem que o tipo de distribuição estatística pode ser determinado pelo índice de periodicidade, através da relação:

$$0 < \sigma/x < 1$$

Onde: σ - desvio padrão

x - média

Os valores próximos de 0 evidenciam uma distribuição do tipo normal, e os valores próximos a 1 distribuição exponencial negativa.

B - PERSISTÊNCIA:

QUADROS (1992) destaca que as proposições de modelos de distribuição para a persistência são menos consistentes do que, por exemplo, para o espaçamento, isto devido, provavelmente, as dificuldades inerentes à amostragem da persistência, e destaca que as propostas para este parâmetro têm oscilado entre uma lei de distribuição exponencial negativa, lognormal ou gama.

Nota-se, ainda, que a indefinição causada pela observação não criteriosa dos espaçamentos, conduz a uma subestimativa da frequência das descontinuidades e, portanto, uma super estimativa do seu tamanho.

DOYURAN et al. (1993) apud FIGUEIREDO (1996) realizaram uma análise estatística de parâmetros de descontinuidades em mármore, e constataram que a persistência das descontinuidades mostra uma distribuição do tipo gama e, também, que a distribuição da persistência independe do grau de alteração da rocha.

C - ABERTURA:

O parâmetro abertura requer estudos para uma melhor caracterização a respeito da curva de ajuste para o histograma.

Em relação aos trabalhos realizados, sobre análises estatísticas de aberturas, destacam-se os estudos de SNOW (1965), BIANCHI & SNOW (1968) e WITHERSPOON & GALE (1983) apud QUADROS (1992) que apresentam uma lei de distribuição lognormal para a abertura. Sendo que DOYURAN et al. (1993), estudando mármore da Turquia, encontraram uma distribuição do tipo normal e lognormal.

QUADROS (1992) destaca que a literatura ainda não dispõe de grandes certezas, com relação às leis de distribuição de aberturas.

1.5 - CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS:

A caracterização de um maciço rochoso requer um conhecimento de suas propriedades e características intrínsecas. O grau de avaliação da deformabilidade e resistência do maciço depende da finalidade do tipo de obra e das solicitações que lhe serão impostas. Essas duas grandezas estão diretamente ligadas a um grande número de variáveis de difícil quantificação, relativas, principalmente, às características do maciço (FIGUEIREDO, 1996).

Tendo como objetivo conhecer melhor o maciço e compartimentá-lo em classes, é que se desenvolveram os sistemas de classificação que quantificam suas características, pela atribuição de pesos, através de diversos parâmetros.

As classificações geomecânicas são sistemas orientados para a separação dos maciços rochosos em classes, a partir de características geomecânicas que, submetidas a determinada solicitação, possuem comportamentos homogêneos.

Esse comportamento é baseado em características geológicas, geotécnicas e mecânicas do maciço, que vão conduzir à caracterização empírica do maciço, de forma que permita a previsão do comportamento dos maciços rochosos.

CHAPADEIRO (1995) afirma que a classificação geomecânica só faz sentido se empregada com um fim específico, ou seja, para subsidiar o projeto ou a avaliação de um determinado tipo de obra.

ALMEIDA (1994) coloca que, apesar dos empirismos inerentes a qualquer sistema de classificação, o exercício mental procurando descrever e classificar um determinado maciço rochoso, sob um sistema de classificação consistente é, do ponto de vista da engenharia, uma ferramenta poderosa, auxiliando no entendimento e na solução do problema.

Segundo GOMES (1991), as tentativas de racionalização dos inúmeros parâmetros condicionantes do comportamento do maciço, ante a natureza da obra em implantação,

conduziram a sistemas de classificações bem mais elaborados, mediante a setorização do maciço em classes, através do ordenamento e hierarquização de suas características mais significativas.

Logo pode-se dizer, resumidamente, que as classificações geomecânicas foram propostas com os seguintes objetivos:

- identificar os parâmetros mais significantes que influenciam o comportamento do maciço;
- setorizar o maciço em grupos de similar comportamento e qualidades;
- fornecer as características básicas para o entendimento de cada setor ou classe de maciço;
- relacionar as condições de um local com a experiência encontrada em outros locais;
- derivar dados quantitativos e diretrizes para projetos de engenharia;
- fornecer bases comuns para a comunicação entre engenheiros e geólogos.

As classificações geomecânicas foram propostas, inicialmente, para escavações subterrâneas, sendo atualmente muito utilizadas para taludes de mineração e obras afins. Pode-se citar o trabalho de DURAND & ASSIS (1997), que desenvolveram um estudo de estabilidade de taludes na Mina de Timbopeba (M.G.), onde os parâmetros preliminares de resistência dos maciços rochosos foram estimados utilizando métodos de classificação geomecânica.

GRIPP (1992) propôs um modelo geológico para a avaliação da estabilidade de taludes em uma área inserida no Quadrilátero Ferrífero (M.G.), com base em estudos realizados após a utilização do método empírico da classificação geomecânica proposta por ROMANA (1985).

Com relação a instabilização de taludes em áreas urbanas, CHAPADEIRO et al. (1996) realizaram um estudo da Formação Cercadinho em Belo Horizonte (M.G.), caracterizando os mecanismos de ruptura de seis taludes típicos, sua comparação com resultados de análises cinemáticas e de sistemas de classificação geomecânica.

No trabalho de BARISONE & BOTINO (1990) fica demonstrada a possibilidade de utilizar as classificações geomecânicas como uma ferramenta para o mapeamento geotécnico, em escala 1:10.000.

Nesse trabalho, os autores fizeram o cruzamento das classes de maciço com os possíveis modos de ruptura e com o ângulo de atrito residual estimado para cada uma das famílias de juntas, e obtiveram, em ambos os casos, cartas de avaliação da estabilidade de taludes para regiões específicas dos Alpes.

Entre as principais classificações geomecânicas (Tabela 1.4) destacam-se, TERZAGHI (1946), RABCEWICZ (1957), DEERE (1964), BIENIAWSKI (1973, 1976, 1984, 1989), BARTON et al. (1974), LAUBSCHER (1977), ROMANA (1985) e KIRKALDIE et al. (1988).

A seguir, serão apresentadas as classificações de BIENIAWSKI (1989), ROMANA (1985) e BARTON et al. (1974) que são as mais utilizadas em projetos de engenharia, servindo, também, de base para a comparação com outras classificações.

TABELA 1.4 - Sistemas de classificações desenvolvidos para maciços rochosos e suas respectivas finalidades, modificado de GOODMAN (1976) apud ALMEIDA (1994).

Finalidade	Referências
Gerais	John (1962), Ruiz (1966), Franklin <i>et al</i> (1971)
Túneis	Terzaghi (1946), Lauffer (1958), Bieniawski (1973, 1974, 1976 e 1979), Barton <i>et al</i> (1975)
Barragens	Cruz <i>et al</i> (1975), Bieniawski & Orr (1975), Camargo <i>et al</i> (1976) e Serafim & Pereira (1983), Infanti & Sobrinho (1991);
Mineração	Laubscher (1977), Kendoraki (1983)
Taludes	Ducan & Goodman (1968), Steffen (1976), Romana (1985, 1988 e 1991), Romana & Izquierdo (1988), Laubscher (1988), Haines & Terbrugge (1991)
Deformabilidade	Serafim & Pereira (1983)
Resistência	Hoek (1983), Hoek & Brown (1988), Hoek <i>et al</i> (1992)

1.5.1 - CLASSIFICAÇÃO DE BIENIAWSKI (1989): SISTEMA RMR

O sistema RMR (“*Rock Mass Rating*”), proposto por Bieniawski, foi publicado pela primeira vez em 1973 e, desde então, foi sucessivamente modificado, com o intuito de adequá-lo a um número maior de observações empíricas e melhorar sua aplicabilidade, sendo que a última versão deste sistema foi apresentada por BIENIAWSKI (1989).

Essa classificação (Tabela 1.5) consiste na atribuição de notas a seis parâmetros fixos de classificação e no posterior somatório dessas, obtendo-se, assim, uma nota global (RMR) que, com variação possível de 0 a 100, enquadra o maciço em uma classe definidora de sua condição geral.

A cada classe correspondem faixas de valores dos parâmetros de resistência do maciço e, ainda, o tempo de autosustentação do vão, para o caso de túneis. Atualmente, já existem “softwares” que calculam as notas dos parâmetros e analisam os resultados, a fim de

se obter uma melhor caracterização do maciço. Como exemplo, pode-se citar o Classex (BUTLER & FRANKLIN, 1990).

Os parâmetros que podem ser medidos em campo, e/ou obtidos através de dados de sondagem, utilizados na classificação, são:

- Resistência à compressão simples;
- R.Q.D. (“*Rock Quality Designation*”);
- Espaçamento das descontinuidades;
- Padrão das descontinuidades;
- Ação da água subterrânea;
- Orientação relativa das descontinuidades/escavação.

Para aplicar a classificação geomecânica, o maciço rochoso é dividido em regiões estruturais mais ou menos uniformes, mesmo se sabendo que na natureza os maciços rochosos são descontínuos.

Por exemplo, os tipos de rochas, ou o espaçamento das juntas, são os mesmos em uma região. Mas, em muitos casos, os limites das regiões estruturais vão coincidir com feições geológicas tais como falhas, diques e zonas de cisalhamento.

Segundo DIAS (1995), nenhum destes parâmetros são “index”, ou seja, sozinhos não descrevem totalmente, ou quantitativamente, um maciço rochoso. Somente a combinação deles pode descrever satisfatoriamente. Por exemplo, o RQD é um parâmetro essencial, mas não suficiente, desprezando influências como rugosidade, continuidade, orientação e material de preenchimento.

A resistência do material rochoso é caracterizada através da resistência à compressão simples, ou através do índice de resistência à compressão pontual. O R.Q.D. é expresso em termos percentuais, e corresponde a um limite de recuperação modificado, para amostras com 10 cm de comprimento ou maiores.

O parâmetro referente à condição das descontinuidades envolve características de abertura, persistência, rugosidade, estado de alteração das paredes, espessura e o tipo de material de preenchimento, possuindo uma relação direta com resistência mecânica das descontinuidades.

BIENIAWSKI (1989) afirma que, a princípio, o parâmetro orientação das descontinuidades deve refletir a importância das várias famílias de descontinuidades presentes no maciço, entretanto, no caso de ocorrer uma família principal que controle a estabilidade da escavação, o RMR global será resultante do somatório das notas dos parâmetros relativos àquela família.

Por outro lado, em situações em que nenhuma família seja dominante, as notas de cada família devem ser somadas, fazendo-se a média para cada parâmetro da classificação.

Neste mesmo trabalho, BIENIAWSKI (1989) propôs alguns gráficos (Figuras 1.12, 1.13, 1.14 e 1.15) e uma Tabela 1.6 de classificação, para facilitar a interpolação de valores intermediários entre os limites dos parâmetros. Estes gráficos, além de atenuarem mudanças abruptas nos limites entre as categorias, servem como auxílio em casos duvidosos de atribuição de pesos.

Uma análise crítica dos parâmetros desta classificação foi realizada por FIGUEIREDO (1996), onde vale resaltar alguns aspectos. Primeiramente, observa-se que a influência das descontinuidades está presente em três pontos: R.Q.D., espaçamento e o padrão das descontinuidades (abertura, persistência, rugosidade, alteração das paredes e material de preenchimento).

Sendo que o espaçamento tem como resultado somente a condição média de compartimentação do maciço, enquanto que o R.Q.D. apresenta a frequência dos trechos do maciço de qualidade inferior. Para o caso de rochas sãs, esses parâmetros podem refletir o estado de compartimentação do maciço. Com isto, o mesmo fator estaria presente em dois parâmetros afetando a classificação, o que impede de ser realizada uma análise mais detalhada da influência de cada parâmetro.

Uma outra crítica em relação a esse sistema é com respeito ao resultado final dos valores, já que a soma dos parâmetros pode ser um método um pouco limitado para a avaliação de um maciço, pois, maciços com características muito distintas podem se enquadrar em uma mesma classe; mas tendo resposta diferente a um determinado tipo de obra, ou seja, ao se somar os valores dos parâmetros, características mais problemáticas são “compensadas” (efeito balança) por características melhores, o que concentra os valores de RMR em torno da média.

Um outro aspecto a ser levado em conta é o grau de intemperismo da rocha, presente na primeira versão dessa classificação (BIENIAWSKI, 1973), mas que foi retirado. O autor considera que esse parâmetro já estava incluído na resistência à compressão simples da rocha intacta. Mas, devido ao grande número de ensaios necessários para a resistência à compressão simples, passou-se a utilizar a resistência à compressão puntiforme (mais barato e expedito).

Sendo que, no caso de rochas fracas, existe uma limitação que é o valor limite próximo de 10 MPa. Logo, se o parâmetro de resistência é influenciado pelo intemperismo, ele apresenta uma certa superposição com o R.Q.D..

TABELA 1.5 - Classificação geomecânica de BIENIAWSKI (1989).

PARÂMETROS		FAIXA DE VALORES						
Resistência da rocha intacta	Índice de compressão puntiforme(Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Não recomendá-vel p/1Mpa		
	Resistência a compressão simples	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1,5	<1
Pesos		15	12	7	4	2	1	0
RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Pesos		20	17	13	8	5		
Espaçamento das descontinuidades		>2m	0,6-2,0 m	70-60 cm	6-20 cm	<6m		
Pesos		20	15	10	8	5		
Padrão das descontinuidades		Superf. Muito rugosas e sem alteração: fechadas e sem resistência	Superf. Pouco rugosas e levemente alteradas: abertura <1mm	Superf. Pouco rugosas e levemente alteradas: aberturas >1mm	Superf. Persistentes, estriadas ou espessura do preenchimento <5mm ou abertura de 1-5mm.	Persistente s com preenchimento de material argiloso >5mm ou abertura >5mm.		
Pesos		30	25	20	10	0		
Ação da água subterrânea:		Nula	<10 l/min	10-25 l/mim	25-125 l/mim	>125 l/mim		
Relação ($\mu/1$)		Nula	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
Condição geral do maciço		Compl. Seco	Umede-cido	úmido	Goteja-mento	Fluxo abundante		
Pesos		15	10	7	4	0		

Orientação da Descontinuidade	Muito Favorável	Favorável	Regular	Desfavorável	Muito Desfavorável
Túneis	0	-2	-5	-10	-12
Fundações	0	-2	-7	-15	-25
Taludes	0	-2	-25	-50	-60

Somatório dos Pesos (RMR)	81-100	61-80	41-60	21-40	< 20
Classe do Maciço	I	II	III	IV	V
Condição Geral	Muito Bom	Bom	Regular	Ruim	Muito Ruim

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°

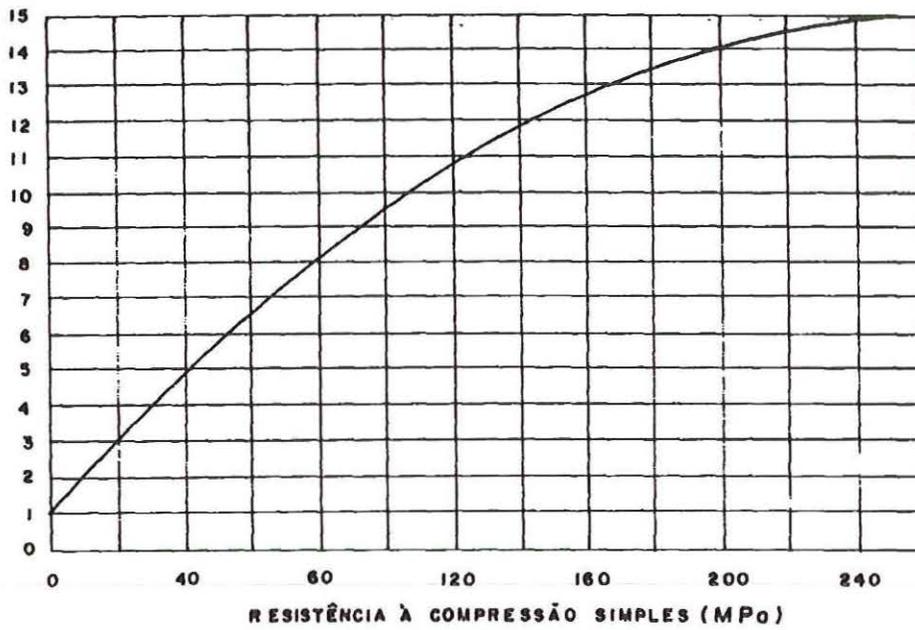


FIGURA 1.12 - Classificação para a resistência da rocha intacta (Bieniawski, 1989).

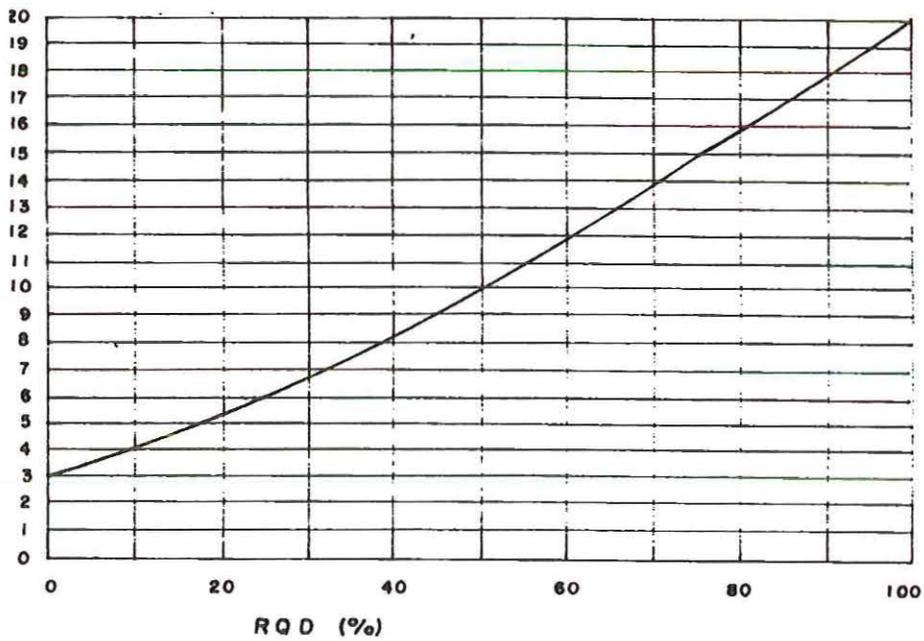


FIGURA 1.13 - Classificação para RQD (BIENIAWSKI, 1989).

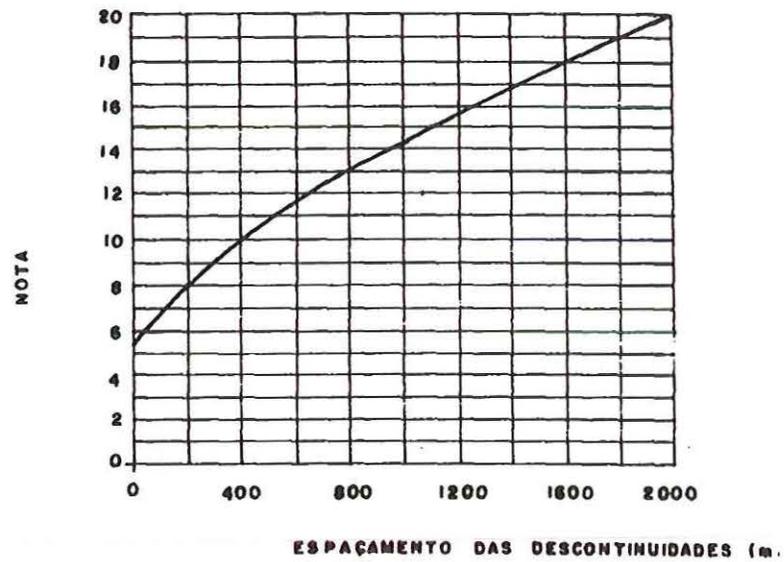


FIGURA 1.14 - Classificação para espaçamento das descontinuidades (BIENIAWSKI, 1989).

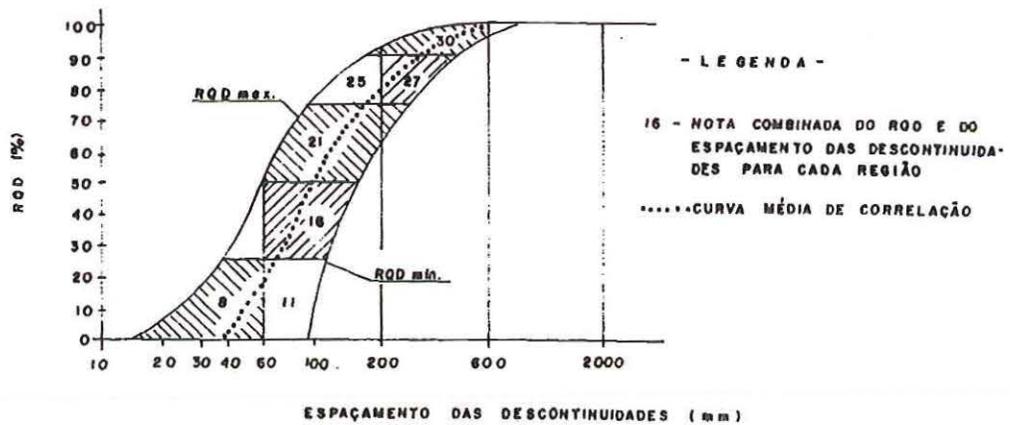


FIGURA 1.15 - Classificação para correlação entre RQD e espaçamento das descontinuidades (BIENIAWSKI, 1989).

TABELA 1.6 - Orientações para classificação de descontinuidades (BIENIAWSKI, 1989).

PARÂMETRO	VALORES				
Persistência da descontinuidade	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Pesos	6	4	2	1	0
Abertura	nenhuma	<0,1mm	0,1-1mm	1-5mm	>5mm
Pesos	6	5	4	1	0
Rugosidade	muito rugosa	rugosa	levemente rugosa	lisa	espelho falha
Pesos	6	5	3	1	0
Preenchimento	nenhum	pesado		leve	
		<5mm	>5mm	<5mm	>5mm
Pesos	0	4	2	2	0
Alteração	não alterada	levemente alterada	moder. Alterada	altamente alterada	decomposta
Pesos	6	5	3	1	0

Sendo que, no, caso de rochas fracas, existe uma limitação que é o valor limite próximo de 10 MPa. Logo, se o parâmetro de resistência é influenciado pelo intemperismo, ele apresenta uma certa superposição com o R.Q.D..

1.5.2 - CLASSIFICAÇÃO DE ROMANA (1985): SISTEMA SMR

Devido a dificuldade prática de se estimar um fator de ajuste para a orientação das descontinuidades, em função principalmente da ausência de critérios no sistema RMR, ROMANA (1985) apresenta um método fatorial, baseado em dados de campo, que propicia boa adaptação da classificação de Bieniawski para o caso de taludes.

O SMR (*"Slope Mass Rating"*) resulta do ajuste do valor do RMR, através da adição de duas outras parcelas que representam as influências da orientação relativa das descontinuidades ($f_1 \times f_2 \times f_3$) e do método de escavação do talude (f_4).

Com isso, a nota final do maciço, dependendo dos pesos estabelecidos pela classificação proposta por Bieniawski (Tabela 1.5) e pelas Tabelas 1.7 e 1.8, é dada pela seguinte expressão:

$$SMR = RMR + (f1 \times f2 \times f3) + f4$$

Onde, segundo ROMANA (1985):

f1: depende do paralelismo entre as orientações do talude e das descontinuidades. Pode variar de 1,00 (quando há paralelismo) até 0,15 (quando o ângulo é maior que 30° e a probabilidade de ruptura é muito baixa). Embora seus valores tenham sido estabelecidos de forma empírica, ROMANA (1985) observa que os mesmos se ajustam, aproximadamente, à expressão $f1 = (1 - \text{sen}\alpha_j - \text{sen}\alpha_s)$, em que α_j e α_s são as direções de mergulho da descontinuidade e do talude.

f2: refere-se ao mergulho das descontinuidades para o caso de rupturas planas. Este valor varia de 1,00, para descontinuidades que mergulham mais de 45° (quase nenhuma descontinuidade possui ângulo de atrito maior), até 0,15 para descontinuidades com mergulho menor que 20° (apenas algumas estruturas lisas ou estriadas, preenchidas por material argiloso mole têm ângulo de atrito menor). O f2 foi definido, também, empiricamente, onde verificou que seus valores aproximam daqueles resultantes da relação $f2 = \text{tg}^2\beta_j$, sendo β_j o ângulo de mergulho da descontinuidade. Segundo ROMANA (1991), para as rupturas por tombamento de blocos, f2 é sempre igual a 1,00.

f3: refere-se à relação entre os mergulhos do talude e das descontinuidades, onde foram mantidos os pesos originais propostos por BIENIAWSKI (1989), para cada classe. Nos casos de ruptura planar, as condições são normais ou médias. Quando o talude e as estruturas geológicas são paralelos, a variação da orientação, dentro de uma família de descontinuidades, pode ocasionar algumas rupturas. No caso de um talude mergulhar 10° a mais que as superfícies geológicas, as condições são desfavoráveis. Nos casos de uma ruptura por tombamento, as condições desfavoráveis, ou muito desfavoráveis, não ocorrem em função da natureza do tombamento de estratos, que é pouco brusca, e muitos taludes tombados se mantêm estáveis.

TABELA 1.7 - Fatores de ajustes das descontinuidades (ROMANA, 1985).

Caso	Muito favorável	Favorável	Normal	Desfavorável	Muito desfavorável
P ($\alpha_j - \alpha_s$)	$>30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$<5^\circ$
T ($\alpha_j - \alpha_s - 100^\circ$)					
P/T f1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P (β_j)	$<20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$>45^\circ$
f2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T f2	1	1	1	1	1
P $\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (10^\circ)$	$<10^\circ$
T $\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$>120^\circ$		
P/T f3	0	-6	-25	-50	-60

f4: relaciona-se aos diferentes métodos de escavação do talude, fixado empiricamente para os seguintes casos:

- **taludes naturais (f4=15,00):** são mais estáveis, devido aos processos prévios de erosão e dos mecanismos internos de proteção (vegetação, dessecação superficial, entre outros);

- **pré-fissuramento (f4=10,00):** aumenta a estabilidade dos taludes em 10 pontos;

- **detonações suaves (f4=8,00):** quando bem executadas, aumentam a estabilidade do talude;

- **detonações normais (f4=0,00):** aplicadas com métodos razoáveis, não modificam a estabilidade;

- **detonações defeituosas (f4= - 8,0):** com quantidade excessiva de explosivo, má seqüência de detonação e/ou furos não paralelos, prejudicam a estabilidade;

- **escavação mecânica (f4=0,00):** em taludes de rochas brandas e/ou muito fraturadas, não modifica a estabilidade.

TABELA 1.8 - Fator de ajuste, conforme o método de escavação (ROMANA, 1985).

Método	Talude natural	Pré-corte	Detonação suave	Desmorte mecânico ou detonação normal	Detonação deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

ROMANA (1985), baseado em estudos de casos de 31 taludes com diferentes graus de instabilidade, propõe (Tabela 1.9) uma correspondência entre as classes dos maciços, sua condição de estabilidade, modos de ruptura mais típicos e tratamento usado para a estabilização dos taludes.

Segundo ROMANA (1991), a classificação fornece, apenas, uma primeira aproximação para o projeto. Faz ainda comentários sobre os métodos de estabilização de taludes, e apresenta recomendações de medidas de correção para nove faixas de valores de SMR, correspondente a taludes instáveis durante o processo de escavação.

Em um artigo, ROMANA (1996) faz uma revisão dos dez anos de existência da classificação SMR, e conclui que esta tem sido usada de diferentes modos, por exemplo, para a quantificação da influência das juntas na instabilidade de taludes. A classificação é, também, um complemento para outras classificações e que, em alguns casos históricos de acidentes, tem sido usada para analisar com detalhes as áreas atingidas.

TABELA 1.9 - Classes de Estabilidade segundo o SMR (ROMANA, 1985).

CLASSE	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descrição	Muito Ruim	Ruim	Normal	Boa	Muito Boa
Estabilidade	Totalmente Estável	Instável	Parcial/e Estável	Estável	Totalmente Estável
Rupturas	Grandes rupturas por planos contínuos ou pela rocha	Planares ou grandes cunhas	Algumas planares ou muitas cunhas	Alguns blocos	Nenhuma
Tratamento	Reescavação	Correção	Sistemático	Ocasional	Nenhum

1.5.3 - CLASSIFICAÇÃO DE BARTON et al. (1974): SISTEMA Q

O Sistema Q foi proposto pelos pesquisadores do “Norwegian Geotechnical Institute”, BARTON, LIEN e LUNDE (1974), a partir de experiências em obras de escavações (análise de 212 casos históricos de túneis da Escandinávia).

BARTON et al. (1974) propuseram um índice Q para a determinação da qualidade do maciço rochoso de túneis, sendo definido numericamente por:

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

Onde: - **Q**: índice de qualidade do maciço rochoso;

- **RQD**: “Rock Quality Designation”;

- **J_n**: índice da influência do número de famílias das fraturas;

- **J_r**: índice de influência da rugosidade das paredes das fraturas;

- **J_a**: índice de influência da alteração das paredes das fraturas;

- **J_w**: índice de influência da ação da água subterrânea;

- **SRF**: índice de influência do estado de tensões no maciço (Stress Reduction Factor).

Cada um dos fatores que compõem o índice Q são explicados pelos próprios autores:

(RQD/J_n): tamanho de bloco - representa a estrutura do maciço e é uma maneira grosseira de medir o tamanho dos blocos;

(J_r/J_a): resistência ao cisalhamento entre os blocos - representa as características de rugosidade e atrito das paredes das discontinuidades, ou dos materiais de preenchimento;

(J_w/SRF): descreve a tensão ativa no maciço - é um fator empírico, que considera os carregamentos externos, tensões “in situ” e a influência da água.

PALMSTROM (1975) propôs a seguinte expressão para o RQD, em função da densidade de discontinuidades por volume (J_v):

$$RQD = 115 - 3,3 \times J_v$$

Sendo que o autor propõe que para valores de J_v menores que 4,5, utilizar um valor de R.Q.D. igual a 100.

Segundo PINHOTTI (1994), apesar da não inclusão do parâmetro orientação das discontinuidades, em relação escavação, ela é implicitamente considerada nos parâmetros J_r, J_w e J_a, da família de discontinuidade mais desfavorável, devendo ser considerada principalmente em obras que não permitem ajustes favoráveis do desenvolvimento da escavação, em relação à compartimentação do maciço. A sua inclusão no sistema de classificação segundo BARTON et al. (1974), tornaria o sistema menos geral, que perderia também a sua simplicidade.

Cada um dos três termos acima separados por parênteses, na expressão para o cálculo de Q, estão quantificados para condições bem abrangentes, tentando-se evitar ambigüidades e interpretações subjetivas (Tabelas 1.10). Conhecendo-se os valores de cada índice, calcula-se

o índice global Q, que pode variar entre $< 0,01$ a $400 >$ refletindo a qualidade do maciço (Tabela 1.11).

TABELA 1.10 - Classificação geomecânica de BARTON et al. (1974).

A – Padrão Geomecânico do Maciço	Valores de RQD (%)
A - Muito Ruim	0-25
B - Ruim	25-50
C - Regular	50-75
D - Bom	75-90
E - Excelente	90-100
B-Condições de Compartimentação do Maciço	Valores de J_n
A-Fraturas esparsas ou ausentes	0,5-1,0
B-Uma família de fraturas	2
C-B + fraturas esparsas	3
D-Duas famílias de fraturas	4
E-D + fraturas esparsas	6
F-Três famílias de fraturas	9
G-F + fraturas esparsas	12
H-Muito fraturado, quatro ou mais famílias de fraturas	15
I-Rocha completamente fragmentada (triturada)	20
C-Condições de rugosidade das paredes	Valores de J_r
Fraturas com contato rocha-rocha e sem deslocamento relativo entre as paredes	
A-Fraturas não persistentes	4
B-Fraturas rugosas ou irregulares, onduladas	3
C-Fraturas lisas, onduladas	2
D-Fraturas polidas onduladas	1,5
E-Fraturas rugosas ou irregulares, planas	1,5
F-Fraturas lisas, planas	1,0
G-Fraturas polidas ou estriadas, planas	0,5
Fraturas sem contato rocha-rocha e com deslocamento relativo entre as paredes	
H-Fraturas preenchidas com material de natureza argilosa	1,0

I-Fraturas preenchidas com material de natureza granular	1,0
D-Condição de alteração das paredes	Valores de J_a e $\phi_r(^{\circ})$
Fraturas com contato rocha-rocha e sem deslocamento relativo entre as paredes	
A-Paredes duras, compactas, com preenchimento de materiais impermeáveis	0,75
B-Paredes sem alteração, pigmentação superficial incipiente	1,0 25° - 35°
C-Paredes levemente alteradas, películas de materiais arenosos ou minerais abrasivos	2,0 25° - 35°
D-Paredes com películas de material silto-arenoso com pequena fração argiloso	3,0 20° - 25°
E-Paredes com películas de material mole(micas, cloritas, gesso) eventualmente com materiais expansivos	4,0 8° - 16°
Fraturas com contato rocha-rocha e com deslocamento relativo incipiente entre as paredes (desloc. dif. <10cm)	
F-Paredes com partículas arenosas, fragmentos de rocha	4,0 25° - 30°
G-Paredes com preenchimentos contínuos e pouco espessos(<5mm) de mat. argiloso fortemente sobreadensado	6,0 16° - 24°
H-Paredes com preenchimento contínuo e pouco espessos(<5mm) de mat. argiloso pouco ou medianamente sobreadensado	8,0 12° - 16°
I-Paredes com preenchimento de materiais argil. Expansivos: % dos argilos minerais expansivos presentes e com a ação da água intersticial	8,0-12,0 6° - 12°
Fraturas sem contato rocha-rocha e com deslocamento relativo entre as paredes	
J-Zonas de preenchimento com fragmentos de rocha e material argil.(ver G, H e I para caracterizar as condições das argilas)	6,0-8,0 6° - 24° ou 8,0 12°
K-Zonas de preenchimento de material arenoso	5,0

ou silto-argiloso sendo pequena a fração argilosa	
L-Zonas contínuas de preenchimento com material argiloso	10,0-13,0 6 ^o -24 ^o 13,0 20 ^o
E-Condições de afluência da água	Valores de J_w e μ (Kg/cm³)
A-Escavação a seco com a pequena afluência de água	1,0 <1,0
B-Afluência média de água com eventual carreamento do preenchimento	0,66 1,0-2,5
C-Afluência elevada de água em rochas competentes de fraturas não preenchidas	0,5 2,5-10,0
D-Afluência elevada de água com carreamento significativo do preenchimento	0,33 2,5-10,0
E-Afluência excepcionalmente elevada de água(ou jatos de pressão), com decaimento com o tempo	0,1-0,2 >10
F-Afluência excepcionalmente elevada de água(ou jatos de pressão), sem decaimento com o tempo	0,05-0,1 >10
F-Condições das tensões no maciço	Valores de SRF
Zonas de baixa resistência interceptando a escavação	
A-Ocorrências múltiplas contendo material argiloso ou rocha quimicamente decomposta(qualquer profundidade)	10,0
B-Ocorrência específica contendo material argiloso ou rocha quimicamente decomposta(prof. escavação <50m)	5,0
C-Ocorrência específica contendo material argiloso ou rocha quimicamente decomposta(prof. escavação >50m)	2,5
D-Ocorrências múltiplas de zonas de material cisalhado em rochas competentes, isentas de argila e com a blocos desagregados de rochas(qualquer profundidade)	7,5
E-Ocorrências específicas de zonas de material cisalhado em rochas competentes, isentas de material argiloso(prof. de escavação <50m)	5,0
F-Ocorrências específicas de zonas de material	

cisalhado em rochas competentes, isentas de material argiloso (prof. de escavação >50m)	2,5		
G-Ocorrência de juntas abertas e intenso fraturamento do maciço (qualquer prof.)	5,0		
Rochas competentes (comportamento rígido à deformações). σ_1, σ_3 -Tensões principais, σ_c -Resistência à compressão, σ_t -Resistência à tração (carga puntiforme)	σ_3/σ_1	σ_t/σ_1	
H-Tensões baixas superficiais >2,5	>200	>13	
I-Tensões moderadas 1,0	10-200	0,66-13	
J-Tensões elevadas (eventuais problemas de estabilidade das paredes)	5-10	0,33-0,66	0,5-2,0
K-Condições moderadas de rocha explosiva ("Rock Burst")	2,5-5,0	0,16-0,33	5,0-10,0
L-Condições intensas de rocha explosiva	<2,5	<0,16	10,0-20,0

Obs: 1) No caso de tensões sub-superficiais (ver H) adotar SRF=5,0 quando a profundidade da abóbada da escavação, abaixo da superfície do terreno, for menor que a sua dimensão característica (largura do vão).

2) Para maciços muito anisotrópicos, introduzir correções de σ_c e σ_t de acordo com os seguintes:

a) $S < \sigma_1/\sigma_3 < 10$: 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 $0,6\sigma_t$.

Rochas incompetentes (comportamento plástico à deformações)	
M-Tensões moderadas	5,0-10,0
N-Tensões elevadas	10,0-20,0

Rochas expansivas (expansividade dependendo da presença de água)	
O-Tensões moderadas	5,0-10,0
P-Tensões elevadas	10,0-20,0

Observações adicionais:

1) O índice R.Q.D. pode ser estimado indiretamente a partir do número total de fraturas por unidade de volume (J_v), através da seguinte relação (não ocorrência de preenchimentos com material argiloso):

$$RQD = 115 - 3,3 J_v \quad (RQD = 100 \text{ } J_v < 4,5)$$

O contador volumétrico de juntas (J_v) é definido como sendo a soma do número de juntas, por metro, para cada família de juntas presentes, sendo que descontinuidades aleatórias podem ser incluídas, mas geralmente têm pouco efeito nos resultados (ISRM, 1978).

2) Na aferição dos valores de J_n , feições geológicas relevantes como acamamento, xistosidade, foliação, devem ser interpretadas como uma família de fraturas adicionais, desde que apresentem uma contribuição sistemática. Em caso contrário, recomenda-se considerá-las sob a designação genérica “fraturas esparsas”.

3) O termo (J_r/J_a) , representativo das características de resistência ao cisalhamento do maciço rochoso analisado, deve incorporar um valor que represente efetiva e potencialmente a condição mais crítica de instabilização. Esta relação não deve ter, necessariamente, o valor mínimo possível (valor extremado do comportamento das zonas de menores resistências), uma vez que a orientação relativa da mesma à escavação pode ser mais favorável que outras não tão críticas em termos de resistência. Assim, o critério a ser adotado é tomar $(J_r/J_a)_{crit}$. E não $(J_r/J_a)_{mín.}$.

4) As características de resistência da rocha intacta assumem significado extremamente relevante no caso de maciços pouco fraturados, isentos de material argiloso de preenchimento. Nessa hipótese, as condições de estabilidade vão depender, fundamentalmente, do comportamento tensão-deformação da rocha, e efeitos de anisotropia são francamente desfavoráveis.

5) As estimativas dos valores de resistência à compressão (σ_c) e à tração (σ_t) da rocha intacta devem ser obtidas para condições de saturação (desde que assegurada esta possibilidade para o meio analisado). Por outro lado, estas estimativas devem ser bastante conservativas para rochas que experimentem deterioração acentuada em presença de água.

TABELA 1.11 - Classes de maciços rochosos (BARTON et al., 1974).

Padrão Geomecânico do Maciço	Valores de Q
Péssimo(excepcionalmente ruim)	<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	40-100,0
Ótimo(extremamente bom)	100,0-400,0
Excelente(excepcionalmente bom)	>400,0

SCARPELLI (1994), aplicando o sistema Q sem atribuir valores ao fator SRF, ou seja, igualando-o a 1,0, como forma de eliminar sua influência no cálculo do padrão dos taludes mineiros do Quadrilátero Ferrífero, obteve uma boa relação entre o comportamento de campo destes e os resultados conseguidos com a classificação.

Como já citado anteriormente, já existem “softwares” que calculam as notas dos parâmetros e analisam os resultados. No caso da classificação de Barton et al., o programa Classex (BUTLER & FRANKLIN, 1990) também realiza os cálculos para a obtenção do padrão geomecânico do maciço, com a inserção dos parâmetros no programa.

FIGUEIREDO (1996) também realizou uma análise crítica a respeito desta classificação. Primeiramente, pode-se dizer que o espaçamento entre as juntas não entra diretamente no cálculo do índice Q, mas está embutido dentro do R.Q.D..

A resistência da rocha intacta e o grau de intemperismo não são levados em conta, diretamente no cálculo do índice Q. Eles estão implícitos no parâmetro SRF. Em todos os componentes da equação de Barton existem situações que exercem influência na determinação do R.Q.D.. Por exemplo, no índice J_n , quando a rocha se encontra completamente fragmentada, o R.Q.D. tende a ser baixo. O número de famílias influencia na determinação do R.Q.D..

Segundo CELESTINO et al. (1985), uma classificação, em que as influências das diferentes características do maciço são consideradas em forma de produto, é mais aconselhável do que a outros métodos que consideram a adição de parcelas de diferentes propriedades.

É por isso que uma das principais vantagens da classificação de BARTON et al. (1974) é a multiplicação entre os termos, o que não atenua valores baixos de parâmetros, e sendo uma outra vantagem, a sensibilidade quanto à avaliação da influência das discontinuidades.

1.6 - ANÁLISE DE MOVIMENTOS DE MASSA ATRAVÉS DE CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS:

O emprego de classificações geomecânicas, para a avaliação de movimentos de massa, com o objetivo de se gerar uma carta de zoneamento da probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, já vem sendo desenvolvido há vários anos.

Este método foi desenvolvido dentro do processo de mapeamento geotécnico. O processo de mapeamento geotécnico surgiu no início deste século, e os primeiros trabalhos derivaram de alguns mapas geológicos convencionais, adaptados, para serem utilizados conjuntamente com algumas obras de engenharia como fundações, barragens, túneis, entre outros (SOUZA, 1996).

A história da evolução do conhecimento, sobre o processo de mapeamento geotécnico, pode ser melhor analisada através dos seguintes fatores: aperfeiçoamento das técnicas que melhor apresentem a tridimensionalidade dos produtos cartográficos, diversificação temática, seriedade para a obtenção dos componentes do meio físico (atributos), padronização de metodologias nos próprios países em nível internacional.

Metodologias e sistemáticas vêm sendo desenvolvidas ao longo desses últimos 30 anos, em vários países, evoluindo para suas características próprias, direcionando os estudos para as ocupações atual e futura, com análises do planejamento urbano, regional e problemas específicos, ou seja, áreas com riscos geológicos.

ZUQUETTE (1993) salienta que, o mapeamento geotécnico vem se destacando como um conjunto de procedimentos, desde o início deste século, para obtenção, análise e apresentação das informações sobre o meio físico em diferentes países. O autor destaca a importância do processo de planejamento territorial, para uma determinada região, que pode ser regional ($>500 \text{ km}^2$), com diferentes tipos de ocupações (rurais e urbanas) com mapeamento nas escalas 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000 e urbano, abrangendo centros urbanos com as suas zonas de expansão e seus respectivos mapeamentos (1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 e $>1:2.000$).

Para a implantação deste planejamento, sugere-se que se observem algumas condições relativas ao meio físico, como por exemplo: limitações naturais que este meio impõe, existência de locais que estão sujeitos a riscos geológicos naturais ou induzidos, necessidade crescente de espaço e de produtividade no decorrer do tempo. O autor afirma, também, que o planejamento regional e urbano não elimina as investigações locais para uma determinada obra de engenharia, e sugere a implementação e fiscalização do planejamento territorial através dos órgãos responsáveis.

As metodologias e sistemáticas que possuem caráter específico geralmente analisam os problemas relacionados aos riscos geológicos (escorregamentos de encostas, subsidências, erosões, contaminação de lençol freático), às finalidades ocupacionais em áreas com condições especiais do meio físico (regiões montanhosas, áreas de pântanos). É nesse contexto que entra a utilização de classificações geomecânicas na avaliação de movimentos de massa, para a

elaboração de cartas de probabilidade (“Hazards”) e riscos geológicos relacionados com a estabilidade de encostas.

Segundo ZUQUETTE (1993a), uma carta de zoneamento de eventos perigosos (“Hazards”) pode ser definida como um documento que registra as diferentes probabilidades, ou potencialidades, existentes, para que ocorram, um ou mais, eventos perigosos em uma área, num determinado período de tempo e com um nível de intensidade.

Já uma carta de zoneamento de risco é definida como um documento elaborado a partir da carta de zoneamento de eventos perigosos e da vulnerabilidade dos elementos do sistema (naturais ou antrópicos), que registra os diferentes níveis de riscos a que a região esta sujeita.

Dentre os trabalhos onde utilizou-se a classificação geomecânica como ferramenta para a avaliação de movimentos de massa, pode-se citar o de BARISONE & BOTTINO (1990), onde utilizam a classificação geomecânica proposta por BIENIAWSKI (1989), obtendo-se os valores do Rock Mass Rating (RMR) e a possível análise cinemática para as massas rochosas, envolvendo, também, considerações das orientações das encostas em relação ao sistema de juntas e ao ângulo de atrito residual ao longo das superfícies das juntas.

Este estudo foi realizado a partir de várias análises, em diferentes áreas montanhosas dos Alpes Ocidentais, que, periodicamente, apresentam problemas de instabilidade de encostas. Após a obtenção dos dados, a partir dos parâmetros citados acima, os autores confeccionaram uma carta de estabilidade do território, definindo-se cinco classes de perigos (potenciais à estabilidade).

ZUQUETTE et al. (1996) utilizaram a técnica de avaliação de movimentos de massa, através de classificações geomecânicas, numa área com cerca de 2 km² no centro urbano de Ouro Preto - MG. Essa área foi escolhida devido a pressão da ocupação urbana e ocorrência de movimentos de massa condicionados por descontinuidades estruturais.

Para a área em estudo, foram obtidos resultados das classificações geomecânicas de BIENIAWSKI (1989) e URCS (KIRKALDIE et al., 1988), que associados com os dados obtidos na caracterização geotécnica (mapa geológico e mapa de materiais inconsolidados), e, também, com base na interpretação de fotografias aéreas e realização de análises cinemáticas (AETR - Análise da Estabilidade de Taludes em Rochas, 1993), permitiram um zoneamento, segundo um critério mais quantitativo, da área em diferentes unidades.

2 - METODOLOGIA E MATERIAIS

2.1 - ASPECTOS METODOLÓGICOS:

Neste capítulo serão apresentados os aspectos metodológicos empregados na pesquisa e, seguidamente, os materiais utilizados para os trabalhos de campo e análise dos resultados obtidos.

O trabalho foi dividido em três fases (Figura 2.1), descritas a seguir. Serão apresentados os procedimentos adotados, em cada fase do trabalho, para um melhor acompanhamento.

- **Fase I:**

Esta fase foi realizada em escritório, onde se fez uma revisão bibliográfica sobre os temas abordados: movimentos de massa gravitacionais, descontinuidades, classificações geomecânicas e suas aplicações, já descritos no capítulo 1.

Em cima do pesquisado, durante os trabalhos da revisão bibliográfica, pode-se avaliar qual metodologia empregada na pesquisa. Deve-se salientar que não existem muitos trabalhos com esta linha de pesquisa, ou seja, o uso de classificações geomecânicas como ferramenta para o mapeamento geotécnico. Logo, foram necessárias algumas adaptações durante o desenvolvimento da pesquisa.

No que diz respeito ao levantamento das descontinuidades, a metodologia adotada foi a proposta pela ISRM (1978). Devido a algumas características particulares da área e de suas rochas, tornou-se necessário algumas modificações nessa metodologia. Por exemplo, na determinação da altura dos afloramentos, utilizou-se uma trena Lufkin (5 metros) para a avaliação desse parâmetro, pois, não caberia a utilização de um teodolito como proposto, devido à forte declividade presente na área.

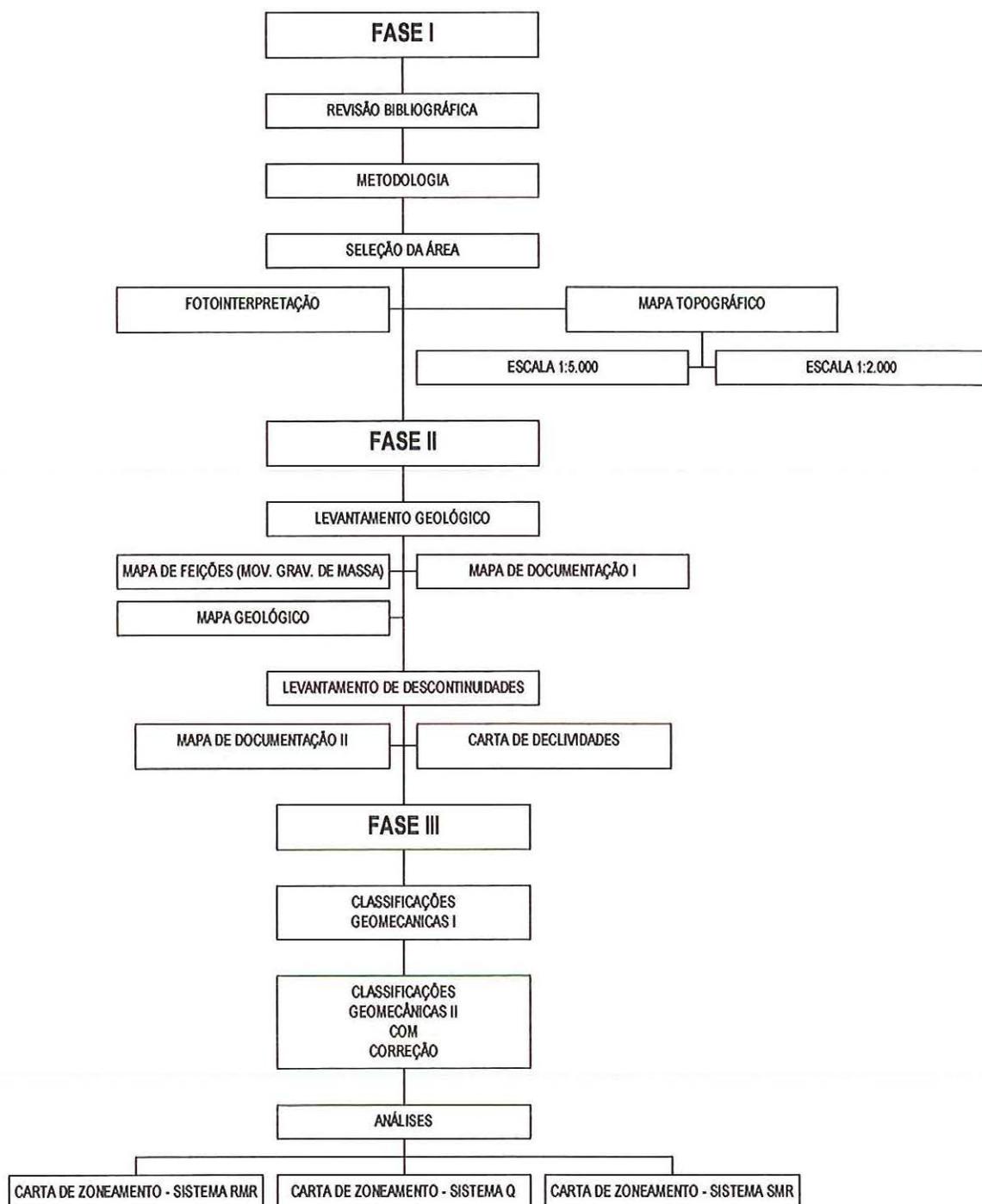


FIGURA 2.1 - Fluxograma das fases do estudo.

Com relação a resistência da rocha, está foi avaliada segundo a proposta da ISRM (1978) que propõe uma divisão de valores para a avaliação da resistência da rocha através de diversos tipos de testes de campo ou de laboratório. O grau de alteração foi avaliado segundo

a proposta da AFTES (*“Association Française des Travaux en Souterrain”*, 1978), com algumas modificações.

Um outro aspecto diz respeito ao levantamento do R.Q.D. (*“Rock Quality Designation”*). Segundo a ISRM (1978), este deveria ser levantado via furos de sondagem. Mas devido ao tipo de trabalho e a topografia ser muito acidentada, tornou-se difícil a obtenção deste parâmetro via sondagem rotativa. Além de muito oneroso, é complicada a movimentação dos equipamentos de sondagem, para a obtenção das amostras, visto a alta declividade presente, áreas de difícil acesso e a heterogeneidade litoestrutural.

Para a área de estudo adotou-se a proposta de PALMSTROM (1975). Este propôs a seguinte expressão para o R.Q.D., em função da densidade de descontinuidades por volume (J_v), descrita no capítulo 1:

$$RQD = 115 - 3,3 \times J_v$$

O autor propõe que, para valores de J_v menores que 4,5, utilizar um valor de R.Q.D. igual a 100.

O contador volumétrico de juntas (J_v) é definido como sendo a soma do número de juntas, por metro, para cada família de juntas presentes, sendo que descontinuidades aleatórias podem ser incluídas, mas geralmente têm pouco efeito nos resultados (ISRM, 1978).

Como pode ser observado, todos estes métodos para a obtenção do R.Q.D. requerem que seja realizado um levantamento de campo bastante preciso, para que não ocorram erros. Com relação ao levantamento do contador volumétrico de juntas (J_v), os principais aspectos a serem considerados são a metodologia adotada e a precisão no levantamento de campo. Por exemplo, a ISRM (1978) recomenda a contagem das famílias, perpendicularmente, a principal família, mas, em alguns casos, esse procedimento pode eliminar da contagem algumas famílias, o que não é conveniente.

Em relação as classificações geomecânicas, utilizou-se as de BIENIAWSKI (1989), BARTON et al. (1974) e ROMANA (1985), que são as mais conhecidas, e as mais utilizadas em projetos de túneis e outras escavações subterrâneas, servindo de base para a comparação com outras classificações; e a de Romana, por ser mais utilizada para análise da estabilidade de taludes.

Numa segunda etapa foi feita a seleção da área, onde foram avaliados todos os aspectos que permitissem a realização da pesquisa. Dentre estes, aspectos pode-se citar que

para a escolha dessa, foram levados em conta o histórico de acidentes já ocorridos na área e a expansão urbana desordenada que ocorre na região.

Posteriormente, foi gerada a base de dados cartográficos. O mapa topográfico utilizado para os trabalhos de campo foi na escala 1:5.000, sendo que a base deste foram as folhas topográficas da CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) na escala 1:2.000 (Anexo I). Finalizando esta fase, realizou-se uma seção de fotointerpretação, com fotografias aéreas na escala 1:8.000 (1978), aonde foram traçados os contatos, lineamentos e direções principais das litologias presentes.

- **Fase II:**

Esta fase pode ser dividida em duas etapas. A primeira diz respeito ao levantamento geológico, e a segunda é com relação ao levantamento das discontinuidades presentes nos maciços rochosos. Desses levantamentos foram gerados documentos cartográficos, segundo a metodologia proposta por ZUQUETTE (1987/1993). Para a realização dessas duas etapas, foi elaborada um ficha de campo (Figura 2.2 a e Figura 2.2 b). Nessa ficha estão apresentados todos os aspectos a serem descritos, tanto na fase de levantamento geológico quanto na fase de levantamento das discontinuidades.

Na etapa de levantamento geológico, além de serem observadas todas as características presentes nas rochas da área, realizou-se também um pré-caminhamento (linhas de observação), afim de avaliar as áreas alvos para a realização das classificações geomecânicas.

Para a realização destes levantamentos utilizou-se a base cartográfica na escala 1:5.000, e fotografias áreas na escala 1:8.000. Após a realização dos trabalhos de campo, os dados obtidos foram analisados, e proporcionaram a geração de dois documentos cartográficos: mapa de documentação I (mapa auxiliar) e o mapa geológico (mapa básico fundamental).

No primeiro mapa estão localizados os pontos de observações geológicas, drenagens principais e localização das vias de acesso. No segundo estão contidas todas as informações geológicas observadas na área, e também os principais lineamentos obtidos via análise de fotografias aéreas. Nesta etapa foi gerado o mapa de feições dos movimentos de massa gravitacionais e processos correlatos (mapa básico opcional), onde adotou-se a classificação dos tipos de movimentos de massa proposta por VARNES (1978), já descrita no capítulo 1.

Classificação Geomecânica dos Maciços Rochosos na Serra de Ouro Preto - Ouro Preto (M.G.)

Ponto:	Data:	Localização:			
Resistência da Rocha intacta (ISRM): Grau de alteração (AFTES):					
Descrição Geológica:		Descrição Geotécnica			
Afloramento(Talude) Orientação:		Altura:	Inclinação:		
Tamanho dos Blocos:		Amostra:			
Orientação das descontinuidades: Direção/Mergulho		Croqui:			
F₁	F₂			F₃	F₄

FIGURA 2.2a - Ficha de campo para a descrição das características geológico-geotécnicas.

Características das Famílias de descontinuidades		
Família 01: Xistosidade		
Espaçamento:	Persistência:	Grandeza da Persistência:
Resistência das Paredes /Grau de alteração:	Abertura:	Preenchimento:
Percolação:	Rugosidade em pequena escala:	Rugosidade em grande escala:
Jv medido:	Obs:	
Família 02: Fratura		
Espaçamento:	Persistência:	Grandeza da Persistência:
Resistência das Paredes /Grau de alteração:	Abertura:	Preenchimento:
Percolação:	Rugosidade em pequena escala:	Rugosidade em grande escala:
Jv medido:	Obs:	
Família 03: Fratura		
Espaçamento:	Persistência:	Grandeza da Persistência:
Resistência das Paredes /Grau de alteração:	Abertura:	Preenchimento:
Percolação:	Rugosidade em pequena escala:	Rugosidade em grande escala:
Jv medido:	Obs:	

FIGURA 2.2b - Ficha de campo para a descrição das características geológico-geotécnicas.

Na segunda etapa desta, fase realizou-se o levantamento das descontinuidades presentes nos maciços rochosos. Esta segunda fase de campo começou na parte leste da área, e estenderia até a parte oeste. Mas, com o andamento dos trabalhos, observou-se que demandaria de um tempo bem maior do que o estipulado para finalizar os trabalhos de campo. Com isso, optou-se por realizar o levantamento das características geológico-geotécnicas na faixa leste da área.

Com a finalização desse trabalho de campo e análise dos dados, gerou-se mais dois documentos cartográficos: mapa de documentação II (mapa auxiliar) e uma carta de declividades (mapa básico fundamental). No primeiro estão localizados os pontos de observações geológico-geotécnicos, drenagens principais e localização das vias de acesso. E no segundo estão cartografadas as direções e mergulhos das encostas presentes na área mapeada.

- **Fase III:**

Nessa fase foram realizadas todas as análises dos resultados obtidos, referentes aos dados de campo e tratamento das informações.

Após os primeiros resultados das classificações geomecânicas, verificou-se que os valores de R.Q.D. se mostravam incoerentes com as observações de campo, e que seriam necessárias algumas modificações. Com isto é proposto um índice de correção para avaliar o parâmetro R.Q.D., e de posse dessas correções, foram gerados novos resultados das classificações geomecânicas.

Finalizando essa fase III, após as análises dos resultados, foram elaborados seis documentos cartográficos, que são as cartas de zoneamento (derivadas ou interpretativas) de cada um dos sistemas de classificações, sem e com correções. Eles são o resultado do cruzamento do mapa geológico, da carta de declividades e dos resultados das classificações geomecânicas. De posse desse zoneamento, pode-se classificar os maciços rochosos presentes na área, em função das suas famílias.

2.1 - MATERIAIS:

Neste item serão apresentados os materiais usados durante a execução dos trabalhos, para a elaboração desta dissertação. Foram divididos dentro de cada fase do trabalho, para uma melhor visualização em cada etapa.

- **Fase I:**

Os materiais usados nesta fase foram os seguintes:

- Folhas topográficas da CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) na escala 1:2.000 (1986), relacionadas abaixo:

Tabela 2.1 - Relação de folhas topográficas da CEMIG, na escala de 1:2.000.

<i>6544</i>	<i>6560</i>
<i>7460</i>	<i>7460</i>
6544	6560
7450	7450

- Fotografias aéreas na escala 1:8.000 (1978), tiradas pela Cruzeiro do Sul S.A, cujas faixas de vôo utilizadas são:

Faixa nº 3: 1164 - 1174

Faixa nº 4: 1126 - 1136

- **Fase II:**

Nesta fase, onde foram realizados os trabalhos de campo, os materiais utilizados são:

- Bússola (Breithantp-Kassel),
- Trena (Lufkin - 5 metros),
- Martelo de geólogo (Stanley),
- Máquina fotográfica (Yashica 35 GX - 35 mm),
- Caderneta de campo/planilha para levantamento de dados geomecânicos,
- Canivete,
- Lupa.

Nesta fase dos trabalhos, também, foram utilizadas as fotografias aéreas citadas na Fase I, na escala 1:8.000 e o mapa topográfico da área na escala 1:5.000, que se encontra nos anexos.

- **Fase III:**

Nesta fase, foram feitas as análises dos resultados, elaboração dos mapas e do relatório. Os “*softwares*” utilizados para tais fins são:-

“Softwares”:

- Autocad 14.0 (Autodesk): confecção de mapas e perfis geológicos,
- Excel 7.0 (Microsoft): planilhas para avaliação geomecânica e estatística,
- Classex 1.0 :avaliações geomecânicas,
- Word 7.0 (Microsoft): redação da dissertação,
- Dips 3.0 (Rock Engineering Gruop - Departament of Civil Engineering - University of Toronto): estereogramas.

Na Fase I também foram utilizados os programas Autocad 14.0, para digitalização do mapa topográfico na escala 1:5.000, e o Excel 7.0, para a elaboração das planilhas para os trabalhos de campo.

3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

3.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSOS:

A área em estudo localiza-se na porção centro-sul do estado de Minas Gerais, no município de Ouro Preto. Este pertence à mesoregião metropolitana de Belo Horizonte, a uma distância de 96 Km desta. As principais vias de acesso são as rodovias BR-356 (Rodovia dos Inconfidentes), MG-262, estradas vicinais e através da Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima (RFFSA).

O município abrange uma área de 1.274 Km², com 11 distritos, tendo como limites ao norte as cidades de Itabirito e Santa Bárbara, ao sul Catas Altas de Noruega, a leste Mariana e Piranga e a oeste Belo Vale e Moeda.

A área mapeada está situada dentro do sítio urbano de Ouro Preto, perfazendo um total de 2,88 Km² (Figura 3.1). A principal via de acesso é a BR-356, que liga as cidades de Ouro Preto e Mariana, sendo que, ao longo dessa rodovia, estão situados os bairros São Cristóvão, Veloso, Volta do Córrego, Lajes, Morro de São Sebastião e parte do Centro Histórico. A área está inserida na Aba Sul da megaestrutura do Anticlinal de Mariana e encontra-se limitada pelos vértices de coordenadas UTM: 655,00 E, 7746,60 N; 656,80 E, 7746,60 N; 656,80 E, 7745,00 N; 655,00 E, 7745,00 N.

3.2 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS:

O início do povoamento da região de Ouro Preto (antiga Vila Rica) se deu por volta de 1680, com a descoberta de ouro pelos bandeirantes e com a formação de vilarejos e arraiais. Estes arraiais foram agrupados e elevados à categoria de Vila Rica em 08 de julho de 1711, sendo escolhida como capital de Minas Gerais.

Posteriormente, passou a ser chamada de Cidade Imperial de Ouro Preto em 20 de fevereiro de 1823, nome este devido a descoberta de algumas ocorrências de ouro com uma coloração mais escura. Ouro Preto foi considerada sede do governo de Minas Gerais até 1897, quando, então, a capital foi transferida para Belo Horizonte.

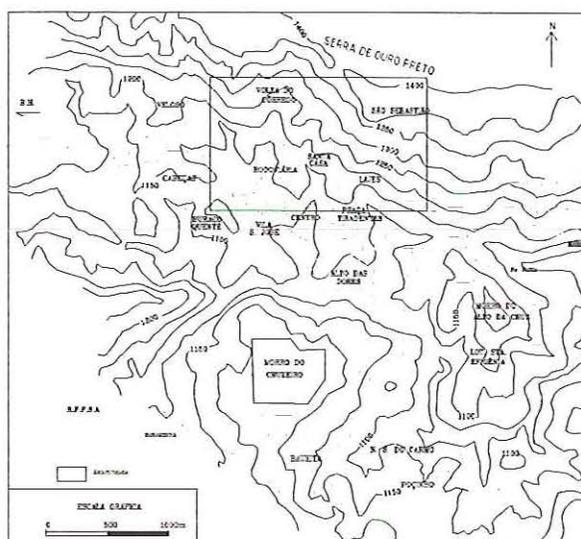


FIGURA 3.1 - Mapa de localização da área pesquisada, modificado de SOBREIRA (1993).

Em Ouro Preto, a ocupação de encostas tornou-se necessária desde meados do século XVII, ocasião em que a cidade cresceu assustadoramente, tornando-se um dos prósperos centros urbanos das Américas, devido a extração do ouro, chegando a uma população da ordem de 500.000 habitantes.

Na época do Ciclo do Ouro a população, principalmente do centro histórico, instalou-se de forma geral corretamente, ou seja, construíam acompanhando a topografia, evitando-se fazer cortes nas encostas e aproveitando os materiais que estivessem mais próximos para a construção das casas.

Entretanto, nas encostas próximas ao centro histórico, inicia-se uma ampliação da malha urbana com processos de ocupações desordenadas, ocasionadas principalmente devido

à extração de ouro, instalação da população de baixa renda e dos escravos que trabalhavam junto às minerações.

Com a crise econômica provocada pela decadência da exploração do ouro, no final do século XVIII, houve um esvaziamento populacional significativo, ficando a periferia da cidade despovoada.

Na década de 50, Ouro Preto sofreu um novo surto de desenvolvimento, representado pelas atividades siderúrgico - mineradoras, e por sua tradição como polo educacional e turístico. Porém, nas últimas décadas, a ocupação de encostas vem ocorrendo fora dos padrões técnicos, sendo inúmeros os episódios de escorregamentos em diversas áreas da cidade, ocasionando mortes e prejuízos materiais.

A pressão do crescimento leva a uma super utilização de um mesmo lote para a construção de novas casas e barrancos, quando se dá a ampliação das famílias. Fisicamente, são áreas totalmente impróprias à ocupação, sobretudo quando se conhece sua constituição geológica, sendo áreas altamente susceptíveis a movimentos de massa gravitacionais e processos correlatos.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), durante as décadas de setenta e oitenta, ocorreu um crescimento populacional considerável em Ouro Preto. Porém, na década de 90, este crescimento vem ocorrendo em menor proporção (Tabela 3.1). Isto se deve as diversas mudanças econômicas ocorridas no setor sidero - mineiro, e a uma difícil ampliação da malha urbana, por causa da topografia acidentada da região.

TABELA 3.1 - Dados da população residente no município de Ouro Preto.

ANOS	URBANA	RURAL	TOTAL(HAB.)
1970	31.883	14.282	46.165
1980	37.964	15.446	53.410
1991	-	-	62.483
1992	-	-	63.800
1993	-	-	65.003
1995	-	-	66.134

Fonte: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E
ESTATÍSTICA (IBGE, 1995)

Com relação a estrutura econômica do município de Ouro Preto, pode-se dizer que, ainda, existe um predomínio do setor mineral, extração e transformação, de diversos bens

minerais; por exemplo ferro, bauxita, manganês, pirita, topázio imperial e rochas ornamentais. A atividade agropastoril também exerce alguma influência na estrutura econômica da região, sendo que ela se concentra mais nos distritos do município de Ouro Preto.

Contribuição que vem das atividades ligadas ao turismo, tanto nacional quanto internacional, devido a um rico conjunto arquitetônico existente na cidade, vem sendo a mais regular. Desde o século XVIII essa arquitetura barroca é preservada, sendo marcada, principalmente, por casarios, pontes, chafarizes. Essa preservação, de mais de duzentos anos, elevou a cidade a condição de Patrimônio Histórico da Humanidade pela UNESCO, em 2 de setembro de 1980.

3.3 - GEOLOGIA:

A - CONSIDERAÇÕES GERAIS:

A área em estudo está inserida regionalmente na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero. O Quadrilátero Ferrífero compreende uma área de 7.200 Km², localizada na porção centro-sul do estado de Minas Gerais. Devido as grandes riquezas, principalmente o ferro, ouro, manganês, e pelas características especiais dos aspectos geológicos têm sido alvo, desde o século VIII, de diversos estudos nesta região.

Pioneiros estudos regionais foram preparados por DERBY (1906), que definiu as rochas metavulcânicas e metassedimentares sobrepostas ao embasamento, como sendo a base da 'Série Minas'; e por HARDER & CHAMBERLYN (1915) que estabeleceram a primeira coluna litoestratigráfica para o Quadrilátero Ferrífero.

Começa então uma série de trabalhos que modificam essa coluna estratigráfica. Dentre esses destacam-se GUIMARÃES (1931), DORR (1969), LADEIRA (1980), ALKMIN et al. (1988) e ENDO (1997). Em relação aos aspectos da evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, podem ser citados trabalhos atuais como os de MARSHAK & ALKMIN (1989), CHEMALE JR. et al (1991) e ENDO (1997).

Geotectonicamente, o Quadrilátero Ferrífero está situado na porção meridional do Cráton São Francisco (Figura 3.2), compreendendo uma região da crosta estabilizada a partir do ciclo Brasileiro, sendo que no Arqueano fazia parte de um grande bloco crustal denominado o Cráton do Paramirim (ALMEIDA, 1981).

O Cráton do São Francisco é considerado como a porção da crosta continental, da parte centro-leste do continente Sul-Americano, que se comportou de modo relativamente estável face à estruturação de faixas móveis orogênicas neoproterozóicas, denominadas Faixas

Rio Preto, Riacho do Pontal, Sergipana, Alto Rio Grande, Brasília e Araçuaí, conformadas dicrônicamente durante o evento tectônico Brasileiro (450-680 m.a.).

B - LITOESTRATIGRAFIA:

O Quadrilátero Ferrífero é composto por três unidades litoestratigráficas (Figura 3.3). A primeira unidade é formada pelo Complexo Metamórfico, que contém o embasamento cristalino, seguida das sequências vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belt*, representadas pelo Supergrupo Rio das Velhas. E na terceira unidade, sobreposta discordantemente, tem-se as sequências plataformais do proterozóico inferior, que correspondem ao Supergrupo Minas, Grupo Sabará e Grupo Itacolomi, terminando com coberturas sedimentares mais recentes, denominadas de Bacias do Gandarela e Fonseca.

•COMPLEXO METAMÓRFICO

O Complexo Metamórfico do embasamento cristalino é representado por diversos corpos de rochas granito-gnaíssicas, que localizam-se às margens e na porção central deste. Estes corpos correspondem aos Complexos do Bação e Moeda, a oeste; Complexo Congonhas, a sudoeste; Complexo Caeté, a nordeste; Complexo Belo Horizonte, a norte; Complexo Santa Rita, a sudeste; e outros individualizados informalmente. Fisiograficamente, apresentam baixos topográficos e relevos característicos do tipo “meia laranja” e de aspecto dômico.

• SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

O Supergrupo Rio das Velhas é constituído de rochas metavulcânicas e metassedimentares sobrepostas, discordantemente ao embasamento cristalino; compreende a unidade de maior expressão em área no Quadrilátero Ferrífero.

DORR (1969) dividiu o Supergrupo Rio das Velhas em dois Grupos denominados Nova Lima (inferior) e Maquiné (superior). O Grupo Maquiné é dividido em duas formações: uma unidade basal é a Formação Palmital (O' ROURKE, 1958 apud DORR, 1969), composta por quartzitos sericíticos, filitos quartzosos e filitos; e uma unidade de topo, a Formação Casa Forte (GAIR, 1962, apud NALINI, 1993) que é composta por quartzitos sericíticos, cloríticos a xistosos e filitos.

•SUPERGRUPO MINAS

O Supergrupo Minas foi dividido por DORR (1969), da base para o topo, nos Grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba.

Grupo Tamanduá: o Grupo Tamanduá é composto por quartzitos, xistos argilosos e quartzosos, filitos, itabiritos e dolomitos (SIMMONS & MAXWELL, 1961).

Grupo Caraça: o Grupo Caraça é composto essencialmente por metassedimentos clásticos, sendo subdividido em duas formações: a Formação Moeda (quartzitos sericíticos, finos a grossos com lentes de conglomerados e filitos arenosos) e a Formação Batatal (filitos sericíticos e filitos grafitosos), segundo MAXWELL (1958).

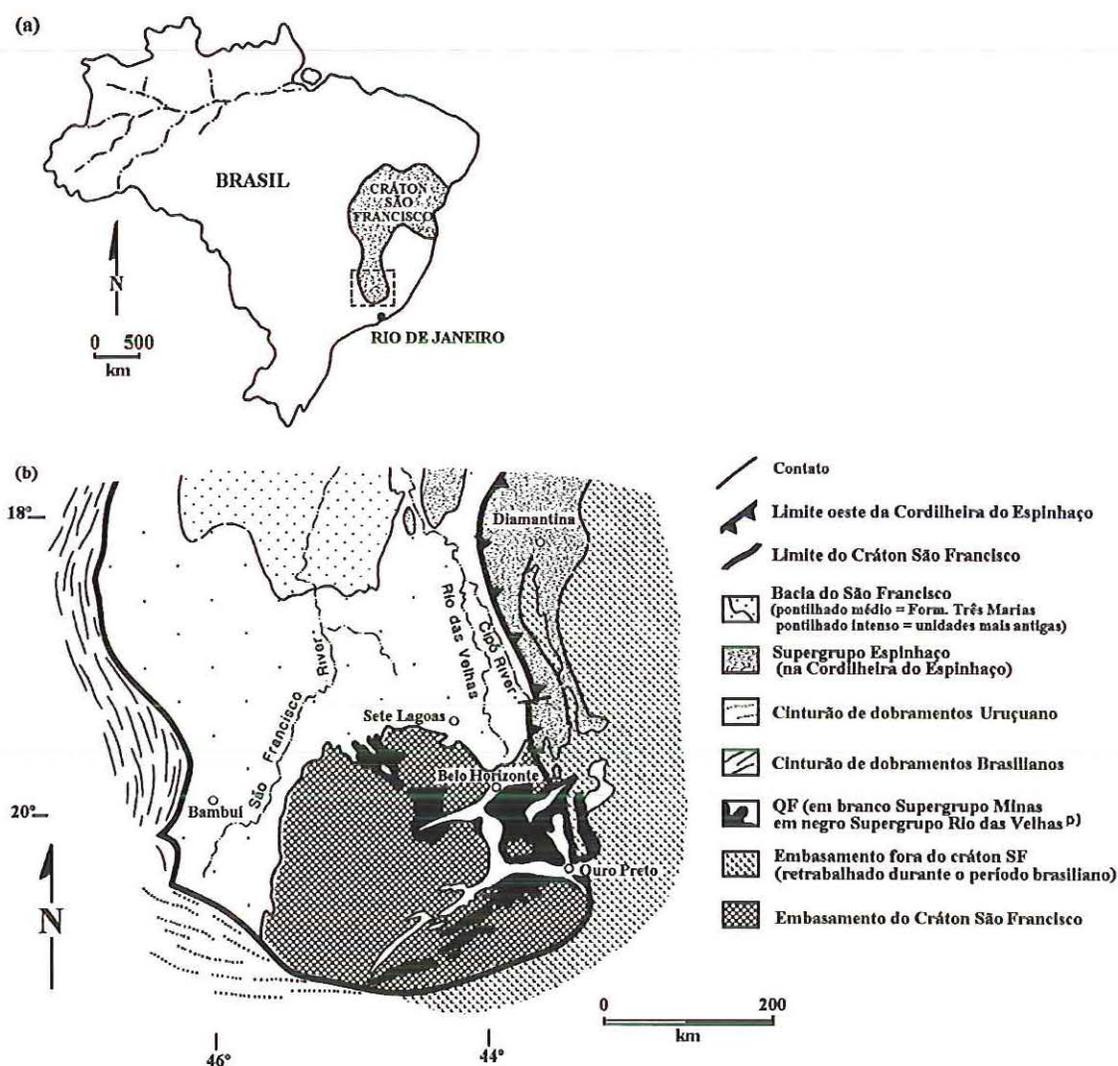


FIGURA 3.2 - Mapa de Localização do Cráton do São Francisco (a) e a posição relativa do Quadrilátero Ferrífero (b); MARSHAK & ALKMIN, (1989).

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	Esp. Máx.(m)		
PROTEROZOÍCO	PALEO		Itacolomi	Indiviso	Ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos, filitos e conglomerados com seixos de itabiritos.	> 1000	
			Sabará		Clorita – xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados e quartzitos.	>3000	
		Minas	Piracicaba	Barreiro		filitos e filitos grafitosos.	150
				Taboões		Ortoquartzitos.	125
				Fêcho do Funil		filitos, filitos dolomíticos e dolomito silicoso.	410
				Cercadinho		Quartzitos ferruginosos, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos.	600
			Itabira	Gandarela		Dolomitos, filito dolomítico e calcários.	600
				Cauê		Itabirito, itabirito dolomítico, hematita.	350
			Caraça	Batatal		filitos e filitos grafitosos.	250
				Moeda		Quartzito sericítico, conglomerados e filitos.	1000
		ARQUEANO	Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso	Quartzitos, conglomerados, sericita-quartzo-xisto e filitos.	>1800
Nova Lima	Indiviso			Filito clorítico, filito grafitoso, metagrauvacas, formações ferríferas, quartzitos, metacherts, dolomitos, rochas máficas e ultramáficas, sericita-quartzo-xisto.	>4000		
Quebra Ossos	Indiviso			Komatitos, formações ferríferas e metacherts.	>600		
Complexos Metamórficos			Indiviso	Gnaisses bandados, gnaisses migmáticos, augen gnaisses, granitos.			

FIGURA 3.3 – Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Endo, 1997).

Grupo Itabira :constitui a seqüência química do Supergrupo Minas (HARDER & CHAMBERLYN, 1915; DORR et al., 1957). DORR (1969), dividiu o Grupo Itabira em duas formações : a Formação Cauê que é composta predominantemente por formações ferríferas bandadas do tipo lago superior, dolomitos, itabiritos anfibolíticos, hematitas e horizontes manganezíferos. E a Formação Gandarela composta por rochas carbonáticas, dentre elas, dolomitos, itabiritos dolomíticos e filitos dolomíticos.

Grupo Piracicaba: o Grupo Piracicaba encontra-se sobreposto em discordância erosiva aos sedimentos do Grupo Itabira. DORR et al. (1957) dividiram este grupo em cinco formações:

- Formação Cercadinho (POMERENE, 1958a), composta de quartzitos ferruginosos, filitos ferruginosos, filitos, quartzitos e pequenas intercalações de dolomitos;
- Formação Fecho do Funil (SIMMONS, 1958), composta de filitos dolomíticos, filitos e dolomitos impuros;
- Formação Taboões (POMERENE, 1958b), formada por quartzitos finos e maciços, e ortoquartzitos;
- Formação Barreiro (POMERENE, 1958c), formada por filitos e filitos grafitosos;
- Formação Sabará (DORR, 1969), composta de filitos, clorita xistos, metagrauvas, metacherts, metatufos, metaconglomerados e quartzitos. Trabalhos como o de BARBOSA (1968), propõem a separação desta do Grupo Piracicaba, elevando-a condição de grupo.

Grupo Sabará: BARBOSA (1968) e LADEIRA (1980) propõem a separação da Formação Sabará do Grupo Piracicaba. Segundo DORR (1969), este grupo ocorre na região de Ouro Preto, no Sinclinal Gandarela, no Sinclinal Dom Bosco, na região de Congonhas. Sendo que a sua seção tipo ocorre no município de Sabará. O Grupo Sabará é formado por filitos, xistos cloríticos com intercalações de metaconglomerados, metagrauvas, metachert, metatufos e metabasaltos (NOCE, 1995).

• **GRUPO ITACOLOMI**

Chamado de Série Itacolomi por GUIMARÃES (1931), é constituído por rochas quartzíticas, de granulometria grossa, quartzitos micáceos de grãos angulosos de quartzo com vários milímetros de diâmetro e filitos. Em menor quantidade tem-se quartzitos ferruginosos, quartzo xistos e conglomerados monomíticos (grãos de quartzo de veio).

• COBERTURAS SEDIMENTARES FANEROZÓICAS

As coberturas fanerozóicas de idade terciária ocorrem no Quadrilátero Ferrífero, sendo representadas pelas bacias do Gandarela e Fonseca (GORCEIX, 1884, apud NALINI, 1993).

• ARCABOUÇO ESTRUTURAL

As principais megaestruturas do Quadrilátero Ferrífero estão representadas pelas seqüências metassedimentares do Supergrupo Minas (Figura 3.4).

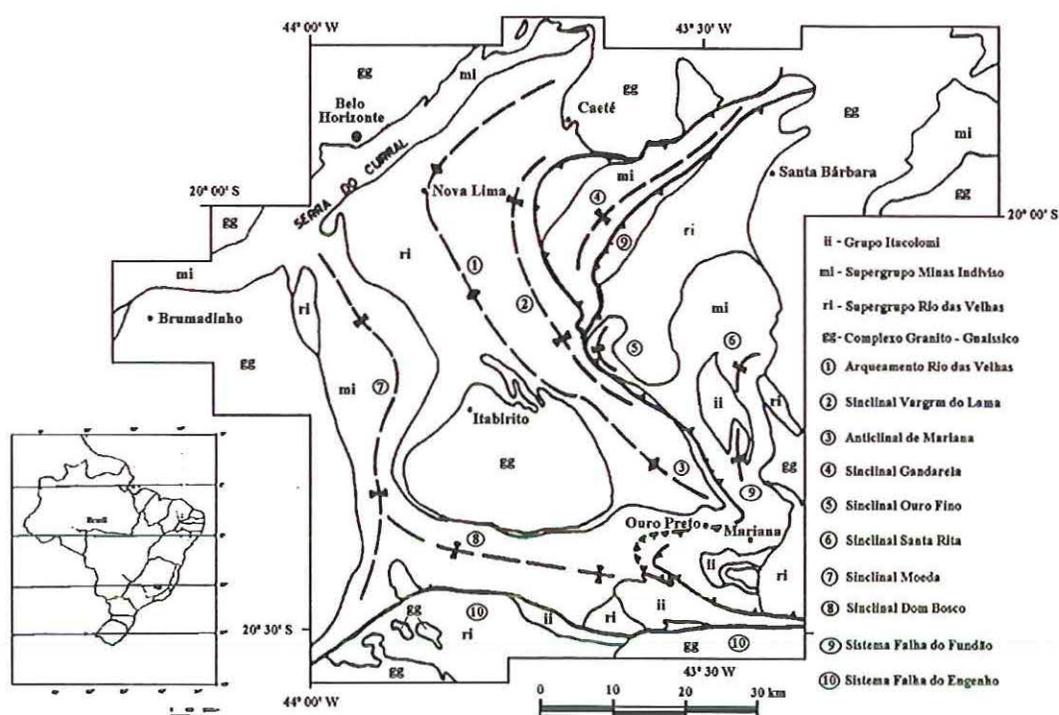


FIGURA 3.4 - Mapa representativo das principais feições morfoestruturais do Quadrilátero Ferrífero (modificado de DORR, 1969)

Destacam-se entre estas estruturas o Homoclinal da Serra do Curral, no extremo norte; o Sinclinal Moeda, a oeste; o Sinclinal Dom Bosco, a sul; o Sinclinal Santa Rita, a leste; os Sinclinais de Gandarela e Ouro Fino, a centro-oeste, tendo à sudoeste do Sinclinal

Gandarela o Sinclinal Vargem do Lima; e o “Uplift Rio das Velhas”, conectado a sudeste com o Anticlinal de Mariana.

Além destas estruturas principais, podem ser citados também os dois grandes sistemas de falhas, denominadas de Sistemas de Falhas Fundação-Cambotas e da Água Quente a leste, e o Sistema de Falha do Engenho a sul.

O arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero vem sendo, durante anos, motivo de diversos estudos por vários autores, cada qual abordando questões distintas.

A mais recente, de ENDO (1997), o autor propõe que a evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero é interpretada como sendo o resultado da superposição de três ciclos tectono-deformacionais principais: Jequié, Transamazônico e Brasileiro. O ciclo orogênico Jequié se processou no intervalo entre 2.780 a 2.555 Ma, sobre condições metamórficas de fácies xisto-verde a anfíbolito médio e, em um regime tectônico transpressional, com plano de fluxo N-S, vertical. Este ciclo é composto por três eventos tectônicos distintos.

O ciclo orogênico Transamazônico é constituído por dois eventos tectônicos compressionais e dois eventos extensionais, alternados, que ocorreram em um intervalo mínimo entre 2.250 a 1.900 Ma, em condições metamórficas de fácies xisto-verde baixo a anfíbolito. Neste ciclo, os eventos, podem ser interpretados como dois megaeventos tectônicos progressivos, cuja evolução se processou em regime transpressional. Já o ciclo orogênico Brasileiro é constituído de dois eventos tectônicos desenvolvidos em regime transpressional, com plano de fluxo NE-SW e em condições metamórficas de fácies xisto-verde.

3.4 - GEOMORFOLOGIA:

Em termos regionais, o Quadrilátero Ferrífero está localizado na parte meridional das serras do Espinhaço, entre a Depressão Sanfranciscana e os planaltos dissecados do centro-sul e do leste do estado (SOUZA, 1996).

As altitudes relativas da região do Quadrilátero Ferrífero estão em torno de 800-900 m acima do nível do mar, sendo que em alguns trechos podem atingir até 1.500 m. As cotas mais elevadas estão situadas na Serra do Caraça (2.000 m) e as mais baixas (600 m) a SE da cidade de Ouro Preto.

Segundo OLIVEIRA & DIAS (1996), em toda a extensão do Quadrilátero Ferrífero as cotas altimétricas estão orientadas em correspondência às características litológicas e estruturais da região, havendo trechos de terrenos resistentes, do Supergrupo Minas, que sobreviveram ao trabalho erosivo. Sendo que, ainda, podem ser observadas algumas feições

do relevo antigo, mas na maior parte do Quadrilátero Ferrífero, devido a intensa atividade erosiva, somente restam algumas cristas estreitas.

Em termos locais, o município de Ouro Preto é delimitado pelas serras da Moeda, Ouro Preto, Caraça e Itacolomi, onde o relevo destas serras é caracterizado por ser bastante acidentado.

Com relação a área urbana da cidade de Ouro Preto, esta se encontra localizada em um vale formado pela Serra de Ouro Preto e do Itacolomi, onde estão situadas as rochas mais antigas do Grupo Piracicaba (Supergrupo Minas), com a formação de colinas e contrafortes transversais. Já no sentido sul, o relevo tende a assumir os altos moderados típicos do Grupo Sabará.

A área em estudo está situada na Serra de Ouro Preto, e com uma parte dentro do vale, já citado anteriormente, tendo suas cotas variando de 1.070 a 1.420 m. Dentre as principais características geomorfológicas encontradas na área, pode-se citar a forma geomorfológica que ocorre nos itabiritos.

Esta forma denominada de “*hogback*” (homoclinal), é encontrada também em outras áreas do Quadrilátero Ferrífero. Quando encontrada em itabiritos menos resistentes, tem-se também “*hogback*” de duas cristas.

Este é originado quando o itabirito é sotoposto por um quartzito resistente, ou separado por estreitas camadas de filito, formando, assim, uma crista mais alta de quartzito e outra mais baixa, que é constituída por itabiritos. Nos trechos onde o itabirito é erodido, a segunda crista reduz-se a uma série de contrafortes triangulares denominados de “*flatirons*” (DIAS & CORDEIRO, 1996).

3.5 - CLIMA:

O clima do município de Ouro Preto é do tipo Cwb (tropical de altitude), ou seja, mesotérmico úmido, com inverno seco e verão brando, segundo KOPEN (1948) apud SOUZA (1996).

A temperatura média anual é de 18,5° C (IGA, 1995), sendo o mês de janeiro o mais quente (média de 21,2°C) e o de julho o mais frio (média de 15,5°C). As temperaturas mais elevadas coincidem com o semestre chuvoso, já as temperaturas mais baixas ocorrem no semestre seco.

Com relação a pluviometria da região de Ouro Preto, o período chuvoso se estende de outubro a março. A altitude elevada é considerada um dos fatores responsáveis pelo alto

índice pluviométrico, pois, os máximos valores de precipitações são observados em locais de relevo acentuado, o que demonstra a importância da topografia associada aos altos índices de umidade relativa, induzindo precipitações isoladas ou intensificando as linhas de instabilidade tropicais” (MAIA, 1986 apud IGA, 1995).

Dados mais recentes estão apresentados na tabela 3.2, onde está resumido os dados de precipitação pluviométrica acumulada, mensal e anual, para o período de janeiro de 1988 a abril de 1997.

Segundo BONUCCELLI (1999), a direção dos ventos que predomina em Ouro Preto é sudeste com uma velocidade média de 2,5 m/s. Esses dados são relativos às médias mensais das leituras executadas na estação meteorológica da Escola Técnica Federal de Ouro Preto (ETFOP), para os anos de 1981 a 1990, sendo esses fornecidos pelo 5º Distrito Meteorológico.

TABELA 3.2 - Dados da precipitação, mensal e anual, dos anos de 1988-1997
(BONUCCELLI, 1999).

Mês/Ano	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Janeiro	290,6	176,6	88,8	604,5	687,5	144,8	367	174,6	136,3	572,9
Fevereiro	278,5	317,4	141,5	256,1	292,7	204	59,5	188,5	309,8	138,1
Março	99,5	188,1	109,3	310,1	62,3	168,3	206	226,9	167,4	204,1
Abril	205,4	16,2	75	65,1	93,5	165,1	60,8	66,7	51,1	96,5
Mai	53	1,1	61,9	37	91,1	40,4	35,6	24,3	49,4	20,8
Junho	0,8	40,9	12,2	7,5	1,5	14,7	3,9	5,5	2,6	12,7
Julho	0	49,5	30,7	2,6	18,7	0	1	8,2	0	2,2
Agosto	0	28,1	52,4	2	21,8	11,7	0	0	5,9	3,1
Setembro	33,4	93,7	44,9	93,4	132,1	73,9	1,2	15,7	96,5	90,5
Outubro	80,2	154,4	69,8	115	156,9	202,5	120	178,3	153,2	193,3
Novembro	127,7	212,8	159,4	158,1	347,7	136,2	130	200,3	407,4	189
Dezembro	177,2	555,1	159,2	277,5	410,9	289,1	330	514,5	400,3	165,6
Total (mm)	1347	1834	1005	1929	2317	1451	1315	1604	1780	1689

De acordo com estudos realizados pelo IGA (1995), o ano de 1916 aparece como o mais chuvoso, com 2.711,3 mm distribuídos em 142 dias, e os de 1939 e 1984 como os mais secos. Sendo que os anos de 1924 e 1979 foram considerados anos anômalos, pois as chuvas alcançaram em 1924, em janeiro, a marca de 793,4 mm distribuídos em 28 dias.

Em janeiro de 1979, as chuvas atingiram a marca de 750,4 mm durante 20 dias, correspondendo uma média de 37,5 mm de chuva /dia. O maior índice registrado nesse ano foi de 161 mm, em 1º de fevereiro, ocorrendo os mais sérios fenômenos de deslizamentos e

desmoronamentos, resultando em grandes transtornos à população, principalmente aos que habitavam as encostas.

3.6 - HIDROGRAFIA:

O município de Ouro Preto é formado por uma densa rede de drenagens, constituída por diversos rios, ribeirões e córregos, além de um grande número de nascentes e fontes naturais (SOUZA, 1996).

De acordo com o IGA (1995), existem duas grandes bacias hidrográficas no município de Ouro Preto, que são: a do São Francisco, onde está localizada a nascente do Rio das Velhas, considerado principal coletor de drenagens do Quadrilátero Ferrífero, e a bacia do Rio Doce.

No centro urbano de Ouro Preto ocorre o Ribeirão do Funil, que corta praticamente toda a cidade. A constituição geológica do Ribeirão do Funil é de rochas metassedimentares e metavulcânicas, pertencentes aos Supergrupos Minas e Rio das Velhas, permitindo identificar num primeiro nível de classificação, a ocorrência predominante de aquíferos em meio fraturado.

O caráter metamórfico, grau de compactação e forte foliação tornam essas rochas praticamente impermeáveis, e a ocorrência de água subterrânea é limitada às cavidades provocadas por sistemas de fraturas.

No que diz respeito a Serra de Ouro Preto pode-se dizer, através de análises de fotografias aéreas, que a rede de drenagem proporciona, no seu geral, uma ampla organização dessas N/S, isso, principalmente, devido ao relevo ser bastante acidentado e a distribuição das rochas pela Serra de Ouro Preto.

Do ponto de vista hidrogeológico, segundo o IGA (1995), na maior parte das áreas de encostas com alta declividade e, conseqüentemente, de maior propensão à erosão, não ocorrem aquíferos, ou zonas saturadas, predominando o escoamento superficial e subsuperficial, exercendo forte influência nas direções preferenciais de fluxo em fraturas e outras discontinuidades das rochas.

Com isso, os riscos de deslizamentos e solapamentos, com transporte e deslocamento de massa, estão relacionados não somente a instabilidades provocadas pelo escoamento superficial concentrado, mas, também, pela grande capacidade de retenção de água das formações superficiais, criando condições de pressões neutras com o encharcamento, após fortes chuvas, capazes de alterar o equilíbrio geotécnico existente.

4 - RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 - CONSIDERAÇÕES BÁSICAS:

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos e respectivas análises. Numa primeira etapa serão apresentados os documentos cartográficos gerados através do emprego das metodologias e materiais descritos anteriormente no capítulo 2.

Em uma segunda etapa serão apresentados os resultados obtidos, através das classificações geomecânicas. Após as primeiras análises, destes resultados, verificou-se que seriam necessárias algumas modificações com relação ao parâmetro R.Q.D. (*“Rock Quality Designation”*), dentro das classificações.

Com isto foi proposto um índice de correção para esse parâmetro, descrito no item 4.4 deste capítulo, afim de se obter um resultado mais próximo das condições observadas em campo, em função das características intrínsecas litológicas. Logo após serão apresentados os resultados das classificações geomecânicas, com o índice de correção proposto e finalmente, a análise dos resultados obtidos.

4.2 - DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS:

Os documentos cartográficos, gerados numa primeira análise, dos resultados obtidos em campo são: mapas de documentação I e II (auxiliares), mapas topográfico e geológico, carta de declividades (básicos fundamentais) e mapa de feições dos movimentos de massa gravitacionais.

a - Mapa Topográfico - Anexo I:

O mapa topográfico é de caráter básico fundamental, elaborado na escala 1:2.000, tendo como base as folhas topográficas da CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) na escala 1:2.000, já citadas no capítulo 2.

Esse mapa possui curvas de nível com equidistância de 2 metros, donde originou-se um outro mapa topográfico na escala 1:5.000, utilizado para a realização dos trabalhos de campo e geração dos outros documentos cartográficos.

b - Mapa de Documentação I - Anexo II:

O Mapa de Documentação I é de caráter auxiliar, elaborado em escala 1:5.000, e apresenta as principais vias de acesso e edificações, minas de ouro inativas, rede de drenagens e pontos de observação geológica, bem como os principais divisores de águas superficiais.

As principais vias de acesso localizadas no mapa são as Ruas Padre Rolim e Conselheiro Quintiliano, que cortam a área na sua porção central. Essas ruas se encontram com diversas outras, ligando a parte histórica da cidade com a Serra de Ouro Preto, já em franco processo de ocupação urbana.

Dentre as edificações principais, podem ser citadas a Praça Tiradentes, marco do turismo na cidade, e a Santa Casa de Misericórdia onde ocorreram alguns movimentos de massa provocando acidentes próximos.

Com relação a rede de drenagem, pode-se dizer que possui um padrão geral N-S, em quase toda a área, marcada, principalmente, pela posição da encosta e estruturação geológica. Somente na porção SW é que a drenagem possui uma mudança de direção para SE, devido a variações da encosta.

A drenagem apresenta densidade alta, principalmente na porção da Serra de Ouro Preto, modificando um pouco sua intensidade na parte referente ao centro histórico devido as alterações antrópicas, no que diz respeito aos divisores de águas superficiais, estão representados no mapa os principais.

Os pontos de observação geológica (156 pontos) foram obtidos por caminhamentos feitos na área, com a ajuda de fotografias aéreas na escala 1:8.000 (1978) e um mapa topográfico em escala 1:5.000, para uma melhor orientação devido a topografia bastante acidentada.

No levantamento desses pontos, foram observadas e descritas todas as características geológicas presentes nas rochas, bem como a realização de registros fotográficos e coleta de materiais rochosos.

A respeito da distribuição dos pontos, observa-se que existe uma concentração em alguns locais da área, e em outros ocorre uma distribuição irregular desses. Isto se deve a alguns fatores: topografia acidentada, vegetação intensa dentro das drenagens e impossibilidade de entrada em alguns locais por moradores, principalmente na porção da Serra de Ouro Preto.

Já com relação aos pontos dentro da porção do centro histórico, o fator principal desta irregular distribuição é a ocupação urbana, que cobre grande parte dos afloramentos existentes na área.

c - Mapa de Documentação II - Anexo III:

No Mapa de Documentação II estão registrados (escala 1:5.000) os pontos de observações, voltados às classificações geomecânicas (125 pontos), principais vias de acesso e edificações, minas de ouro inativas, rede de drenagens e principais divisores de águas superficiais.

Nos pontos de observações foram descritos todos os parâmetros necessários para avaliação das classificações geomecânicas. As descrições seguiram as metodologias propostas no capítulo 2, pois, realizou-se um detalhamento do maciço rochoso, afim de se classificar seu comportamento, com a finalidade de gerar as cartas de zoneamento.

Nesses pontos, além das descrições de campo, foram realizados registros fotográficos e coleta de materiais rochosos.

Com relação a distribuição dos pontos, observa-se que não cobrem toda a área, visto as dificuldades encontradas.

Com o andamento dos trabalhos, e por não se ter muitos trabalhos na literatura que utilizassem classificações geomecânicas como ferramenta para o mapeamento geotécnico, optou-se por mapear somente 1,6 Km² da área pois, para cobrir toda a extensão, demandaria um tempo bem maior do que o estipulado.

d - Mapa Geológico - Anexo IV:

Neste tópico será descrito o mapa geológico, gerado para a área na escala 1:5.000, onde estão delimitadas as litologias, os principais lineamentos e aspectos estruturais encontradas na área pesquisada.

Logo após a realização dos levantamentos de campo, os dados foram lançados na base cartográfica, e com a ajuda de fotografias aéreas (1:8.000) foram traçados os contatos, os lineamentos e as direções principais das camadas das litologias.

A área, mesmo sendo mapeada em escala de detalhe, apresenta uma diversidade de litologias. Essas litologias foram classificadas (Tabela 4.1), após a fase de campo, de acordo com a coluna estratigráfica de ENDO (1997). Optou-se por esta coluna, devido ser um dos trabalhos mais recentes sobre a geologia estrutural do Quadrilátero Ferrífero, e por ter uma litoestratigrafia bastante conhecida na literatura. Porém, em termos geotécnicos, o interesse está diretamente relacionado a litologia.

TABELA 4.1 - Coluna estratigráfica para a área estudada.

Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	Símbolo
	Sabará	-	clorita-xisto	ms
Minas	Piracicaba	Cercadinho	quartzitos e filitos	mpc
	Itabira	Cauê	itabirito	mic
	Caraça	Batatal	filito	mcb
		Moeda	quartzito sericítico	mcm
Rio das Velhas	Nova Lima	Indiviso	quartzo-sericita-xisto	RvnL

As litologias estudadas serão descritas a seguir, e apresentadas todas as características geológico-geotécnicas observadas em campo. Essas rochas apresentam fraturamento intenso, pois, encontram-se inseridas dentro de uma porção do Quadrilátero Ferrífero que sofreu uma intensa atividade tectônica.

Dentre as estruturas presentes, pode-se citar a ocorrência de dobras, em diferentes escalas, pequenas falhas e a existência de veios de quartzo de diversas dimensões, que cortam a Serra de Ouro Preto, sendo correlacionados às zonas de mineralizações de turmalinitos auríferos (CAVALCANTI & SCHRANK, 1999).

As rochas são caracterizadas por apresentarem, em geral, uma direção das camadas de NW para SE, com mergulhos para SW, distribuição esta que é melhor representada no próprio mapa; bem como no perfis (A-A', B-B' e C-C') elaborados e colocados nos Anexos

(IV.1, IV.2 e IV.3). Com relação aos lineamentos, observa-se, através da análise de fotografias aéreas, escala 1:8.000, que eles apresentam um padrão característico do Quadrilátero Ferrífero que é NNW/SE, NNE/SW e N-S.

Outro aspecto a ser mencionado são as diferenças no padrão dos lineamentos, dentro das litologias presentes na área, às vezes marcados, principalmente, pela topografia acidentada e pela geologia estrutural da região.

Na parte alta da área, que se situa acima das ruas Padre Rolim e Conselheiro Quintiliano, os lineamentos seguem um padrão bastante denso com direções preferenciais NNW/SE e NNE/SW. Já na parte baixa, centro histórico, ocorre uma distribuição menos densa com padrões de direção preferenciais para NNW/SE e N-S.

Em função do escopo do trabalho, da escala de detalhe com que foi feito o mapeamento e o tamanho da área, não foi possível realizar um estudo mais profundo sobre a geologia estrutural, da área dentro do contexto regional. Observa-se que existem muitos elementos estruturais de grande importância para estudos mais direcionados à geologia estrutural. As análises em estereogramas, das principais estruturas para cada litologia, encontram-se no Apêndice I.

d.1 - Domínios Litológicos :

• Quartzo - sericita - xisto (RvnL):

Esse domínio litológico está localizado na parte norte da área e, também, numa pequena faixa a sudoeste. Com relação as características da rocha mapeada, tem-se que o sericita-quartzo-xisto (RvnL) apresenta uma cor marrom clara, aspecto untoso, em alguns pontos mostrando-se avermelhada, isto em função de níveis de ferro presentes na rocha. Em termos mineralógicos, ocorre o predomínio do mineral micáceo sericita (Figura 4.1). Na rocha se observa pequenas dobras, e em alguns pontos, veios de quartzo cortando a foliação. Tem-se também, a presença de “*boudins*” preenchidos por quartzo de diversas dimensões, que se encontram em quase todos os pontos observados dentro do xisto (Figura 4.2).

Essa rocha, em termos geotécnicos, apresenta uma baixa resistência mecânica (1-5 MPa) e um alto grau de alteração (rocha muito alterada).



FIGURA 4.1 - Afloramento de quartzo-sericita-xisto (RvnL).



FIGURA 4.2 - Presença de "Boudins" nos quartzo-sericita-xistos (RvnL).

Ocorre a presença de quatro famílias de descontinuidades, sendo a principal a família F1, que representa a xistosidade. Observa-se níveis arenosos (quartzo) de diversas dimensões, que acompanham a foliação e são caracterizados como a família F2, sendo que a descrição dessas famílias estão no item 4.3.1..

• **Quartzito sericítico (mcm):**

Essa litologia está localizada na faixa sudeste da área, que se estende em direção a noroeste desta, em menor proporção. A rocha mapeada é o quartzito sericítico (mcm), que tem como características principais uma cor de tons claros a rosa; níveis sericíticos em sua mineralogia que, em alguns pontos, apresentam como uma capa por cima deste quartzito, com presença de lineação de crenulação (Figura 4.3). Associado a esse quartzito, ocorrem veios de quartzo de diversas dimensões estando correlacionados às zonas de mineralizações de turmalinitos auríferos (CAVALCANTI & SCHRANK, 1999), que ocorrem por toda a Serra de Ouro Preto.

Observa-se, também, um intenso fraturamento presente (Figura 4.4) nesse quartzito que, às vezes, está correlacionado aos veios de quartzo, ou parcialmente fechado. Em alguns pontos, esse conjunto de fraturas se truncam, e ocorre a presença de “*boudins*” preenchidos por quartzo.

Esta rocha, em termos geotécnicos, apresenta uma alta resistência mecânica (50-100 MPa) e um baixo grau de alteração (rocha sã). Ocorre a presença de quatro famílias de descontinuidades, sendo a principal a família F1, que representa a foliação. A família F2 e F4 são representadas por veios de quartzo e a outra família ocorre sem preenchimento, fechada e com persistência pequena.

• **Filito (mcb):**

Essa litologia ocorre em faixas descontínuas, na parte central da área, devido a ocorrência de um processo erosivo. A rocha mapeada é um filito (mcb), que apresenta uma cor cinza claro, aspecto untoso, que em alguns pontos observa-se uma capa ferruginosa por cima deste. Em sua mineralogia há um predomínio de sericita e de outros minerais micáceos, como a biotita (Figura 4.5). Observa-se, ainda, a presença de pequenas dobras, fraturas e lineação de crenulação por toda a superfície da rocha (Figura 4.6).



FIGURA 4.3 - Afloramento de quartzito sericítico (mcm).

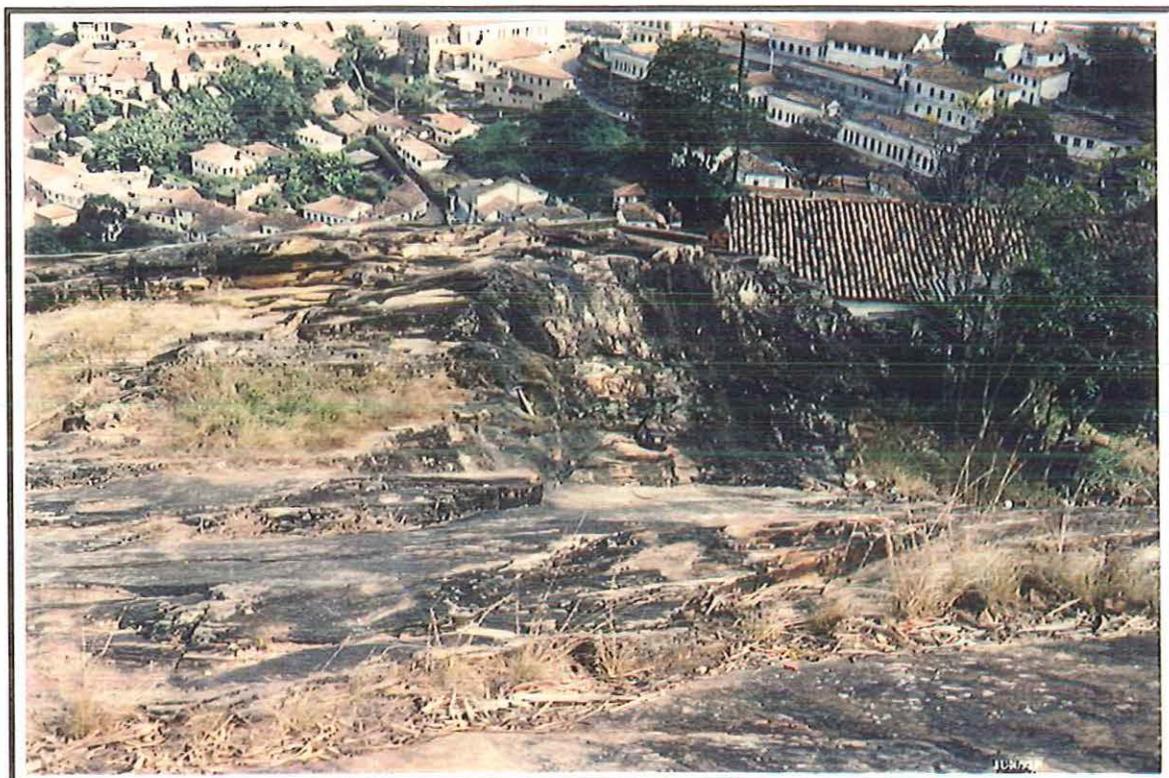


FIGURA 4.4 - Conjunto de fraturas presentes nos quartzitos (mcm).



FIGURA 4.5 - Afloramento de filito da Formação Batatal (mcb).



FIGURA 4.6 - Fraturas e lineação de crenulação presentes nos filitos (mcb).

Essa rocha, em termos geotécnicos, apresenta uma baixa resistência mecânica (1-5 MPa) e um alto grau de alteração (rocha alterada). Ocorre a presença de quatro famílias de descontinuidades, sendo que a principal é a família F1 que representa a xistosidade. A família F2 é representada por um veio de quartzo e as outras duas famílias são fraturas que ocorrem de forma secundária.

• **Itabirito (mic):**

Essa litologia ocupa uma grande faixa na parte central da área, que se estende de noroeste para sudeste. A rocha mapeada é o itabirito (mic), que apresenta uma cor acinzentada a vermelho; em termos mineralógicos, é representado por lâminas milimétricas de hematita (óxido de ferro) e quartzo (Figura 4.7). Ocorrem fraturas que condicionam o maciço rochoso associadas com a foliação. Apresenta dobras, de pequeno a médio porte, em vários pontos descritos, indicando uma atividade de deformação nas rochas. Observa-se, também, a presença de “*boudins*”, de quartzos estirados e, em alguns pontos, ocorre uma capa protetora de canga sobre o itabirito (Figura 4.8).

Em termos geotécnicos, apresenta uma resistência mecânica média (5-25 MPa), e a rocha encontra-se parcialmente alterada. Ocorre a presença de seis famílias de descontinuidades, sendo a principal a família F1, que representa a foliação, e as outras famílias representam fraturas (Figura 4.9). As famílias F5 e F6 ocorrem de forma secundária.

• **Quartzitos e Filitos (mpc):**

Essa litologia se encontra localizada dentro do centro histórico de Ouro Preto, na parte sul da área mapeada. As rochas mapeadas são quartzitos e filitos (mpc), que em alguns pontos se intercalam. Devido a intensa ocupação urbana nessa área, não se tem muitos pontos nesse domínio. Os quartzitos se apresentam com um cor clara, e com a ocorrência de um conjunto de fraturas.

Já os filitos possuem uma coloração cinza claro (Figura 4.10), contendo em sua mineralogia minerais micáceos. Em termos geotécnicos, apresenta uma resistência mecânica média (5-25 MPa), e a rocha encontra-se parcialmente alterada.



FIGURA 4.7 - Afloramento de itabirito (mic), com presença de uma pequena falha.

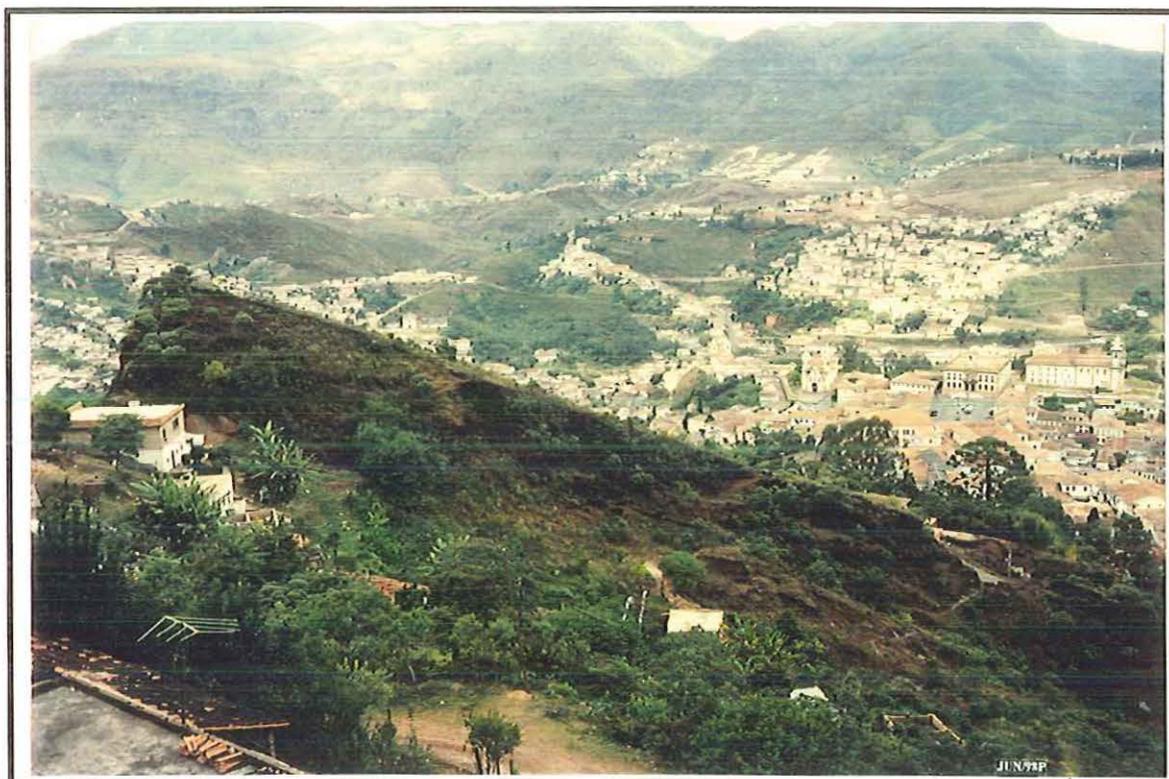


FIGURA 4.8 - Vista geral de uma capa de canga cobrindo a rocha formando um "flatiron".

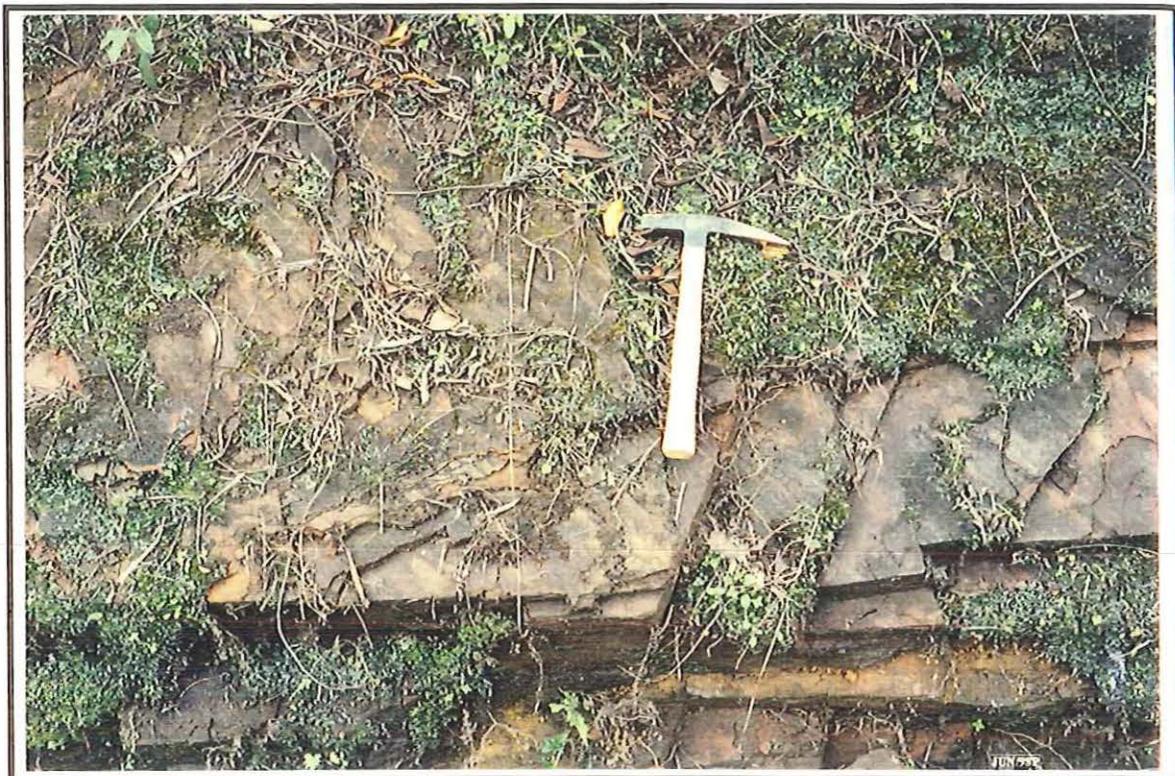


FIGURA 4.9 - Conjunto de famílias de fraturas presentes nos itabiritos (mic).



FIGURA 4.10 - Afloramento de filito (mcb) da Formação Cercadinho.

Observa-se a presença de uma família de descontinuidade. Vale ressaltar que, no levantamento geomecânico, somente um ponto desta litologia foi descrito (ponto 125), isto devido a ocupação urbana presente na área.

- **Clorita-xisto (ms):**

Esse domínio litológico se encontra localizado no sudoeste da área mapeada. A rocha desse domínio é o clorita-xisto (ms), e apresenta um cor castanho claro a escura, predominando em sua mineralogia a clorita e tem a ocorrência de algumas fraturas, não se tem muitos pontos neste domínio isto se deve, principalmente, à ocupação urbana existente no local.

e – Carta de declividade - Anexo V:

Neste tópico, será descrita a carta de declividade, gerada para a área na escala 1:5.000. É um documento de caráter básico fundamental, elaborado a partir de um mapa topográfico, na escala 1:5.000, com curvas de 10 em 10 metros, associado a trabalhos de campo.

A elaboração desta carta, foi realizada em duas etapas. Primeiramente, fez-se a análise das variações topográficas apresentadas na área, através da direção e preferencial das encostas sendo plotadas na carta.

Conjuntamente, foram feitas análises das áreas de influência destas, gerando bulbos que delimitam as principais direções, e mergulhos para cada encosta, considerando uma variabilidade mínima. Numa segunda etapa, foram feitos os cálculos, em relação ao norte verdadeiro, das direções e mergulhos das encostas, sendo estes últimos registrados na carta.

Com relação às litologias presentes na área, observa-se que apresentam direções e mergulhos preferenciais dentro de cada domínio. No caso do quartzo-serícita-xisto tem-se uma direção e mergulho que variam de $N22^{\circ} - 79^{\circ} W/14^{\circ} - 29^{\circ} SW$, sendo que também ocorre em uma segunda variação que é $N21^{\circ} - 77^{\circ} W/21^{\circ} NE$.

No caso dos itabiritos, tem-se a seguinte variação $N44^{\circ} - 79^{\circ} W/17^{\circ} - 27^{\circ} SW$. E os quartzitos e filitos apresentam as seguintes variações, respectivamente, $N17^{\circ} - 89^{\circ} W/15^{\circ} - 27^{\circ} SW$ e $N30^{\circ} - 67^{\circ} W/22^{\circ} - 27^{\circ} SW$.

f - Mapa de Feições dos Movimentos de Massa Gravitacionais e Processos Correlatos -

Anexo VI:

No mapa de feições dos movimentos de massa gravitacionais e processos correlatos estão as informações referentes aos movimentos de massa gravitacionais e as erosões.

Esse mapa foi elaborado na escala 1:5.000, onde, também, estão registradas as drenagens presentes na área e os divisores de águas superficiais. As análises das feições foram realizadas em duas etapas. A primeira executada em escritório, foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:8.000 (1978).

A segunda realizada em campo, foram catalogadas e localizadas feições, tanto antigas quanto recentes. Algumas dessas feições foram plotadas no mapa, fora da escala 1:5.000, e realizou-se, também, o registro fotográfico de todas as feições encontradas.

Nesse mapa estão registrados 64 feições de movimentos de massa gravitacionais e processos erosivos, classificados segundo a proposta de VARNES (1978). Na área foram identificados alguns tipos de escorregamentos, quedas de blocos e movimentos complexos, envolvendo partes do maciço rochoso.

Na área pode-se observar que a maioria das feições plotadas estão situadas na parte alta da cidade, ou seja, acima das ruas Padre Rolim e Conselheiro Quintiliano. Na parte do centro histórico não foi possível a localização de feições, devido a intensa ocupação urbana que ocorreu na cidade. Mesmo na parte alta podem ocorrer algumas feições, mascaradas pela vegetação, já que na época em que foram realizados os trabalhos de campo não ocorreram muitas chuvas pela região.

A respeito das feições, observou-se a ocorrência de quedas de blocos rochosos por toda a área. Sendo que predominam na região onde afloram os quartzitos e itabiritos.

Essas quedas ocorrem, principalmente, pela quebra destas litologias na parte onde estão localizados grandes veios de quartzo e, também, por basculamento, podendo causar grandes danos à população, devido a existência de diversas casas, a jusante e na rua Conselheiro Quintiliano.

Junto aos itabiritos ocorre a presença de enormes blocos de canga, que também se situam a montante, provocando a mesma situação que ocorre nos quartzitos, tendo ocorrido, em outros anos, acidentes com vítimas fatais.

Com relação aos escorregamentos translacionais de rochas e solos, estes ocorrem por toda a área, distribuídos aleatoriamente, sendo que os escorregamentos translacionais de

rochas ocorrem associados às litologias xisto, sendo itabirito e quartzito. Os de solos estão localizados em uma porção da área próxima a Santa Casa de Misericórdia, onde existe a cicatriz de um grande movimento de massa gravitacional.

O único tipo de movimento complexo, que ocorre dentro da área, está localizado na porção leste, onde afloram rochas quartzíticas.

4.3 - CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS :

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para as classificações geomecânicas. Como citado no capítulo 2, após os trabalhos de campo, foram feitas as primeiras análises referentes as classificações geomecânicas, e observou-se que os valores do R.Q.D. não compatíveis com as observações geológico-geotécnicas de campo, em termos das descontinuidades e características genéticas.

Com isto foi proposto um índice de correção para esse parâmetro, descrito no item 4.4., e para a obtenção de novas classes apresentadas no item 4.5.

Os resultados das classificações geomecânicas, descritos nos itens 4.3.1 e 4.5, estão apresentados em forma de tabelas e gráficos para cada litologia mapeada dentro da área, onde foram levantados os pontos geomecânicos. No item 4.6 é apresentada uma análise comparativa dos resultados das classificações. Com relação aos resultados das classificações geomecânicas, referentes ao filito da Formação Cercadinho, serão apresentados em conjunto no item 4.5, mas por ter sido feita análise em somente um ponto (ponto 125). Essa litologia não entrará na análise comparativa do item 4.6., pois somente foi possível um ponto devido a pequena extensão de afloramentos e o grande de alteração.

4.3.1 – Primeiras Análises:

Neste item serão apresentados todos os resultados obtidos pela aplicação das três classificações geomecânicas adotadas para o trabalho, sem as correções realizadas. Estes resultados estão na forma de tabelas, para uma melhor visualização. Nas tabelas 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 encontram-se os resultados de todas as famílias presentes em cada litologia, sendo que a família F1 representa a xistosidade e as outras famílias, as descontinuidades estruturais presentes nas litologias mapeadas.

• **Quartzo-clorita-xisto (RvnL):**

Nesta litologia foram mapeadas quatro famílias de descontinuidades (Tabela 4.2). A família F1 representa a xistosidade, sendo a principal família, a F2 representa um nível arenoso que ocorre acompanhando a foliação em vários pontos descritos, sendo que este nível é composto, basicamente, por quartzo em sua mineralogia. As F3 e F4 são caracterizadas por fraturas fechadas e pouco persistentes que aparecem somente em alguns pontos descritos, são pouco expressivas e apresentam-se de forma secundária no levantamento realizado.

TABELA 4.2 - Resultados das classificações geomecânicas no xisto.

FAMÍLIAS	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SISTEMA RMR	Ruim	Ruim	Ruim-Regular	Regular	-	-
SISTEMA Q	Regular	Regular-Boa	Regular	Pobre	-	-
SISTEMA SMR	Bom	Bom	Bom	Bom	-	-

• **Filito (mcb):**

O filito da Formação Batatal, em termos de descontinuidades, apresentou também quatro famílias de descontinuidades (Tabela 4.3). A principal família desta litologia é a F1, que representa a xistosidade. As outras três famílias desta litologia se apresentam de maneira secundária e com pouca expressão no que diz respeito ao comportamento do maciço. Destas três famílias, a que mais se destaca é a família F2 que apresenta um veio de quartzo pouco persistente que corta a foliação perpendicularmente.

TABELA 4.3 - Resultados das Classificações Geomecânicas no filito.

FAMÍLIAS	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SISTEMA RMR	Regular	Ruim	Bom	Ruim	-	-
SISTEMA Q	Muito pobre	Extrem. pobre- Regular	Muito pobre	Extrem. pobre	-	-
SISTEMA SMR	Bom	Bom	Bom	Bom	-	-

- **Itabirito(mic):**

O itabirito da Formação Cauê é a litologia que apresenta o maior número de famílias de descontinuidades (Tabela 4.4). A família F1, foliação, é a principal desta litologia. As famílias F2, F3 e F4 são também importantes para o estudo do maciço pois, condicionam o comportamento quando associadas com a família F1. Essas famílias representam fraturas, a F2 possui como característica uma persistência maior que 1 metro, e é fechada na maioria dos pontos. As F3 e F4 se apresentam fechadas, mas com persistência menor do que a apresentada pela família F2. As F5 e F6 são pouco expressivas, e se apresentam de maneira secundária.

TABELA 4.4 - Resultados das Classificações Geomecânicas no itabirito.

FAMÍLIAS	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SISTEMA RMR	Ruim	Ruim	Ruim	Muito ruim-ruim	Muito ruim	Muito ruim
SISTEMA Q	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Muito pobre	Muito Pobre
SISTEMA SMR	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom

- **Quartzito sericítico (mcm):**

No quartzito sericítico da Formação Moeda foram mapeadas quatro famílias de descontinuidades (Tabela 4.5). Todas são importantes pois, condicionam o comportamento do maciço, principalmente quando estas se truncam. A F1, foliação, é principal família; a F2 representa um veio de quartzo que corta a foliação e se trunca com a família F3 em alguns pontos; a F2, em alguns pontos, encontra-se fechada. A F3 se apresenta fechada e pouco persistente. A F4 é um veio de quartzo, que em alguns pontos se encontra fechada.

TABELA 4.5 - Resultados das Classificações Geomecânicas no quartzito.

FAMÍLIAS	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SISTEMA RMR	Ruim	Regular	Regular	Muito ruim	-	-
SISTEMA Q	Regular	Boa	Boa	Boa	-	-
SISTEMA SMR	Bom	Muito bom	Muito bom	Muito Bom	-	-

4.4 - ÍNDICE PROPOSTO PARA CORREÇÃO DO R.Q.D.:

Neste tópico são discutidos os aspectos relacionados ao cálculo para a correção do R.Q.D. (*“Rock Quality Designation”*). Como citado anteriormente, os resultados obtidos com o R.Q.D., por meio do J_v (contador volumétrico de juntas), não condizem com as observações de campo. As rochas que se encontram na área apresentam características genéticas, estruturais e grau de alteração que não estão de acordo com os valores de R.Q.D., obtidos pelo cálculo da fórmula proposta por PALMSTROM (1975). Por isso, foi proposto um índice de correção para o R.Q.D., afim de que se possa buscar uma maior realidade da qualidade da rocha com o que foi analisado em campo, considerando aspectos genéticos, resistência mecânica, grande alteração e mineralogia.

4.4.1 - CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS E O PARÂMETRO R.Q.D.

Para as classificações de Bieniawski, Barton e Romana, o parâmetro R.Q.D. está presente direta ou indiretamente. A obtenção de um valor coerente para o R.Q.D. é portanto, de fundamental importância e esbarra, frequentemente, em dificuldades. Originalmente, o parâmetro R.Q.D. era obtido em testemunhos de sondagens rotativas (DEERE et al., 1967). Posteriormente foram propostas relações empíricas para determinar o valor do R.Q.D., por meio de atributos obtidos em trabalhos de campo, PALMSTROM (1975) e PRIEST & HUDSON (1976).

Os mais utilizados são os testemunhos sondagens rotativas e fórmulas empíricas, que correlacionam parâmetros das descontinuidades levantados em campo.

a - Testemunhos de sondagens rotativas:

A determinação do R.Q.D. foi proposta por DEERE et al. (1967) e definida como:

$$RQD = 100 \times \sum x_i / L$$

Onde:

$\sum x_i$ - somatório dos comprimentos de testemunhos iguais ou superiores a 10 cm.

L - comprimento total do testemunho ou da linha de amostragem.

b - Métodos empíricos, baseados em levantamentos de campo e fórmulas empíricas:

b.1 - PRIEST & HUDSON (1976), posteriormente, questionaram a validade do RQD convencional, que para eles só é possível para valores de espaçamento médio das famílias < 0,3 m e propuseram a seguinte relação:

$$RQD = 100 \times e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1)$$

Onde: λ - frequência das descontinuidades, obtida através do espaçamento médio das descontinuidades em metros.

b.2 - PALMSTROM (1975) propôs a seguinte expressão para o R.Q.D., em função da densidade de descontinuidades por volume (J_v):

$$RQD = 115 - 3,3 \times J_v$$

Sendo que o autor propõe que para valores de J_v menores que 4,5, utilizar um valor de R.Q.D. igual a 100.

4.4.2 - RESULTADOS PRELIMINARES DO PARÂMETRO R.Q.D.: **PRIMEIRA APROXIMAÇÃO**

Na área estudada, foram levantadas observações com enfoque geomecânico em 125 pontos, onde todos os parâmetros necessários para aplicação das classificações geomecânicas foram descritos.

O levantamento dos parâmetros, referente às descontinuidades presentes na área, seguiu a metodologia proposta pela ISRM (1978), com algumas modificações. No caso do parâmetro R.Q.D., sua determinação foi realizada segundo a proposta de PALMSTROM, (1975) via levantamento em campo do índice J_v (contador volumétrico de juntas).

Este procedimento, para obter o R.Q.D., foi adotado em função da ausência de sondagens rotativas e da topografia bastante acidentada, o que tornaria os trabalhos de sondagem rotativa onerosos e também de difícil realização e sem representatividade, devido a variabilidade. O levantamento do índice J_v requer cuidados especiais, tais como observar atentamente as famílias de descontinuidades presentes, e os recursos utilizados para obter as medidas lineares referentes aos parâmetros das descontinuidades.

Após os trabalhos de campo, os dados foram tratados de modo que se obtivesse os valores referentes ao R.Q.D. e, de posse destes resultados, juntamente com os outros parâmetros, executasse as classificações geomecânicas.

Com as primeiras análises dos valores obtidos no R.Q.D., verificou-se que seriam necessárias algumas modificações, visto que os resultados mostraram-se incoerentes com as observações de campo, em termos de resistência da rocha, grau de alteração e mineralogia.

Quanto aos resultados obtidos para o parâmetro R.Q.D., pode-se dizer, que para a maioria dos 125 conjuntos de dados levantados na área o valor apresentado, via procedimento PALMSTROM (1975), foram elevados frente às observações do maciço rochoso em campo. Estes resultados variaram entre 90-100 o que, em algumas rochas, é praticamente impossível de se conseguir, principalmente em casos como os xistos e os filitos que possuem baixa resistência e alto grau de alteração.

Em função destes valores incoerentes, buscou-se a proposição de um índice para corrigir este parâmetro, afim de se obter resultados mais próximos das condições reais, e em função das características encontradas. Salienta-se que HOEK et al. (1998) utilizaram recurso semelhante, usando a classificação GSI ("*Geological Strength Index*"), para avaliar a resistência de xistos alterados na Grécia; no caso das litologias existentes na área, duas são xistos e filitos. Os problemas relacionados a obtenção do parâmetro R.Q.D. foram abordados, também, em alguns trabalhos presentes na literatura (NONATO, 1994 e DURAND, 1995) sobre explicação de classificações geomecânicas em rochas do Quadrilátero Ferrífero, que sugerem adaptações do parâmetro R.Q.D.

4.4.3 – PROPOSTA DO ÍNDICE DE CORREÇÃO PARA OS VALORES DO PARÂMETRO R.Q.D.

Com o objetivo de corrigir os valores inicialmente obtidos via J_v , conforme relação proposta por PALMSTROM (1975), propôs-se um índice de correção para o parâmetro R.Q.D., considerando quatro parâmetros: resistência da rocha, grau de alteração, mineralogia e níveis mineralógicos.

Para se chegar aos índices de correção, apresentados a seguir, utilizou-se a seguinte sistemática: primeiramente foram adotadas faixas de valores para o parâmetro R.Q.D., propostas pela literatura (Tabela 4.6).

TABELA 4.6 - Relação entre a qualidade das rochas e o valor do parâmetro R.Q.D., modificado de FRANKLIN & DUSSEAULT (1989).

ROCHA	VALOR DO PARÂMETRO R.Q.D.(%)
Muito Pobre	0 – 25
Pobre	25 – 50
Regular	50 – 75
Bom	75 – 90
Excelente	90 – 100

Posteriormente com base nos dados da Tabela 4.6 e nas características de campo das litologias, como camadas de pequenas espessuras que apresentam comportamento de descontinuidade, mineralogia constituída de por minerais planares, alteração e a resistência da rocha, foi elaborada uma classificação da categoria da rocha e portanto qual deveria ser a faixa de R.Q.D. real (Tabela 4.7). Na segunda parte, considerou-se a variabilidade dos 4 atributos a serem utilizados no índice, e propôs valores específicos para cada nível de variabilidade, conforme itens a seguir:

TABELA 4.7 - Relação entre a qualidade das rochas e o valor do parâmetro R.Q.D..

ROCHA	FAIXA DE VALOR ESPERADO PARA O PARÂMETRO R.Q.D.(%)
Xisto/Filito	0 – 25
Quartzito/Filito (alterados)	25 – 50
Itabirito	50 – 60
Quartzito	60 – 80

a) Resistência da Rocha (MPa):

Este parâmetro foi dividido em classes, segundo a proposta da ISRM (1978), que propõe uma divisão de valores para a avaliação da resistência da rocha através de diversos tipos de testes de campo ou de laboratório. No caso da área pesquisada, foram utilizados os procedimentos de campo e valores descritos na Tabela 4.8. Salienta-se que, para valores acima de 100 MPa, atribuiu-se um peso igual a zero, e para o caso de valores abaixo de 1,0 MPa, não se atribuiu nenhum peso para tal valor, já que na área mapeada não se encontraram

rochas com resistências tão alta e baixa; o que também é raro obter para um conjunto de rochas de uma área.

TABELA 4.8 - Resistência das rochas (ISRM, 1978).

GRAU	DESCRIÇÃO	IDENTIFICAÇÃO DE CAMPO	RESIST. (MPa)	PESOS PARCIAIS
R0	Rocha extremamente fraca	Marcada pela unha.	0,25 - 1,0	-
R1	Rocha muito fraca	Esmigalha - se sob o impacto do martelo de geólogo, pode ser raspada por canivete.	1,0 - 5,0	2,00
R2	Rocha fraca	Pode ser raspada por canivete com dificuldade, marcada por firme pancada c/ a ponta do martelo.	5,0 - 25	1,50
R3	Rocha com resistência média	Não pode ser raspada por canivete, amostras podem ser fraturadas com um único golpe do martelo.	25 - 50	0,70
R4	Rocha resistente	Amostras requerem mais de um golpe de martelo para fraturar-se.	50 - 100	0,50
R5	Rocha muito resistente	Amostras requerem muitos golpes de martelo para fratura-se.	100 - 250	0,0
R6	Rocha extremamente resistente	Amostras podem somente ser lascadas com o martelo de geólogo.	> 250	0,0

b) Grau de Alteração:

Este parâmetro foi dividido em classes, segundo a proposta da AFTES (*“Association Française des Travaux en Souterrain”*, 1978), com algumas modificações. Com base nas observações de campo realizadas, pode-se correlacionar estas classes e chegar a resultados associados as rochas da área mapeada. Posteriormente, adaptou-se os pesos para o cálculo do valor do R.Q.D. corrigido, conforme explicitado na Tabela 4.9.

TABELA 4.9 - Grau de alteração do maciço rochoso, modificado da AFTES(1978).

CLASSES	DESCRIÇÃO	TERMINOLOGIA	PESOS PARCIAIS
A1	Sem sinal visível de alteração, ou traços muito leves de alteração, limitados às superfícies de descontinuidades principais.	São	0,50
A2	As superfícies de descontinuidades principais são alteradas, mas a rocha apenas ligeiramente.	Parcialmente alterado	0,70
A3	A alteração se estende a toda a massa rochosa, mas a rocha não é friável.	Alterado	1,50
A4	A alteração se estende a toda massa rochosa, e a rocha é, em grande parte friável.	Muito alterado	2,00
A5	A rocha é inteiramente decomposta e muito friável. No entanto, a textura e estrutura da rocha são conservados.	Completamente alterado	2,00

c) Mineralogia:

Além da resistência da rocha e seu grau de alteração, verificou-se que, para a área estudada, a mineralogia das rochas também precisa ser considerada na determinação correta do parâmetro R.Q.D., visto que o predomínio de certos minerais facilitam a quebra e o desprendimento de partes da rocha, devido o alinhamento e disposição espacial. Assim, a influência das principais mineralogias presentes nas rochas da área mapeada foi analisada e ponderada para o Índice de Correção do R.Q.D.calculado, de acordo com a Tabela 4.10.

Deve-se salientar que as mineralogias presentes na Tabela 4.10 são aquelas observadas nas rochas da área.

A primeira célula analisada é a das micas, sendo a sericita a principal, pois, está presente nos xistos, quartzitos e filitos. As outras micas, biotita e muscovita, apresentam-se em forma de pequenas camadas associadas a foliação.



TABELA 4.10 - Pesos parciais referentes aos constituintes mineralógicos predominantes.

Mineralogia
Micas (Sericita,biotita,muscovita) [1,5]
Quartzo [1,0]
Hematita/ Quartzo [0,30]
Quartzo Cimentado [0,0]

[] - pesos referentes aos parâmetros

A segunda célula analisada refere-se ao quartzo, presente em quase todas as rochas estudadas da área, exceto nos filitos, não encontrado macroscopicamente. Nos xistos esse quartzo se apresenta, em alguns pontos, com uma capa protetora mais resistente, proveniente de alteração e, também, em níveis intercalados.

A terceira célula diz respeito a mineralogia presente nos itabiritos. Essa mineralogia é representada por lâminas milimétricas de hematita (óxido de ferro) e quartzo com coesão.

A última célula se refere ao quartzo cimentado, quartzo bem imbricado na matriz, presente nos quartzitos. A este atribuiu-se um peso igual a zero, devido, principalmente, a estrutura cristalina do quartzo e seu cimento, que mantém a rocha com uma alta resistência e baixo grau de alteração, favorecendo valores de R.Q.D. altos, em relação às outras litologias presentes na área.

d) Níveis Mineralógicos:

Outro fator que deve ser considerado na avaliação do parâmetro R.Q.D.corrigido são os níveis mineralógicos (Tabela 4.11), presentes nas rochas e que apresentam comportamento de uma descontinuidade (estrutura geológica), ou seja, possuem resistência à tração muito baixa. Os níveis mineralógicos diferenciam-se da mineralogia básica das litologias, por ocorrer na forma de camadas pouco espessas, que apresentam mineralogia específica e comportamento peculiar de uma descontinuidade. São, em algumas situações, condicionantes

geológico-geotécnicos de movimentos gravitacionais de massa, como queda de blocos e os escorregamentos.

TABELA 4.11 - Pesos parciais referentes as características dos de níveis mineralógicos específicos que ocorrem associados as litologias.

Níveis Mineralógicos
Sericíticos [1,0]
Arenosos [0,75]
Hematita e quartzo [0,30]
Quartzo (Fraturas) [0,25]

[] - pesos referentes aos parâmetros

A primeira célula analisada diz respeito aos níveis sericíticos, que possuem espessuras menores que 1cm; principalmente nos xistos e quartzitos.

A segunda célula, diz respeito aos níveis arenosos (Figura 4.11) bastante alterados e com baixa resistência, sua espessura e persistência variam de acordo com a litologia. No caso dos xistos, esse nível possui uma persistência longitudinal maior que 10 m acompanhando a foliação, comportando-se como uma descontinuidade.

A terceira célula, refere-se aos níveis de quartzo e hematita presentes nos itabiritos, possui espessuras da ordem de 1 cm e grande persistência longitudinal e lateral. É uma intercalação que ocorre nesse tipo de litologia sendo, em alguns casos, um forte condicionante para a ocorrência de movimentos de massa.

A última célula analisada diz respeito ao nível quartzo, localizado em fraturas (Figura 4.12) de diversas dimensões por toda a Serra de Ouro Preto. Outro aspecto importante é a presença de microfraturas, dentro de veios que provocam a formação de pequenas descontinuidades, ocasionando a quebra destes quando recebem um esforço, por exemplo, no teste em campo com o martelo de geólogo.



FIGURA 4.11 - Níveis quartzosos presentes nos xistos (RvnL).



FIGURA 4.12 - Veio de quartzo presente nos quartzitos (mcm).

A partir dos pesos parciais, foi gerada uma tabela de correção (Tabela 4.12) para o R.Q.D., onde os parâmetros obtidos em 125 pontos fossem analisados e avaliados, com o objetivo de se chegar a um novo valor do parâmetro R.Q.D., de modo a melhorar seu uso nas classificações geomecânicas. O cálculo, para obtenção do índice, é realizado através do somatório dos parâmetros citados acima. Ou seja,

$$\text{Índice de Correção} = \Sigma Ip_n$$

Onde: Ip é o índice parcial de cada coluna;

n é o número de colunas;

Σ deve ser sempre maior que 1,0.

Para se determinar o R.Q.D.corrigido, deve-se dividir o R.Q.D.calculado pelo valor do Índice de correção calculado. É bom lembrar que este R.Q.D.calculado é o valor do parâmetro obtido anteriormente nas observações de campo, via levantamento do índice J_v , e posterior cálculo através da fórmula empírica proposta por PALMSTROM (1975).

TABELA 4.12 - Índice de correção para o R.Q.D.

Resist. da Rocha (MPa)	Grau de Alteração	Mineralogia	Níveis Mineralógicos	Índice de Correção
1 - 5 [2,0]	A5/A4 [2,0]	Micas (Sericita,biotita, muscovita) [1,5]	Sericíticos [1,0]	6,50 (Máx.)
5 - 25 [1,5]	A3 [1,5]	Quartzo [1,0]	Arenosos [0,75]	4,75
25 - 50 [0,70]	A2 [0,70]	Hematita/ Quartzo [0,30]	Hematita e quartzo [0,30]	2,00
50 - 100 [0,5]	A1 [0,5]	Quartzo Cimentado [0,0]	Quartzo (Fraturas) [0,25]	1,25 (Mín.)

[] - pesos referentes aos parâmetros

4.4.4 - RESULTADOS DOS VALORES CORRIGIDOS DO PARÂMETRO R.Q.D.

De acordo com que foi proposto e exposto no item anterior, realizaram-se novas análises e cálculos para o parâmetro R.Q.D.. Essas análises foram executadas para todos os 125 conjuntos de dados, com base nos quatro parâmetros considerados, para a obtenção do índice de correção. A Tabela 4.13 apresenta os resultados em forma de faixa de valores, máximos e mínimos, que representa a variação destes nas rochas da área. Os cálculos encontram-se no Apêndice III.

TABELA 4.13 - Resultados obtidos para o R.Q.D.calculado, o Índice de Correção e R.Q.D.corrigido.

LITOLOGIA	R.Q.D.calculado(*)	ÍNDICE DE CORREÇÃO(*)	R.Q.D.corrigido(*)
XISTO	100	6,50-5,25	15,39-19,05
FILITO	100	5,00-4,75	20,00-21,05
ITABIRITO	96,06-100	4,35-2,00	22,98-50,00
QUARTZITO	58,43-100	2,00-1,25	50,00-80,00

(*) - Valores de máximos e mínimos.

Verifica-se que a faixa de valores referentes aos índices de correção, para os itabiritos, apresenta uma maior amplitude. Entretanto, os valores do R.Q.D.corrigido se inserem dentro da faixa de valores do R.Q.D. compatível com o comportamento do material observado em campo. Embora nos quartzitos existam alguns pontos em que o R.Q.D.corrigido foi menor que 50, isto pode ser explicado porque esses pontos estão associados a áreas de contatos geológicos, apresentando, assim, uma resistência mecânica baixa, devido ao grau de alteração mais acentuado.

4.4.5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS:

O uso do índice de correção possibilitou obter resultados, de R.Q.D.corrigido, mais coerentes com as características geológico-geotécnicas observadas em campo. Além disso, verificou-se que os primeiros resultados obtidos para o R.Q.D. (R.Q.D.calculado) apresentaram valores entre 90 e 100. A exceção foi o quartzito, que em alguns pontos, apresentou valores coerentes com as observações realizadas em campo.

No que diz respeito a essas quedas de valores, elas foram mais proeminentes nos xistos, filitos e itabiritos. Os xistos e filitos apresentaram baixos valores de R.Q.D.corrigido, devido a baixa resistência e alto grau de alteração presentes nesses maciços. Esse comportamento está diretamente associado à sua mineralogia, composta principalmente de minerais micáceos, que é, também, um fator importante na avaliação do comportamento do maciço.

Os itabiritos apresentaram faixas de valores bem mais baixas (R.Q.D.corrigido) do que as encontradas nas primeiras análises (R.Q.D.calculado). Em alguns pontos, apresentam um comportamento de maciço regular mas, na grande parte dos casos, foi classificado como pobre, isto ocorrendo devido a resistência mecânica e grau de alteração altos. Em termos mineralógicos, a intercalação de hematita e quartzo é um condicionante importante dos itabiritos. Observa-se, também, que os níveis de hematita condicionam o maciço, em alguns pontos, porque formam uma capa protetora denominada de canga, que ocorre por toda Serra de Ouro Preto. Outra característica se refere aos níveis de quartzo que, em grande parte, apresentam-se bastante alterados e funcionam como uma descontinuidade.

Na faixa de valores em que os itabiritos se encontravam anteriormente, incoerentes com o comportamento do maciço observado em campo, promoveria dentro das classificações geomecânicas uma avaliação errada do comportamento do maciço rochoso como um todo.

Com relação aos quartzitos, observou-se uma diferença de valores entre o R.Q.D.corrigido e R.Q.D.calculado, mas não tão discrepante quanto nas outras litologias. Os quartzitos, mesmo com uma pequena queda de valores, apresentam resultados que o colocam dentro da mesma faixa de valores do parâmetro R.Q.D.calculado. Isto se deve ao seu comportamento mais homogêneo, principalmente em relação aos parâmetros geológico-geotécnicos observados em campo, e as análises posteriores realizadas para o índice de correção, ou seja, é um maciço que apresenta poucas variações em termos de suas características principais (resistência mecânica, grau de alteração, mineralogia e níveis mineralógicos).

4.5 - AVALIAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS APÓS CORREÇÕES:

Neste item serão apresentados todos os resultados obtidos nas três classificações geomecânicas adotadas para o trabalho, após as correções realizadas. Estes resultados estão apresentados na forma de tabelas, para uma melhor visualização. Com respeito as descrições

das famílias presentes em cada litologia mapeada, já estão descritas no item 4.3.1., e as planilhas de cálculo encontram-se nos apêndices IV e V.

• **Quartzo-clorita-xisto (RvnL):**

TABELA 4.14 - Resultados das Classificações Geomecânicas no xisto, após correção.

FAMÍLIAS	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SISTEMA RMR	Muito ruim	Muito ruim	Ruim	Muito ruim-ruim	-	-
SISTEMA Q	Pobre	Pobre	Muito pobre- pobre	Muito pobre	-	-
SISTEMA SMR	Normal	Normal	Bom	Normal	-	-

• **Filito (mcb):**

TABELA 4.15 - Resultados das Classificações Geomecânicas no filito, após correção.

FAMÍLIAS	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SISTEMA RMR	Muito ruim- ruim-ruim	Muito ruim	Muito ruim	Muito ruim	-	-
SISTEMA Q	Muito pobre	Extrem. pobre	Muito pobre	Extrem. pobre	-	-
SISTEMA SMR	Normal	Normal-bom	Normal	Normal	-	-

• **Itabirito(mic):**

TABELA 4.16 - Resultados das Classificações Geomecânicas no itabirito, após correção.

FAMÍLIAS	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SISTEMA RMR	Muito ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SISTEMA Q	Muito pobre					
SISTEMA SMR	Normal	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom

- **Quartzito sericítico (mcm):**

TABELA 4.17 - Resultados das Classificações Geomecânicas no quartzito, após correção.

FAMÍLIAS	F1	F2	F3	F4	F5	F6
SISTEMA RMR	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	-	-
SISTEMA Q	Pobre	Regular	Regular	Regular	-	-
SISTEMA SMR	Bom	Bom	Bom	Bom	-	-

- **Filito (mpc):**

Nesta descrição serão apresentados os resultados, sem e com correção, obtidos com a litologia filito da Formação Cercadinho. Optou-se em apresentar os resultados em conjunto (Tabela 4.18), devido a se ter somente um ponto descrito. Em termos de descontinuidade, tem-se a presença de um família de descontinuidade que é representada pela xistosidade.

TABELA 4.18 - Resultados das Classificações Geomecânicas no filito, sem e com correção.

FAMÍLIA	F1
SISTEMA RMR (SEM/APÓS CORREÇÃO)	Regular/Ruim
SISTEMA Q (SEM/APÓS CORREÇÃO)	Regular/Regular
SISTEMA SMR (SEM/APÓS CORREÇÃO)	Bom/Normal

4.6 - ANÁLISES COMPARATIVAS ENTRE AS CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS ANTES E APÓS AS CORREÇÕES:

Neste item 4.6 é apresentada uma análise comparativa dos resultados das classificações geomecânicas, em função dos gráficos que se encontram nos Apêndices VI e VII. Os resultados estão apresentados em forma de tabelas (Tabelas 4.19, 4.20 e 4.21), para uma melhor visualização.

A análise se baseou, principalmente, na importância de cada família de descontinuidade dentro de cada litologia, ou seja, a avaliação foi realizada em função das principais famílias. Pois, como pode-se observar no item 4.3.1, algumas famílias ocorreram de maneira secundária e com pouca expressão.

TABELA 4.19 - Resultados das classificações geomecânicas, antes e após as correções, no Sistema RMR.

LITOLOGIA	RMR	RMR (correção)
XISTO	Ruim-regular	Muito ruim
FILITO	Ruim-regular	Muito ruim
ITABIRITO	Muito ruim-ruim	Ruim
QUARTZITO	Ruim-regular	Ruim

TABELA 4.20 - Resultados das classificações geomecânicas, antes e após as correções, no Sistema Q.

LITOLOGIA	Q	Q (correção)
XISTO	Pobre-regular	MUITO POBRE-POBRE
FILITO	Extrem. pobre-muito pobre	Extrem. pobre-muito pobre
ITABIRITO	Muito pobre-pobre	Muito pobre
QUARTZITO	Regular-boa	Pobre-regular

TABELA 4.21 - Resultados das classificações geomecânicas, antes e após as correções, no Sistema SMR.

LITOLOGIA	SMR	SMR (correção)
XISTO	Bom	Normal
FILITO	Bom	Normal
ITABIRITO	Bom	Normal-bom
QUARTZITO	Bom-muito bom	Normal-bom

Em termos dos resultados obtidos, pode-se dizer que as classificações geomecânicas que apresentaram os melhores resultados, de uma maneira geral, foram as de Bieniawski (Sistema RMR) e de Barton et al. (Sistema Q). Mas vale ressaltar que, mesmo com esses resultados, elas necessitam de adaptações para rochas brandas, objetivando uma melhor caracterização dos maciços rochosos. Pois, mesmo com as correções feitas no parâmetro R.Q.D., observou-se a necessidade de avaliar outros parâmetros contidos nas classificações geomecânicas e, também, o valor de seus pesos frente aos dados obtidos em campo.

Com relação a classificação de Bieniawski (Sistema RMR), pode-se dizer que, para as rochas xisto e filito, os resultados foram satisfatórios, principalmente após as correções realizadas. Já com relação ao itabirito e o quartzito, os resultados não foram compatíveis com as observações do maciço no campo.

A classificação de Barton et al. (Sistema Q) obteve resultados satisfatórios, principalmente, com relação ao xisto, filito e quartzito. Deve-se ressaltar que, no caso do quartzito, após as correções ocorreu uma mudança de classes. Em alguns pontos o quartzito se encontra em áreas de contato com outras litologias mas, na maioria, dos pontos, encontra-se na classe de maciço regular. Com relação ao itabirito, os resultados se apresentaram, de uma maneira, geral baixos.

Já a classificação de Romana (Sistema SMR) apresentou resultados que não foram compatíveis com as observações de campo, principalmente no que diz respeito aos xistos, filitos e itabiritos. Somente em relação ao quartzito é que os resultados foram satisfatórios, mas mesmo assim, após as correções, houve uma queda dos valores na mudança de classes para a caracterização do maciço.

5 - CARTAS DE ZONEAMENTO

Neste capítulo serão abordadas as cartas de zoneamento, geradas a partir dos resultados obtidos por meio das classificações geomecânicas. Primeiramente, será descrita a metodologia utilizada para a elaboração dessas cartas, e numa segunda etapa os resultados serão apresentados.

5.1 - METODOLOGIA:

As cartas de zoneamento são cartas derivadas que são obtidas a partir de documentos básicos e auxiliares, elaborados em função do objetivo do mapeamento e dos atributos da área.

Na elaboração dessas cartas, em escala 1:5.000 impressas em escala 1:2.000 para uma melhor visualização, utilizou-se a metodologia de ZUQUETTE (1987/1993), sendo que os documentos cartográficos utilizados para avaliação das informações, e posterior análise dos resultados foram: mapa topográfico, mapa de documentação II (Anexo III), mapa geológico (Anexo IV) e a carta de encostas com suas declividades (Anexo V), todas na escala 1:5.000.

A divisão básica utilizada para o zoneamento foi a carta de declividade das encostas, com os respectivos valores de declividade máxima e a direção desse vetor. Assim, com a combinação das classes relativas, classificações geomecânicas, litologias e topografia foi possível obter as unidades e suas condições.

Para uma melhor apresentação dos resultados, foram geradas duas cartas para cada sistema de classificação. Na primeira carta estão os resultados das classificações geomecânicas, obtidos para cada família de descontinuidade observada nas litologias, sem o índice de correção adotado para o parâmetro R.Q.D., e na segunda carta estão os resultados obtidos com as correções realizadas.

5.2 - DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS:

As cartas de zoneamento foram elaboradas na escala 1:5.000, contendo informações referentes aos documentos cartográficos citados no item 5.1, para a avaliação dos resultados em termos de zoneamento.

As cartas de zoneamento estão apresentadas nos anexos, em função das correções realizadas para o parâmetro R.Q.D, da seguinte maneira:

- Antes das correções do parâmetro R.Q.D.:
 - Carta de Zoneamento para o Sistema RMR (Anexo VII)
 - Carta de Zoneamento para o Sistema Q (Anexo VIII)
 - Carta de Zoneamento para o Sistema SMR (Anexo IX)
- Após as correções do parâmetro R.Q.D.:
 - Carta de Zoneamento para o Sistema RMR (Anexo X)
 - Carta de Zoneamento para o Sistema Q (Anexo XI)
 - Carta de Zoneamento para o Sistema SMR (Anexo XII)

Estas cartas possuem curvas de nível com equidistância de 10 metros. Nelas estão contidas todas as litologias mapeadas na área, bem como os contatos destas e a área de influência das declividades (bulbos) referentes a parte leste da área, onde foram levantados os pontos de observações geomecânicas.

Com relação a apresentação dos resultados nas cartas de zoneamento, foi desenvolvida uma legenda, conforme a Tabela 5.1, de maneira que fossem apresentados de uma forma didática e de fácil compreensão para quem for utilizar estas cartas. Esta tabela foi inserida dentro de cada área de influência das declividades (bulbos) para todas as litologias presentes, com os respectivos resultados das classificações geomecânicas para cada família de descontinuidades.

TABELA 5.1 – Legenda dos resultados das classificações geomecânicas para cada família de descontinuidade usada nas cartas de zoneamento.

ROCHA	F1	F2	F3	F4	F5	F6
-------	----	----	----	----	----	----

Onde: **ROCHA** - litologia presente na área de influência da declividade analisada.

F_n - resultados das classificações geomecânicas para as famílias de descontinuidades.

Tanto esta tabela, bem com a simbologia das litologias presentes na área mapeada se encontram inseridas na legenda de cada carta de zoneamento. Nessa legenda, também estão inseridas para cada sistema de classificação geomecânica, as classes dos maciços com suas respectivas classificações propostas pelos autores dos sistemas utilizados nesta pesquisa, com a finalidade de se obter uma caracterização dos maciços rochosos através dos resultados, via famílias de descontinuidades presentes nas litologias mapeadas na área.

6 - CONCLUSÕES

Primeiramente, pode-se dizer que as metodologias adotadas para a realização desta pesquisa, tanto em termos de mapeamento geotécnico, levantamento de descontinuidades, quanto das classificações geomecânicas, foram satisfatórias dentro do escopo do trabalho. Principalmente, por ser um trabalho no qual utilizou-se as classificações geomecânicas como ferramenta para o zoneamento geotécnico de encostas. Vale ressaltar que, em alguns casos, a realização de adaptações, frente ao encontrado em encostas naturais rochosas, fez-se necessário.

No que diz respeito ao levantamento das descontinuidades em campo, observa-se que devem ser realizadas revisões nos procedimentos adotados pela ISRM (1978), com o objetivo de uma melhor caracterização do maciço rochoso. Já que o levantamento de campo é peça fundamental para uma análise mais precisa do maciço, em função do tipo de trabalho a ser executado nele. A proposição da ISRM (1978) que, existindo poucas famílias de fraturas no maciço, sua importância pode ser reduzida a zero na caracterização final do maciço, não é verdade, pois existem casos em que o maciço possui uma ou duas famílias que condicionam todo o seu comportamento. Logo, deve-se considerar esse parâmetro para a caracterização final do maciço.

Com relação aos documentos cartográficos gerados, vários aspectos podem ser destacados. Na elaboração dos mapas de documentação I e II, procurou-se realizar um trabalho bastante detalhado, principalmente no que diz respeito a locação dos pontos de observações geológicas, geomecânicas e das principais vias de acesso, devido a escala do trabalho ser de detalhe, e para que pudessem ser utilizados, de maneira didática, por outros em estudos posteriores na área mapeada.

No que diz respeito ao mapa geológico, pode-se dizer que todos os elementos levantados em campo, bem como as análises via interpretação de fotografias aéreas, foram registrados. As litologias presentes, contatos geológicos, principais direções e mergulhos das camadas, lineamentos e elementos estruturais foram registrados, com a finalidade de se obter

uma importante base cartográfica para as cartas de zoneamento, principalmente, por não existir um mapa geológico nesta escala para área estudada. Como recomendação, torna-se necessário que se estenda o mapeamento por toda a Serra de Ouro Preto e centro histórico, na escala 1:5.000, para se ter um melhor entendimento da geologia estrutural da região, com a finalidade de caracterizar melhor o comportamento dos maciços mapeados e a geração de documentos cartográficos atualizados, sem a necessidade de se realizarem compilações de mapas antigos.

A carta de encostas, com suas declividades, foi elaborada visando uma análise das variações topográficas apresentadas na área, através da direção e mergulho preferencial das encostas e das áreas de influência destas gerando bulbos, que marcariam as principais direções e mergulhos para cada encosta. Posteriormente, foram realizados cálculos, em relação ao norte verdadeiro, das direções e mergulhos das encostas, sendo estes últimos plotados na carta, para que os valores referentes às direções e mergulhos calculados nas encostas fossem utilizados nas classificações geomecânicas e, posteriormente, nas cartas de zoneamento.

O mapa de feições dos movimentos gravitacionais de massa elaborado, é um documento que contribui no processo de conhecimento do meio físico, através do cadastramento das principais feições existentes na área, tanto recentes quanto antigas.

Em relação ao R.Q.D.corrigido, pode-se dizer que os resultados obtidos, para as rochas da área mapeada, foram mais coerentes com o comportamento dos maciços observados em campo. Com isto, pode-se afirmar que o uso do índice de correção, proposto neste trabalho, foi satisfatório para as rochas da área. O índice de correção foi uma importante ferramenta utilizada para a avaliação do R.Q.D., pois os valores corrigidos apresentaram resultados dentro do que se esperava.

Um outro importante aspecto a ser mencionado é com relação ao levantamento do Jv, que deve ser precedido do levantamento de todas as descontinuidades presentes no maciço, detalhadamente e identificadas, não somente foliações ou fraturas, mas todas as feições genéticas que apresentarem comportamento de uma descontinuidade, por exemplo: níveis mineralógicos. Isto, porque, em alguns casos, estruturas que poderiam ser analisadas como sendo uma descontinuidade não são identificadas, proporcionando erros no levantamento do Jv e, por consequência, na avaliação do comportamento do maciço rochoso.

Mas deve-se salientar que não somente o R.Q.D., mas outros parâmetros necessários à classificação geomecânica presentes nos meios rochosos, devem ter um levantamento e tratamento bastante detalhados em função dos cálculos a serem executados.

Em função disto é que, ao realizar o levantamento dos parâmetros de um maciço, para fins de classificação, deve-se sempre realizar uma avaliação para que, se necessário, sejam executadas correções, de modo que não se obtenham resultados incoerentes na classificação desses maciços.

Em termos dos resultados obtidos, com os quais foram geradas as cartas de zoneamento, pode-se dizer que as classificações geomecânicas que apresentaram os melhores resultados de aplicação, de uma maneira geral, foram as de Bieniawski (Sistema RMR) e de Barton et al. (Sistema Q). A classificação de Romana (Sistema SMR) apresentou resultados que não foram compatíveis com as observações de campo, principalmente no que diz respeito aos xistos, filitos e itabiritos.

Vale ressaltar que, mesmo com esses resultados, as classificações geomecânicas podem ser uma ferramenta de grande utilidade para o mapeamento geotécnico, com vistas a classificações de encostas rochosas, desde que adaptações sejam realizadas nesses sistemas, para o caso de rochas brandas, objetivando uma melhor caracterização dos maciços rochosos. Pois, mesmo com as correções feitas no parâmetro R.Q.D., observou-se a necessidade de analisar outros parâmetros contidos nas classificações geomecânicas, e o valor de seus pesos frente aos dados obtidos em campo.

Com relação aos sistemas de classificação geomecânica, podem ser citados alguns aspectos que tendem a interferir numa classificação melhor do comportamento do maciço analisado. Em termos do sistema RMR, pode-se dizer que a soma dos pesos pode ser um pouco limitada para a avaliação do maciço, ocasionando resultados conservadores.

No sistema Q, primeiramente, o espaçamento entre as juntas não é considerado diretamente no cálculo do índice Q, mas está embutido dentro do RQD. A resistência da rocha intacta e o grau de intemperismo não são levados em conta diretamente no cálculo deste sistema, e ele também não considera, como parâmetro da classificação, a orientação da descontinuidade com relação à direção da estrutura da obra civil a ser construída. No que diz respeito ao sistema SMR, pode-se dizer que não ocorreram mudanças nos resultados da classificação, em função das correções que o sistema propõe, com relação aos ângulos das direções e mergulhos dos maciços nas encostas.

Recomenda-se a continuidade dessa linha de pesquisa nessa mesma região (Quadrilátero Ferrífero), ou em outras, na mesma escala ou até 1:10.000, com a finalidade de se comparar os resultados e avaliar novas formas de análise desses parâmetros, dentro das classificações para a realização de adaptações, e que seja mais uma ferramenta presente no contexto do mapeamento geotécnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, R. A., 1986.** Discussão sobre obtenção e utilização de dados de descontinuidades em maciços rochosos. In: II Simpósio Sul Americano de Mecânica das Rochas, Porto Alegre, v.1, p.285-289.
- AFTES(1978).** "Recommandations pour une description des massifs rocheux utile a l'etude de la stabilité des ouvrages". IN: Tunnels et ouvrages souterrains. Association Française des Travaux en Souterrain, n° 28, p. 176-185.
- ALCÁNTARA-AYALA, I.; THORNES, J.B., 1996.** Structure and hydrology in controlling mass failure in space and time: The case of the Guadalfeo failures. Landslides, Chacón, Irigaray & Fernández(eds). Balkema, Rotterdam. p. 89-96.
- ALKMIM, F.F.; QUADE, H.; EVANGELISTA, M. T. R. 1988.** Sobre a história da deformação dos metassedimentos do Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. UFOP/EM/DEGEO. 40p.
- ALMEIDA, F.F.M. 1981.** O Cráton Paramirin e suas relações com o do São Francisco. IN: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS. Salvador. Anais...Salvador: SBG, 1981. p. 1-10.
- ALMEIDA, R. M. R. de, 1994.** Classificação geomecânica de itabiritos em mineração à céu aberto - Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais. Rio de Janeiro. Tese de mestrado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 110p.
- ANBALAGAN R., 1992.** Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountain terrain. Engineering Geology, n.32. p 269-277.
- ARAL, M.M., 1990.** Ground water modeling in multilayer aquifers: steady flow. 111p.
- AUGUSTO FILHO, O, 1994.** Cartas de Risco de Escorregamento: uma proposta metodológica e sua aplicação no Município de Ilhabela. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica/USP, 168p.

- BARBOSA, A.L.M. 1968.** Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. IGC-UFMG, 1985, 44p.
- BARISONE, G., BOTTINO, G., BRINO, L.; FORNARO, M., 1988.** Slope stability evaluation in schistose rocks of Aosta Valley. IN: SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 5, Lausanne. Proceedings...Lauseanne: A A Balkema, p. 1097-1102.
- BARISONE, G.; BOTTINO, G., 1990.** A practical approach for hazard evaluation of rock slopes in mountainous areas. IN: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING GEOLOGY, 6, Amsterdam. Proceedings Amsterdam: D. G. Price. p. 1509-1515.
- BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J., 1974.** Engineering classification of rock masses for the design of tunnel suport. Rock Mech. Rock Eng., v.6, n.4, p.189-236.
- BERKOWITZ, B.; BALBERG, I., 1993.** Percolation theory and its aplication to groundwater hydrology. Water Resources Research, v.29, n.4. p.775-794.
- BIENIAWSKI, Z. T., 1989.** Engineering rock mass classification. New York: John Wiley. 248p.
- BOADU, F. K.; LONG, L. T., 1994.** The fractal character of fracture spacing and RQD. Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech., v.31, n.2, pp.127-134.
- BONUCELLI, T., 1995.** Movimentos de Massa em Áreas Urbanas. Revisão Bibliográfica. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 60p.
- BONUCELLI, T, SOUZA, M.L. de, ZUQUETTE. L.V., 1996.** Landslides in urban areas: The triggering in the historical city, Ouro Preto, Brasil. Landslides, Chacón, Irigaray & Fernández(eds). Balkema, Rotterdam. p.117-124.
- BONUCELLI, T., 1999.** Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos na área urbana de Ouro Preto (M.G.)-escala 1:10.000. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 3 volumes.
- BRAND, E. W., 1995.** Slope instability in tropical areas. Landslides, Bell(ed). Balkema, Rotterdam. p. 2031-2051.

- BUTLER, A G.; FRANKLIN, J. A., 1990.** Classex: na expert system for mass classification. Proc. ISRM, Int. Symp. Rock Mech., Mbabane, Swaziland, p.73-80.
- CARNEIRO, C. D. R., 1951.** Análise de foliações em áreas dobradas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. Publicação: v.1753, 38p.
- CARNEIRO, E. G. C., 1990.** Aspectos geológico-geomorfológicos na estabilidade de taludes naturais. Revisão Bibliográfica. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CARREGÃ, D. L., 1996.** Estudo de Movimentações de Encostas Aplicado ao Perfil de Intemperismo em Ambientes Tropicais. IN: 8^º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, setembro, p.415-427.
- CARVALHO, C. S., 1997.** Processos de instabilização de taludes em maciços artificiais urbanos. IN: 2ND PAN-AM. SYMP. LANDSLIDES, 2ND COBRAE, Rio de Janeiro, p.901-908.
- CARVALHO, E.T., 1982.** Carta Geotécnica de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 95p.
- CAVALCANTI, J.A.D.; SCHRANK, A., 1999.** Controles lito-estratigráficos dos turmalinitos auríferos da região de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero - M.G.. Revista da Escola de Minas, v.52, n.2, p.100-108.
- CERRI, L. E. S., 1993.** Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geociências Unesp. Rio Claro, 197p.
- CELESTINO, T. B., TANAGUCHI, L., BRANCO, J. E. S. C. et al., 1985.** Prática de projeto de suporte de dados de custo de diversas obras subterrâneas. In: Simpósio sobre Escavação Subterrânea, 2, Rio de Janeiro. Anais: ABGE, v.1, p 11-25.
- CHAPADEIRO, E., 1995.** Aplicação de classificações geomecânicas e de análises cinemáticas na avaliação da estabilidade de taludes da Formação Cercadinho em Belo Horizonte-MG. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 201p.

- CHAPADEIRO, E. C., BORTOLLUCCI, A A, SOUZA Jr., N. N. de , 1996.** Estudo da instabilização da Formação Cercadinho em Belo Horizonte: Mecanismos de ruptura, análises cinemáticas e aplicação de classificações geomecânicas. IN: 8^o CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, setembro, p.429-438.
- CHEMALE, Jr. F; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. 1991.** Evolução tectônica no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Um modelo. UFRGS. Pesquisas, v.18, n. 2, p.104-127.
- CRUDEN, D.M., HU, X.Q., 1996.** Hazard modes of rock slope movement in the canadian rockies. Environmental & Engineering Geoscience, v.II, n.4. p.507-516.
- DALGIÇ, S., 1998.** Slope stability problems of weak rocks in the Asarsuyu pass of the Anatolian motorway. Bull. Eng. Geol. Env. (1998) 57: 199-206.
- DEERE et al., 1967.** Design of surface and near surface construction in rock. IN: 8TH SYMPOSIUM OF ROCK MECHANICS, AIME, New York, p.237-302.
- DERBY, O.A. 1906.** The Serra do Espinhaço, Brasil. Journal of Geology, v. 14, n.3, p.374-401.
- DIAS, A R. de S., 1996.** Mecanismos de instabilidade nos maciços do Pico de Itabira, Mina do Pico, Itabirito - MG. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 177p.
- DINIZ, R. A V., CELESTINO, T. B., STURARO, J. R., 1996.** Estudo da classe de maciços rochosos em função do parâmetro Q de Barton por análise geoestatística. IN: 8^o CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, setembro, p.755-766.
- DINIZ, R., 1997.** A aplicação geoestatística para a classificação geomecânica de uma camada de "Hangwall" na Mina de São Bento-MG. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 154p.
- DORR, J.V.N., GAIR, J.E., POMERENE, J.B.; RYNEARSON, G. A., 1957.** Revisão da Estratigrafia Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil, DNPM, Div. Fomento, avulso 81: p 1-31.
- DORR, J. N. 1969.** Physiographic, Stratigraphic and Strutral Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Whashington, D.N.P.M./U.S.G.S.109 p. (Prof. Paper 641-A).

- DUNNE, T., 1990.** Hydrology, mechanics and geomorphic implications of erosion by subsurface flow. Ground Water Geomorphology the role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America, Special Paper 252, vol.1, chapter 1, p.1-28.
- DURAND, A F., 1995.** Estudo de estabilidade de taludes em mineração a partir de classificação geomecânica. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 192p.
- DURAND, A F.; ASSIS, A P., 1997.** Estudo da estabilidade de taludes em mineração através de classificação geomecânica. IN: 2ND PAN-AM. SYMP. LANDSLIDES, 2ND COBRAE, Rio de Janeiro, p.391-394.
- EINSTEIN, H. H., VENEZIANO, D., BAECHER, G. B., O'REILLY, K. J., 1983.** The effect of discontinuity persistence on rock slope stability. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 20 (5), pp 227-236.
- ENDO, I., 1997.** Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, 243 p.
- ENOKI, M., 1996.** Stability of rock slopes with discontinuous planes. Landslides, Balkema, p.133-140.
- FIGUEIREDO, A L. C. de, 1996.** Caracterização geomecânica do maciço de fundação da UHE Tijuco Alto (Rio Ribeira-SP/PR). São Carlos: dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 196p.
- FIGUEIREDO, R. P. de; LANA, M. S., 1999.** Análise da estabilidade do talude final na Mina de Timbopeba. Revista da Escola de Minas, v.52, n.4, p.239-244.
- FONSECA, M. A; SOBREIRA, F. G., 1997.** O escorregamento no bairro Piedade, Ouro Preto, Minas Gerais: Processos de instabilização em antigas áreas de mineração. IN: 2ND PAN-AM. SYMP. LANDSLIDES, 2ND COBRAE, Rio de Janeiro, p.139-144.
- FRANKLIN, J. A.; DUSSEAULT M.B., 1989.** Rock Engineering. Mc. Graw Hill, New York, USA, 601p.
- GATES, W. C. B., 1997.** The hydro-potential (HP) value: A rock classification technique for evaluation of ground-water potential in fractured bedrock. Environmental & Engineering Geoscience, v.III, n.2, Summer, pp.251-267.

- GIANI, G. P., 1988.** Rock slope stability analysis. Rotterdam, A A Balkema Publishers, 361p.
- GOMES, R. C., 1991.** Classificações geomecânicas de maciços rochosos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 37p.
- GONZATTI, C., CELESTINO, T.B.; BORTOLUCCI, A.A., 1993.** AETR - Análise de estabilidade de taludes em rocha, versão 1, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GOODMAN, R. E., 1989.** Introduction to rock mechanics. 2º edição. New York: John Wiley e Sons. 256p.
- GRIPP, M. de F. A., 1992.** Considerações sobre avaliação da estabilidade de taludes e encostas. IN: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, Rio de Janeiro. Anais: ABMS/ABGE, 757p., v.2, p.735-740.
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M., 1984.** Estabilidade de Taludes e de Escavação. 2ª edição. Editora Edgard Blüncher Ltda, São Paulo, 195p.
- GUIMARÃES, D. 1931.** Contribuição à geologia do Estado de Minas Gerais. Serv. Geol. Min. do Brasil. 36p. (Boletim 55).
- GUPTA, A. S.; RAO, K. S., 1998.** Index properties of weathered rocks: inter-relationships and applicability. Bull. Eng. Geol. Env. (1998) 57: 161-172.
- GUZZETTI, F., CARDINALI, M., REICHENBACH, P., 1996.** The influence of structural setting and lithology on landslide type and pattern. Environmental & Engineering Geoscience, v.II, n.4. p.531-555.
- HACH-HACH, A., 1997.** Movimentos Gravitacionais de Massa (inventário, mecanismo e monitoramento). Revisão Bibliográfica. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 83p.
- HARDER, E.C.; CHAMBERLIN, R.T. 1915.** The geology of central Minas Gerais, Brasil. Journal of Geology, v.23, p.341-378.
- HÖEK, E.;BRAY, J. (1977).** Rock slope engineering. 2ª edição revisada. The Institution of Mining and Metallurgy, Londres, 402p.
- HOEK, E. et al., 1998.** Applicability of geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. Bull. Eng. Geol. Env. (1998) 57: 151-160.

- HUTCHINSON, J. N., 1988.** Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrogeology. General Report. Proceedins of 5th International Symposium on Landslides Lausanne, v. 1, p.3-35.
- INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS (IGA), 1995.** Desenvolvimento Ambiental de Ouro Preto - Microbacia do Ribeirão do Funil.
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (ISRM), 1978.** Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos. Tradução por: Marchi, A J., Cury Jr., A, Alves Fº, A et al. São Paulo: ABGE/CBRM, 132p.,1983. Tradução de : "Suggested methods for the quantitative description of rock masses" (International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, v.15, n. 6, p.319-368, 1978).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), 1991.** Manual de ocupação de encostas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo. Publicação nº 1831, 229p.
- KIRKALDIE, L. et al., 1988.** Rock material field classification procedure. In: Kirkaldie, L. Rock classification systems for engineering purposes - ASTM STP 984, Philadelphia. p.153-167.
- LADEIRA, E.A. 1980.** Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Canadá. 272p (Ph.D. thesis. Univ. Ontário).
- LADEIRA, E.A.; VIVEIROS, J.F.M. 1984.** Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis. Belo Horizonte, SBG Núcleo Minas Gerais. 18p. (Boletim 4).
- LANA, M. S.; GRIPP, M. de F. A., 1999.** Um procedimento para a identificação dos mecanismos de ruptura em taludes rochosos. Revista da Escola de Minas, v.52, n.4, p.245-249.
- LANFRANCHI, R. A, GOMES, R. C., SOUZA, K de, 1996.** Riscos geológicos associados à escavações subterrâneas na Serra de Ouro Preto. IN: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, setembro, p.601-610.
- LEE, C., DENG, B., 1995.** A continuum approach for estimating permeability in naturally fractured rocks. Engineering Geology 39 (1995), p.71-85.

- LEONE, F., ASTÉ, J.P., LEROI, E., 1996.** Vulnerability assessment of exposed to mass-movement: Working toward a better risk perception. *Landslides*, Senneset(eds). Balkema, Rotterdam. p.263-269.
- LIV, H.; STERLING R. S., 1990.** Statistical description of the surface roughness of rock joints. *Rock mechanics contributions and challenges*. IN: PROCEEDINGS OF THE 31 ST., US SYMPOSIUM-COLORADO SCHOOL OF MINES. p.277-284.
- LUNARDI, P., FROLDI, P., FORNARI, E., 1994.** Rock mechanics investigation for slope stability assessment. *Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech.*, v.31, n.4, pp.323-345.
- MARSHAK, S.; ALKMIM, F.F. 1989.** Proterozoic extension/contraction tectonics of the southern São Francisco Craton and adjacent regions, Minas Gerais, Brazil. A kinematic model relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin and Cordilheira do Espinhaço. *Tectonics*, 8(3): 555-571.
- MAULDON, M., 1994.** Intersection probabilities of impersistent joints. *Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech.*, v.31, n.2, pp.107-115.
- MAULDON, M.; GOODMAN, R., 1996.** Vector analysis of keyblock rotations. *Journal of Geotechnical Engineering/december*. p.976-987.
- MUNSTER, C., MATHEWSON, C., WROBLESKI, 1996.** The Texas A&M University Brazos River Hydrogeology Field Site. *Environmental & Engineering Geoscience*, v.II, n.4. p.517-530.
- MAXWELL, C.H. 1958.** The Batatal Formation. IN: BOLETIM DA SOC. BRAS. GEOC. São Paulo. Boletim... São Paulo, SBG. 7(2): 60-61.
- NALINI, H. A., 1993.** Análise estrutural descritiva e cinemática do flanco sul e terminação periclinal do Anticlinal de Mariana e adjacências, Região Sudeste do Quadrilátero Ferrífero/M.G., Belo Horizonte, Brasil. Tese de mestrado, IGC/UFMG, 132p.
- NIEBLE, C. M., 1986.** Métodos avançados para a análise de estabilidade de taludes. IN: II SIMPÓSIO SUL AMERICANO DE MECÂNICA DAS ROCHAS, Porto Alegre, v.2, p.197-207.

- NOCE, C. M., 1995.** Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 128p.
- NONATO, C. A., 1994.** Utilização de classificações de maciços no estudo da estabilidade de taludes pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero, M.G. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 162p.
- OLIVEIRA de, A. R.; DIAS, E. C., 1997.** Zoneamento Geológico-Geotécnico da Porção Urbana da Serra de Ouro Preto-M.G.. Trabalho de graduação. Departamento de Geologia, Escola de Minas, UFOP. 87 p.
- PALICKI, K., 1997.** A graphical method for the classification of rock and weak rock masses based on field observations. *Environmental & Engineering Geoscience*, vol. III, N° 1, p.7-12.
- PALMSTROM, A., 1975.** Characterizing the degree of jointing and rock mass quality. Internal Report. Berdal, Oslo.
- PINHOTTI, M. C., 1994.** Estabilidade de escavações subterrâneas mineiras: aspectos estruturais e geológico-geotécnicos gerais. Revisão Bibliográfica. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 62p.
- PIMENTA, R. P.; GRIPP, M. de F. A.; GRIPP, A. H., 1999.** "GEOMECCCLASS": um programa para a avaliação dos parâmetros geomecânicos com o uso de classificações geomecânicas. *Revista da Escola de Minas*, v.52, n.4, p.251-255.
- POMERENE, J. B., 1958a.** The Cercadinho Formation. In: Symposium on Stratigraphy of Minas Gerais Series in Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 7 (2): 64-65.
- POMERENE, J. B., 1958b.** The Tabões Quartite Formation. In: Symposium on Stratigraphy of Minas Gerais Series in Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 7 (2): 66-67.
- POMERENE, J. B., 1958c.** The Barreiro Formation. In: Symposium on Stratigraphy of Minas Gerais Series in Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 7 (2): 67-68.
- PRICE, D. G., 1993.** A suggested method for classification of rock mass weathering by a ratings system. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, v. 26, p.69-76.

- PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A., 1976.** Discontinuity spacings in rock. *Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech.*, v.13, p.135-148.
- PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A., 1979.** Discontinuities and rock mass geometry. *Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech.*, v.16, p.339-362.
- PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A., 1981.** Estimation of discontinuity spacings an trace lenght using scanline surveys. *Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech.*, v.18, p.183-197.
- PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A., 1983.** Discontinuity frequency in rock masses. *Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech.*, v.20, n.2, pp.73-89.
- QUADROS, E. F., 1992.** A condutividade hidráulica direcional dos maciços rochosos. São Paulo. 2v. Tese de doutorado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- RAGOZIN, A L., 1996.** Modern problems and quantitative methods of landslide risk assessment. *Landslides*, Senneset(eds). Balkema, Rotterdam. p.339-344.
- REIK, G.; TEUTSCH, CHR., 1976.** The use of equivalent models in slope stability investigation. *Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech.*, v.13, pp.312-330.
- RODRIGUES, B. B., 1997.** Elaboração de Cartas de Risco decorrentes de Movimentos Gravitacionais de Massa. Revisão Bibliográfica. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 116p.
- ROMANA, M., 1985.** Nuevos factores de ajuste para la aplicación de la classification de Bieniawski a los taludes. IN: COLOQUIO SOBRE INGENIERIA GEOLÓGICA, 3, Barcelona. Ponencias.. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, p.139-153.
- ROMANA, M., 1991.** SMR classification. IN: 7TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ROCK MECHANICS, vol. 2, p.955 a 960.
- ROMANA, M., 1996.** The SMR geomechanical classification for slopes: A critical ten-years review. *Landslides*, Balkema (ed.), p.255-267.
- SADAGAH, B. H., SEN, Z., FREITAS, M. H. De, 1990.** A matemtical representation of jointed rock masses and its application. *Mechanics of Jointed and Faulted Rock*, Rossmanith (ed.), p.65-69.
- SADAGAH, B. H.; SEN, Z., 1996.** Naturally fractured rock mass quality zonation in Saudi Arabia. *International Journal of Engineering Geology*, n.29, p.205-208.

- SANCIO, R. T.; BROWN, I., 1980.** A classification of weathered foliated rocks for use in slope stability problems. IN: Australia - New Zealand Conference on Geomechanics, Wellington. Proceedings...Wellington: The New Zealand Institution of Engineers, v. 2, p. 81-86.
- SCARPELLI, A. G., 1994.** Classificação geomecânica aplicada a avaliação da estabilidade de taludes em mina de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 170p.
- SCHALKWKY, A VAN; PRICE, G. V., 1990.** Engineering geological mapping for urban planning in developing countries. 6th International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam (ed.), p.257-264.
- SCHMIDT, K. M.; MONTGOMERY, D. R., 1996.** Rock mass strength assessment for bedrock landsliding. Environmental & Engineering Geoscience, vol. II, Nº 3, p.325-338.
- SIMMONS, G.E.; MAXWELL, C.H., 1961.** Grupo Tamanduá da Série Rio das Velhas. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 30p. (Boletim 211).
- SIQUEIRA, J. M., CAMARGO, F. P., RIBEIRO, A. C. O., 1986.** Classificação geomecânica preliminar de maciços rochosos para estudos de alternativas de implantação das estruturas de concreto da Usina Hidrelétrica de Cachoeira Porteira. In: II Simpósio Sul Americano de Mecânica das Rochas, Porto Alegre, v.1, p.131-141.
- SOBREIRA, F.G., 1990.** Levantamento das Áreas de Risco Geológico no Espaço Urbano de Ouro Preto, Relatório Final do Projeto - convênio E.M./UFOP - MinC, 90p.
- SOBREIRA, F.G., ARAÚJO, L.J., BONUCCELLI, T.J. 1990.** Levantamento de Soluções Estruturais para a Contenção de Encostas em Ouro Preto, Relatório Final do Projeto - convênio E.M./UFOP - MinC, 99p.
- SOBREIRA, F.G., 1991.** Riscos Geológicos: Definição dos pontos críticos em Ouro Preto. Revista da Escola de Minas, v.44, n.2/3, p.213-223.
- SOUZA, M.L., 1996.** Mapeamento Geotécnico da Cidade de Ouro Preto/ MG (escala 1:10.00), Susceptibilidade aos Movimentos de Massa e Processos Correlatos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 163p.

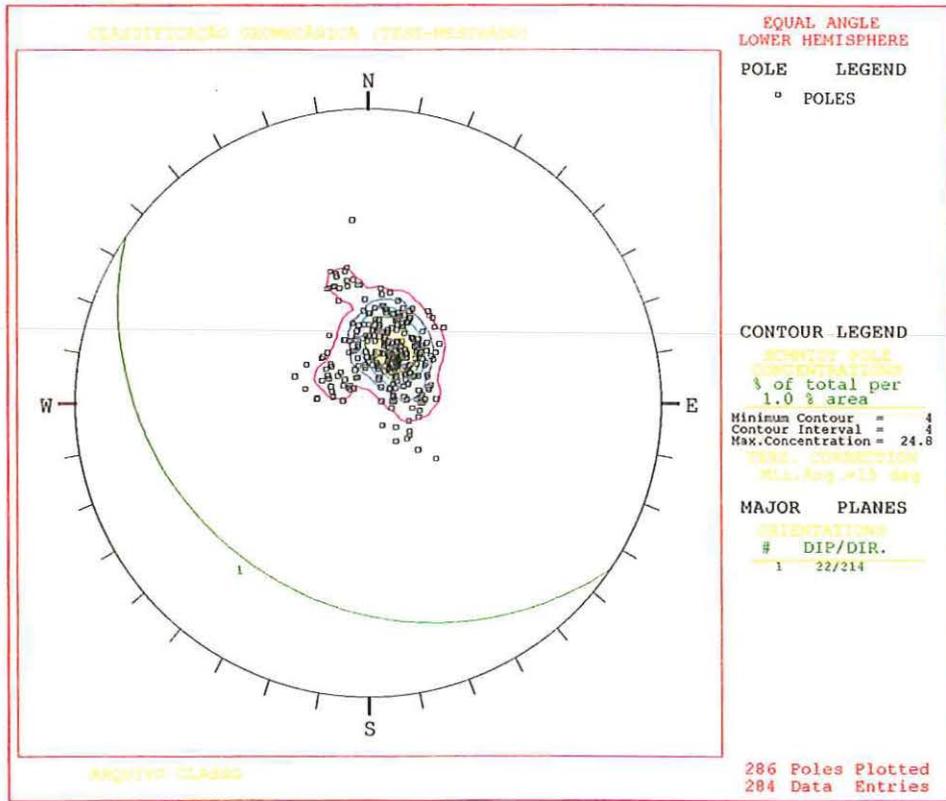
- SOUZA, M. L.; ZUQUETTE, L.V., 1997.** Carta de zoneamento da susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos de uma parcela da área urbana da cidade de Ouro Preto (MG), Brasil. IN: 2ND PAN-AM. SYMP. LANDSLIDES, 2ND COBRAE, Rio de Janeiro, p.847-851.
- TRESSOLDI, M., 1991.** Uma contribuição à caracterização de maciços rochosos fraturados visando a proposição de modelos para fins hidrogeológicos e hidrogeotécnicos. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 291p.
- TSE, R.; CRUDEN, D. M., 1979.** Estimating joint roughness coefficients. Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech., v.16, pp.303-307.
- TSIDZI, K. E. N., 1987.** Foliation index determination for the fine-grained metamorphic rocks. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, n.36. p.81-88.
- TUGRUL, A.; ZARIF, I. H., 1998.** The influence of mineralogical textural and chemical characteristics on durability of selected sandstones in Istanbul, Turkey. Bull. Eng. Geol. Env. (1998) 57: 185-190.
- VARNES, D.J., 1978.** Landslides Types and Processes. IN: LANDSLIDES AND ENGINEERING PRACTICE. E.B. Eckel (ed.). Special Report n° 29, Highway Research Board, p.20-47.
- VARNES, D.J., 1984.** Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. Commission on Landslides of IAEG, UNESCO, Natural Hazards n 3, 61p.
- WALLACE, R. M., 1958.** The Moeda Formation. Boletim da Soc. Bras. de Geoc. São Paulo, SBG. 7 (2), p.59-60.
- WATTS, C. F.; WEST, T. R., 1986.** Discontinuity significance index and electronic data collection for rock slope stability studies. Bulletin of Association of Engineering Geologists, v. XXIII, n° 3, p. 265-278.
- WEST, T. R., 1996.** The effects of positive pore pressure on sliding and toppling of rock blocks with some considerations of intact rock effects. Environmental & Engineering Geoscience, vol. II, N° 3, p.339-353.
- WEI, Z.Q., EGGER, P., DESCOURDF, F., 1995.** Permeability predictions for jointed rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., v.32, n.3. p.251-261.

- WOLLE, C. M., 1980.** Taludes naturais - Mecanismos de instabilização e critérios de segurança. Tese de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- WOLLE, C. M., 1985.** Slope stability - Relato geral. Tropical's 85 - Brasília. Progress Report, p.166-214.
- WOLLE, C. M., 1988.** Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- WU, T. H.; ALI, E. M., 1978.** Statistical representation of joint roughness. Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech., v.15, pp.259-262.
- YANG, Z. Y.; LO, S. C., 1997.** An index for describing the anisotropy of joints surfaces. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., v.34, n.6. p.1031-1044.
- YUFU, Z., 1995.** Principal conversion methods for rock mass classification used at home and abroad. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, n.51. p.81-87.
- ZANBAK, C., 1977.** Statistical interpretation of discontinuity contour diagrams. Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech., v.14, pp.111-120.
- ZHANG, X., HARKNESS, R.M., LAST, N.C., 1992.** Evaluation of connectivity of naturally jointed rock masses. In: Engineering Geology, v.33, p.11-30.
- ZUQUETTE, L.V., 1987.** Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras. Tese de Doutorado, Departamento de Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 3v.
- ZUQUETTE, L.V., 1993.** Importância do mapeamento geotécnico: uso e ocupação do meio físico, fundamentos e guia para elaboração. Tese de livre Docência, Departamento de Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2v.
- ZUQUETTE, L.V., 1993a.** Algumas propostas metodológicas para elaboração de cartas de risco e "hazards". IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., Poços de Caldas, Anais. São Paulo, ABGE.v3.

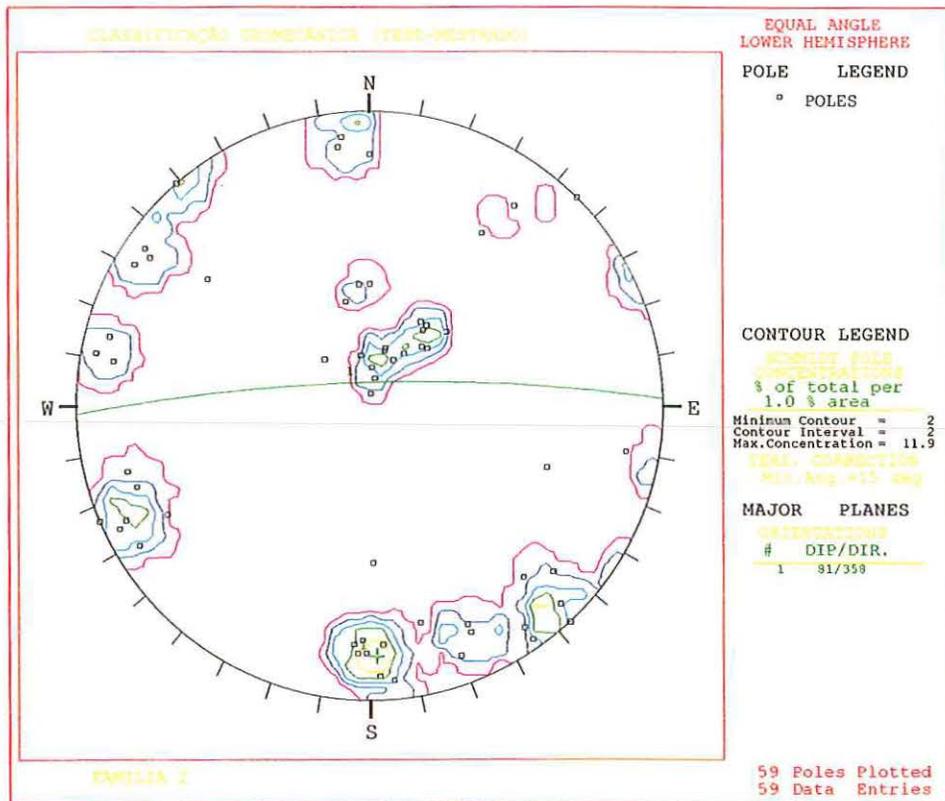
ZUQUETTE, L.V., BONUCELLI, T., ZENÓBIO A A, SILVA, M. de O., 1996.

Avaliacion de movimientos de masas en macizos rocosos a través de clasificaciones geomecánicas y analisis cinemáticos en la ciudad de Ouro Preto, Brasil. ANAIS: IV SIMPOSIO LATINO-AMERICANO DE RIESGOS GEOLOGICOS-SAN JOSE, COSTA RICA.

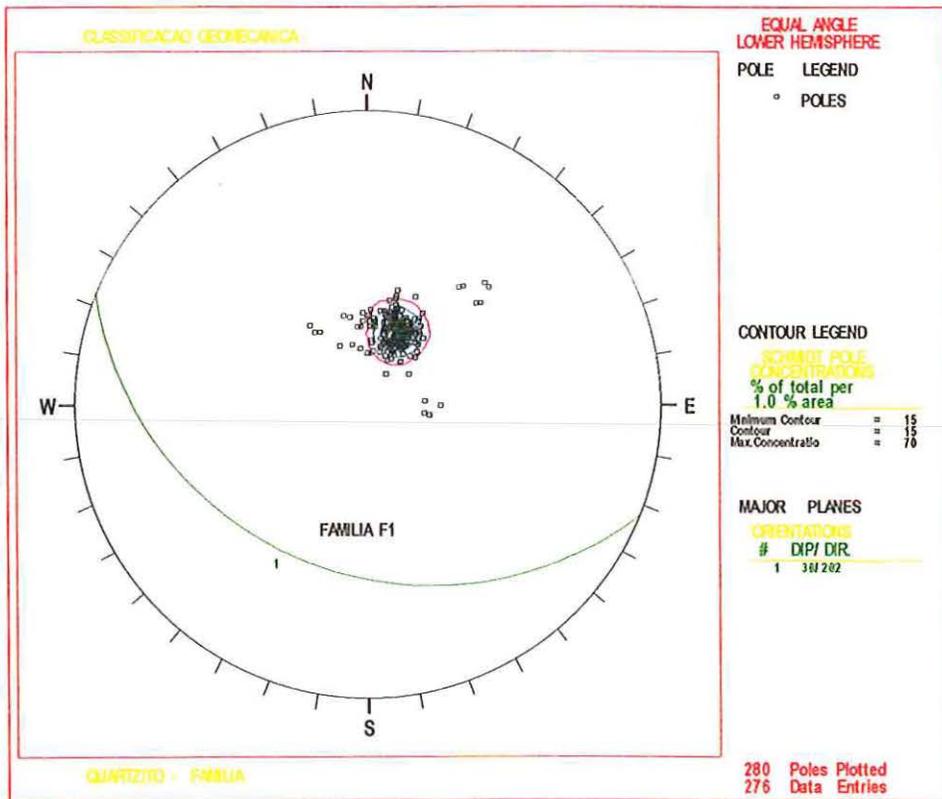
APÊNCIDE I – ESTEREOGRAMAS DAS LITOLOGIAS



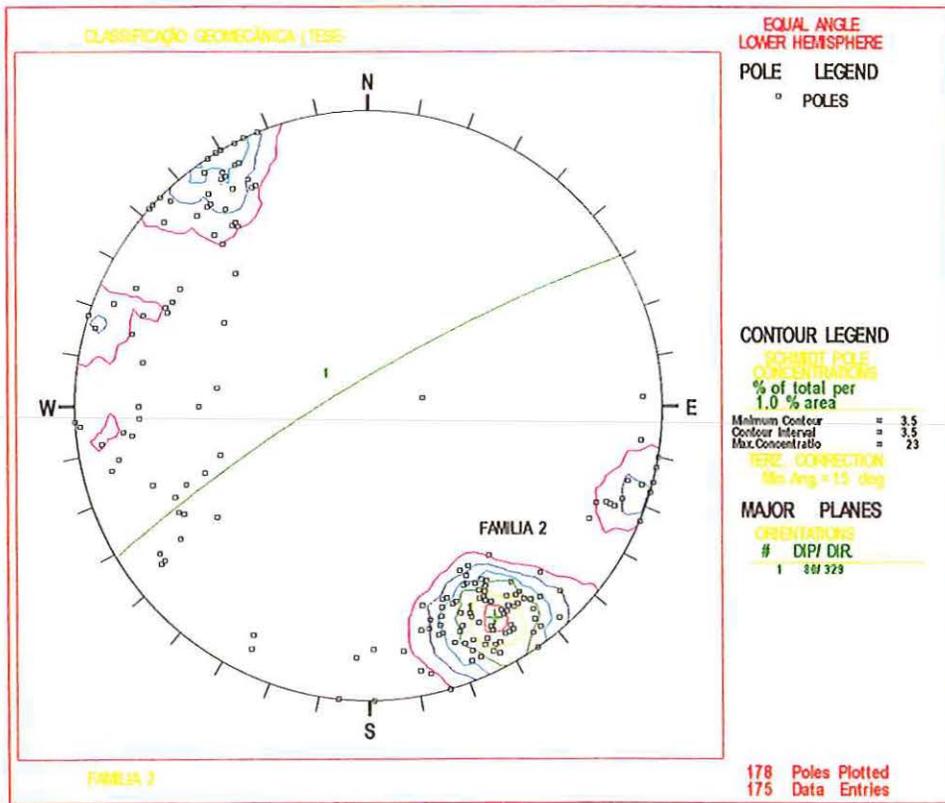
1 – Estereograma: família F1 (xistosidade) presente nos quartzo-sericita-xisto (RvnL).



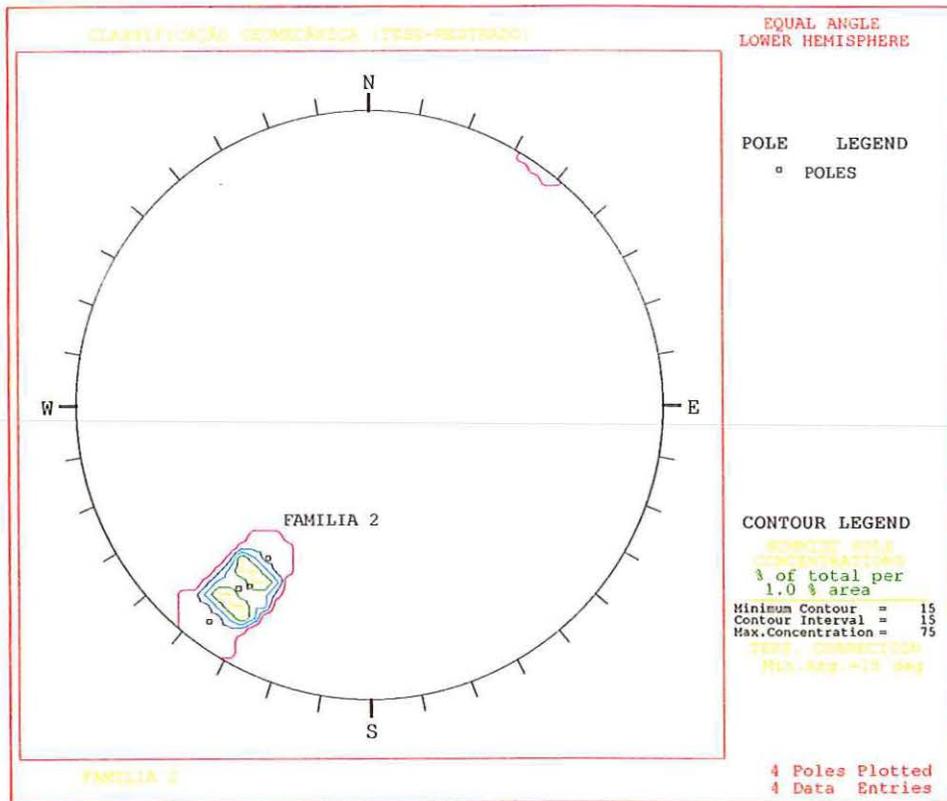
2 – Estereograma: família F2 (fratura) presente nos quartzo-sericita-xisto (RvnL).



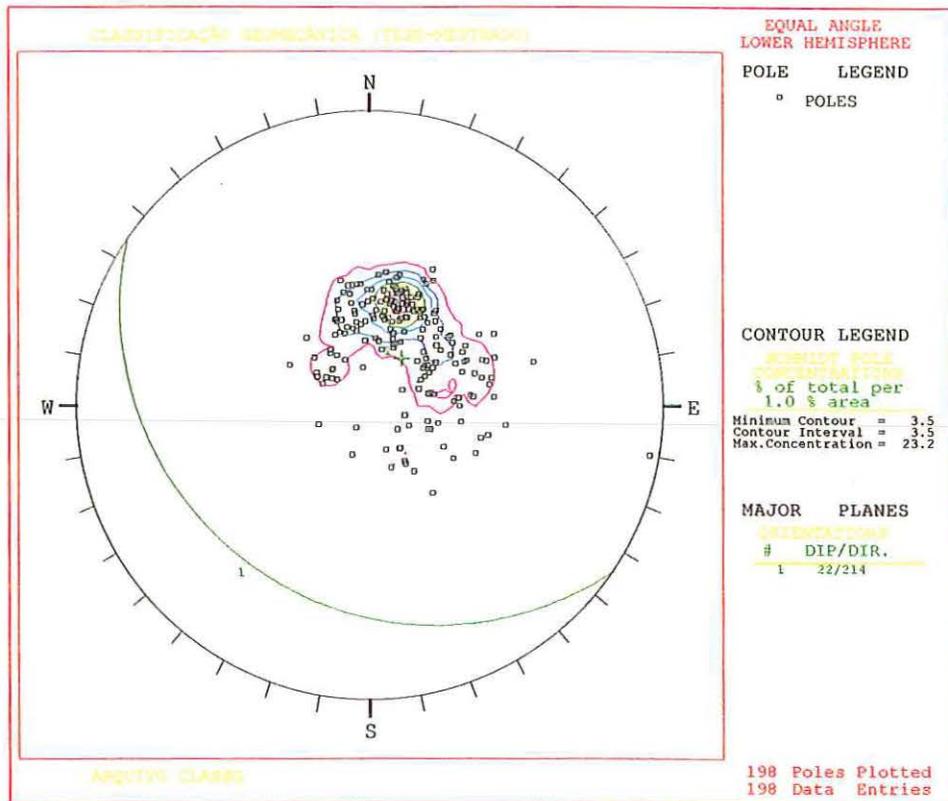
3 – Estereograma: família F1 (xistosidade) presente no quartzito serfítico (mcm).



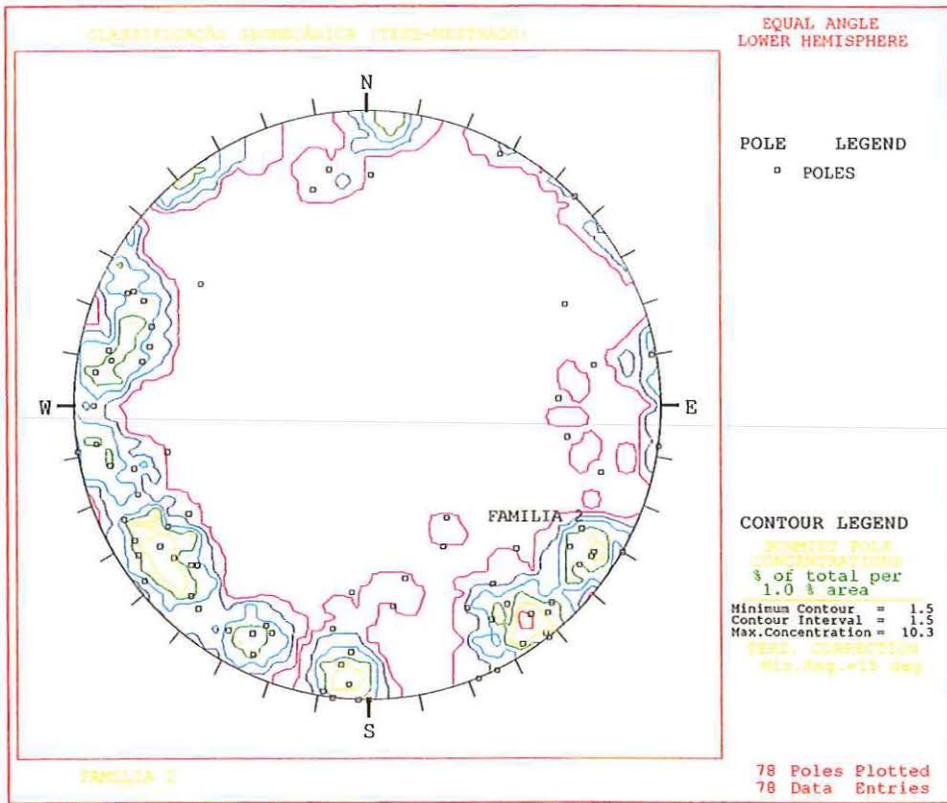
4 – Estereograma: família F2 (fratura) presente no quartzito sercítico (mcm).



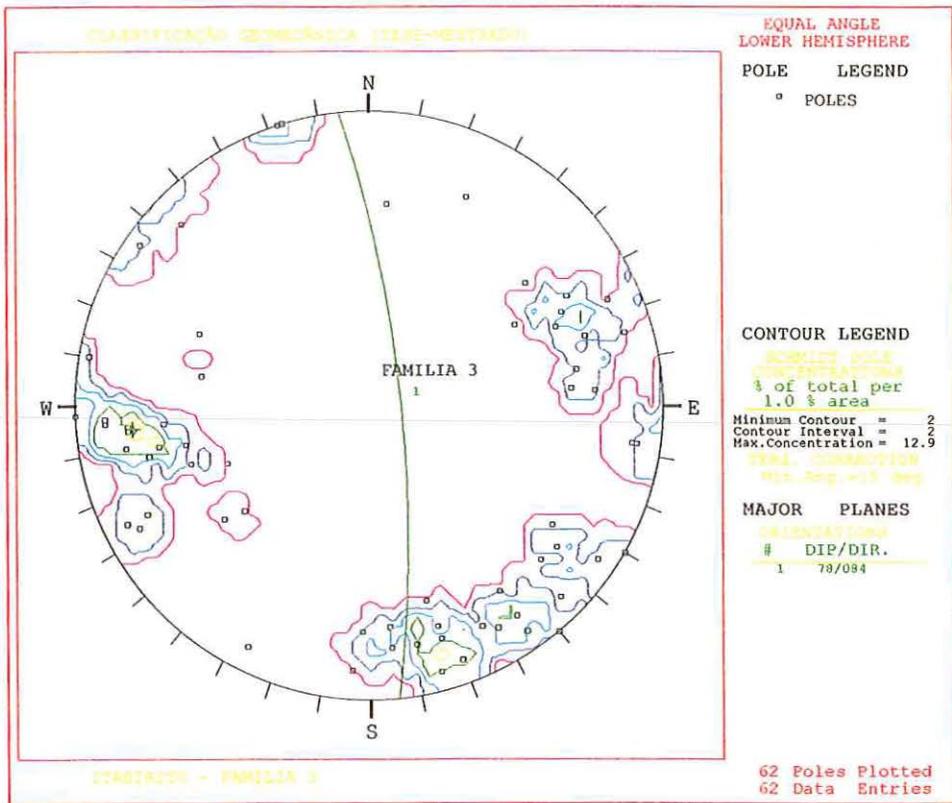
6 – Estereograma: família F2 (fratura) presente no filito (mcb).



7 – Estereograma: família F1 (xistosidade) presente no itabirito (mic).



8 – Estereograma: família F2 (fratura) presente no itabirito (mic).



9 – Estereograma: família F3 (fratura) presente no itabirito (mic).

**APÊNDICE II - ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS
FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES PRESENTES
NAS LITOLOGIAS**

**CLASSES UTILIZADAS PARA
A AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA**

CLASSES DE PERSISTÊNCIA	
CLASSES	PERSISTÊNCIA(m)
1	< 0,50
2	0,50-1,0
3	1,0-5,0
4	5,0-10,0
5	10,0-20,0
6	>20

CLASSES DE ESPAÇAMENTO	
CLASSES	ESPAÇAMENTO(m)
1	< 0,20
2	0,20-0,50
3	0,50-1,0
4	1,0-2,0
5	> 2,0

CLASSES DE ABERTURA	
CLASSES	ABERTURA(cm)
1	< 0,05
2	0,05-0,10
3	0,10-0,20
4	0,20-0,50
5	0,50-1,0
6	> 1,0

FONTE: ISRM(1978)

XISTO

GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	1
4	1
5	0
6	57

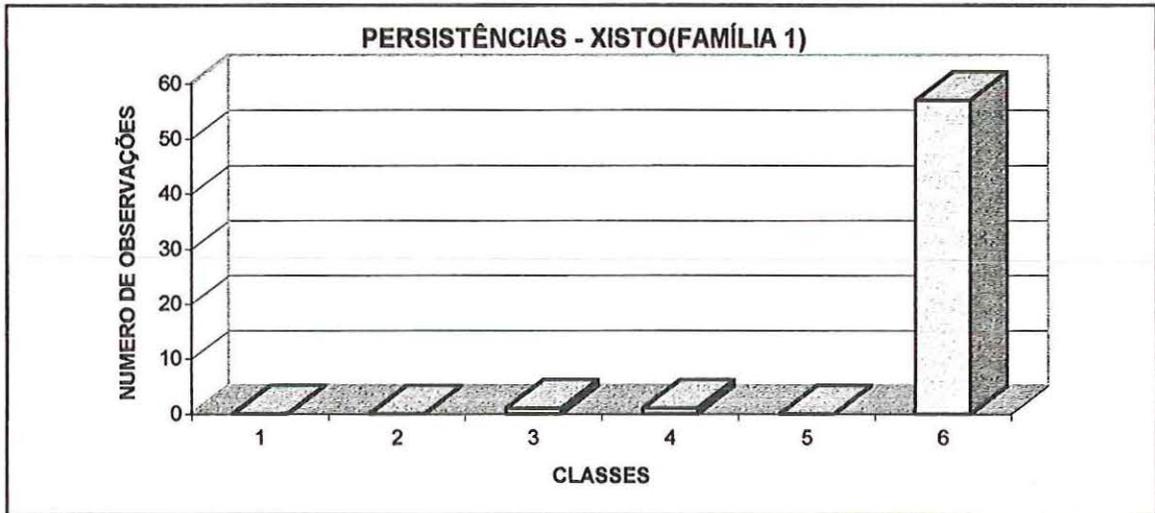


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	59
2	0
3	0
4	0
5	0

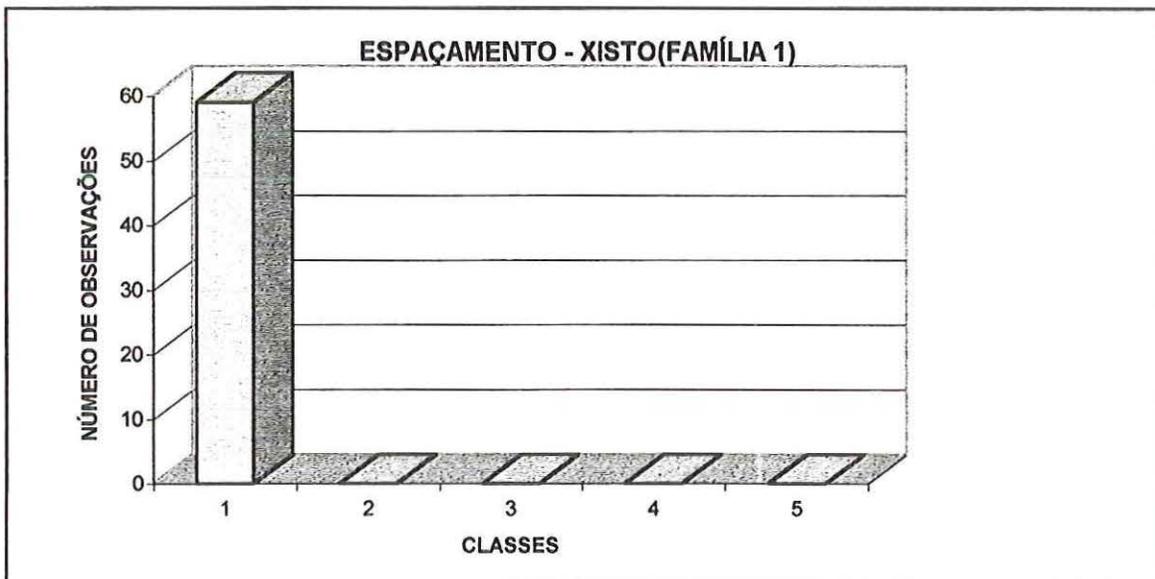


GRÁFICO DE ABERTURA (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	57
2	3
3	0
4	0
5	0
6	0

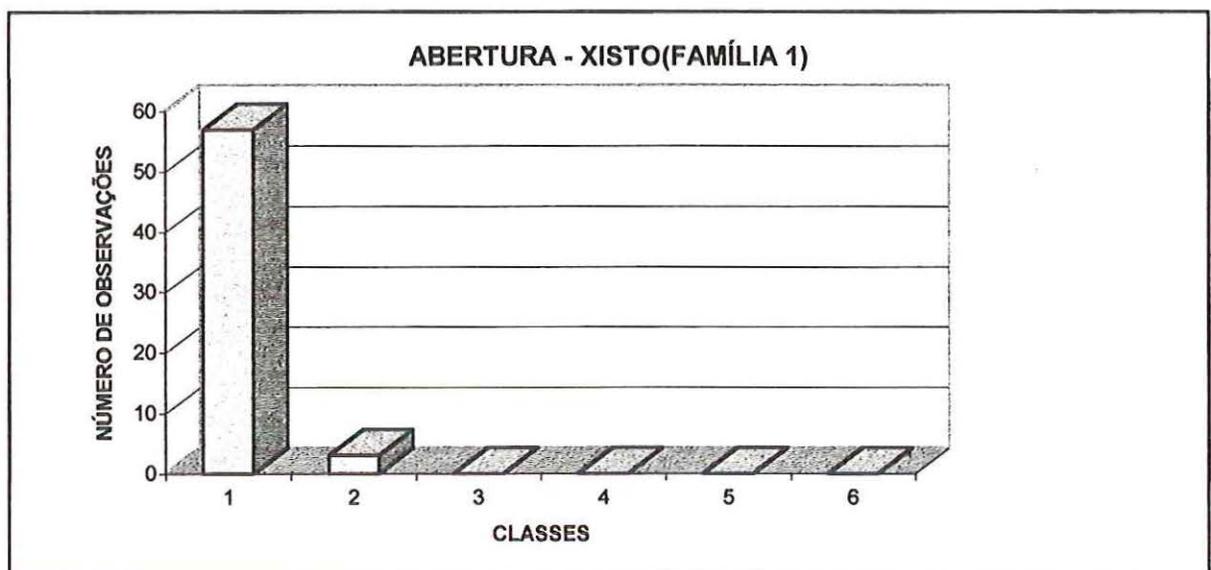


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	2
2	3
3	14
4	0
5	0
6	0

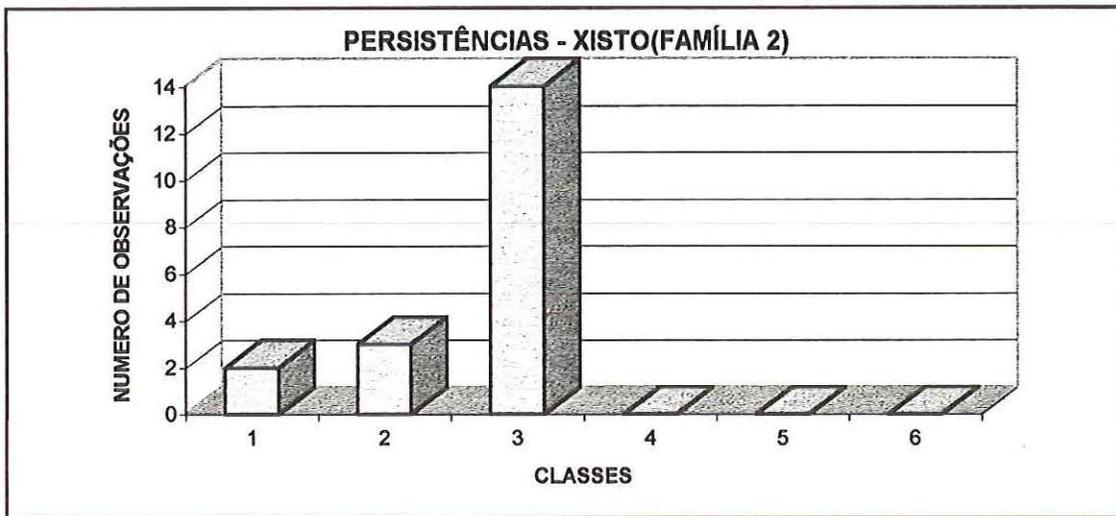


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	4
2	5
3	3
4	1
5	1

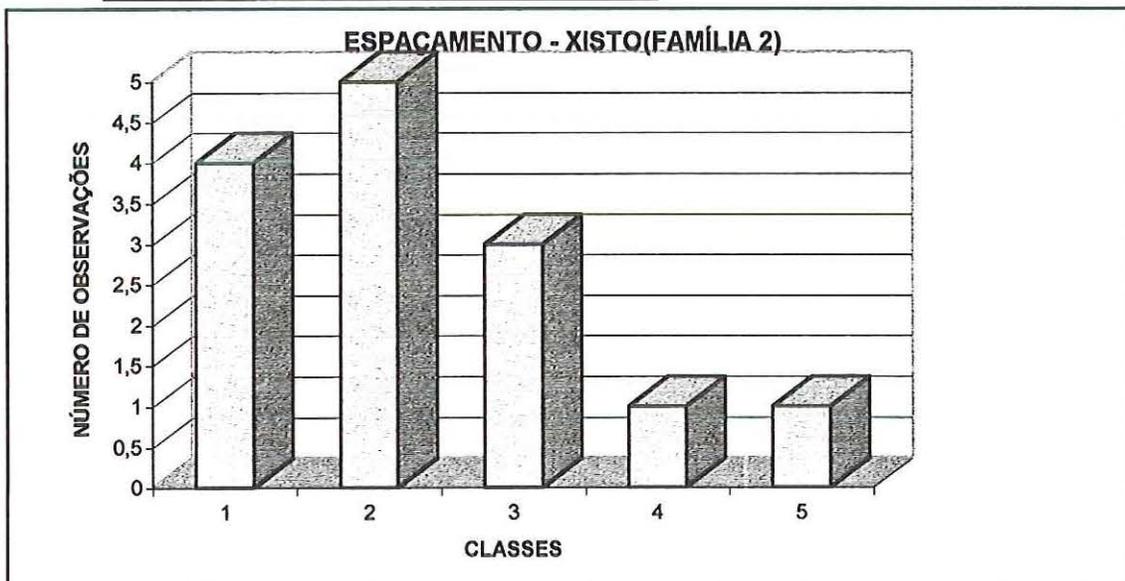


GRÁFICO DE ABERTURA (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	2
2	0
3	0
4	3
5	2
6	8

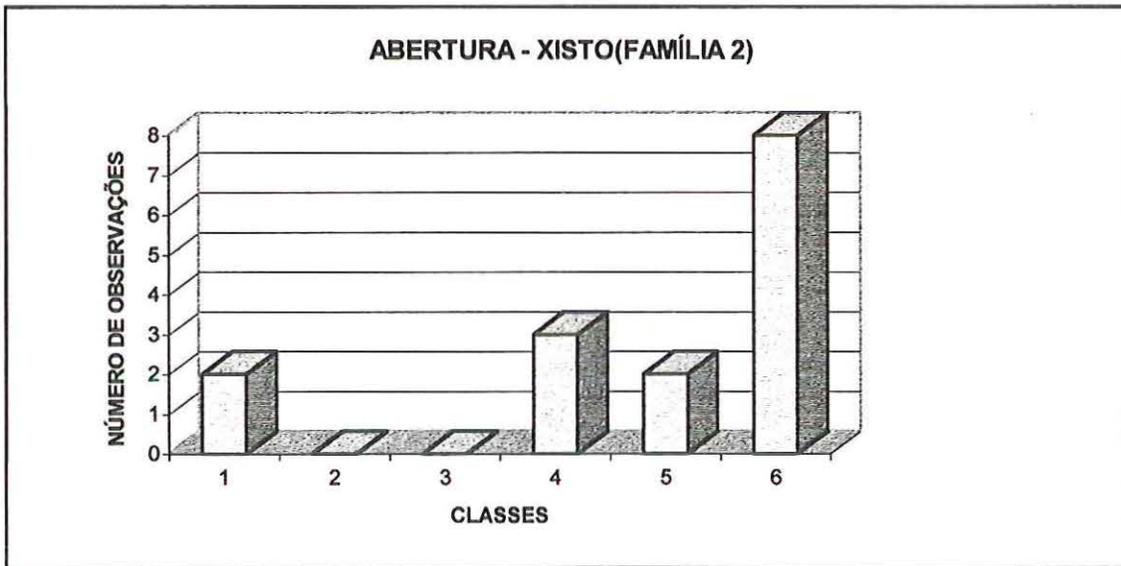


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	4
2	1
3	3
4	0
5	0
6	0

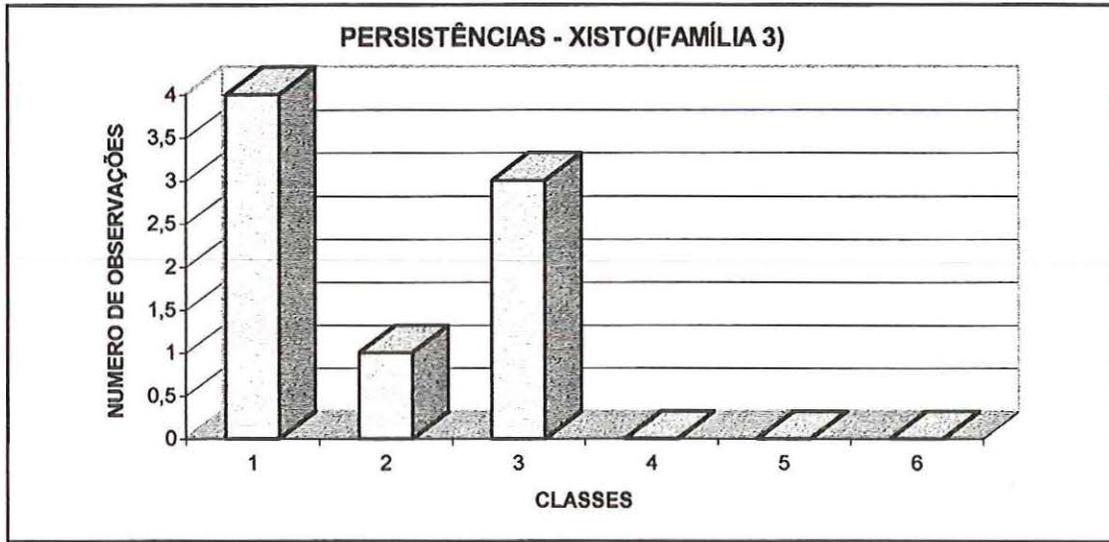


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	2
3	1
4	2
5	0

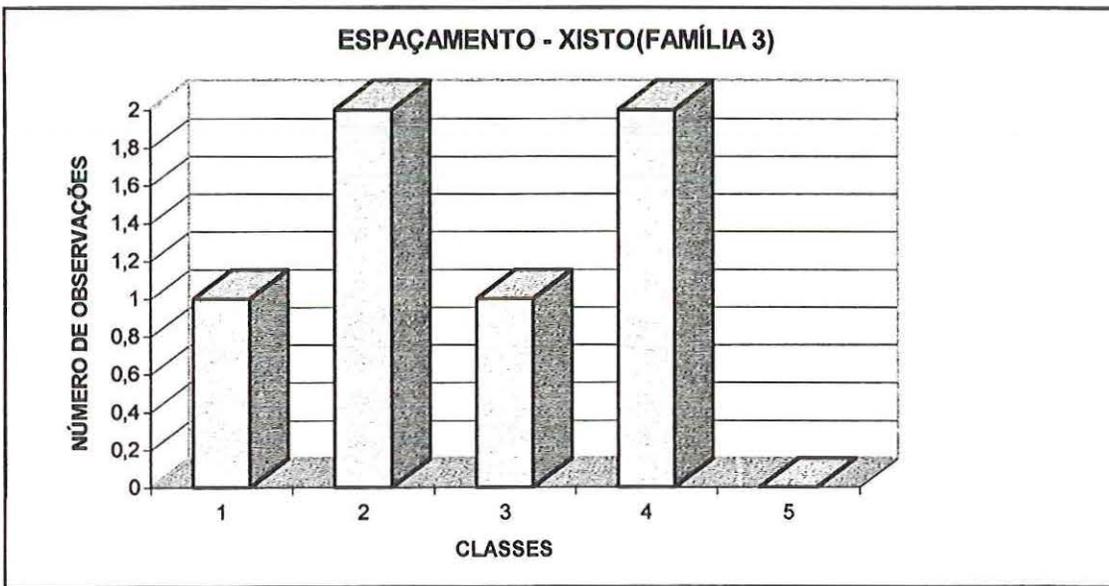


GRÁFICO DE ABERTURA (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

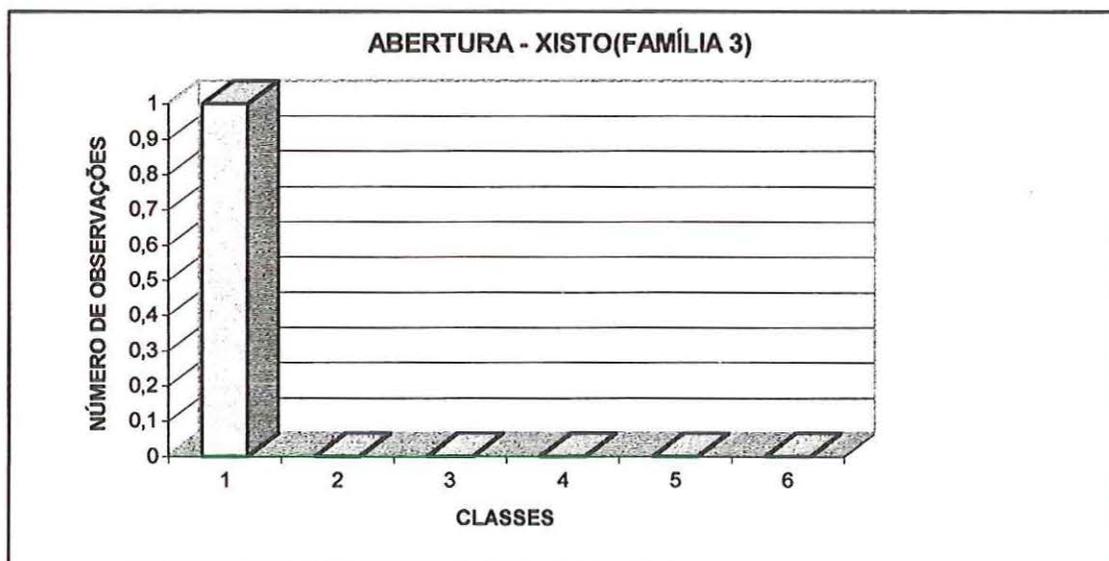


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	2
4	0
5	0
6	0

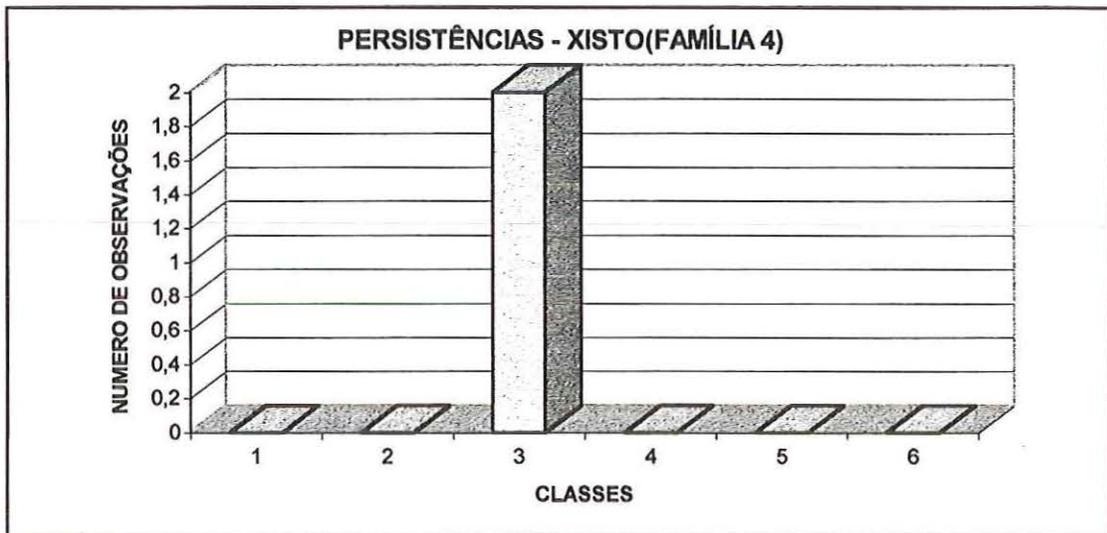


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	1
4	0
5	0

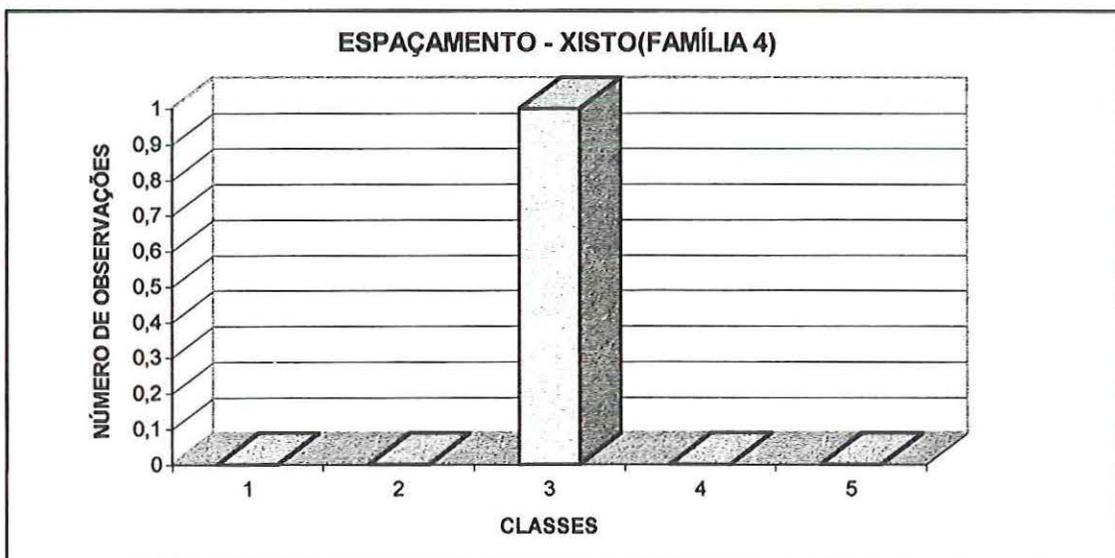
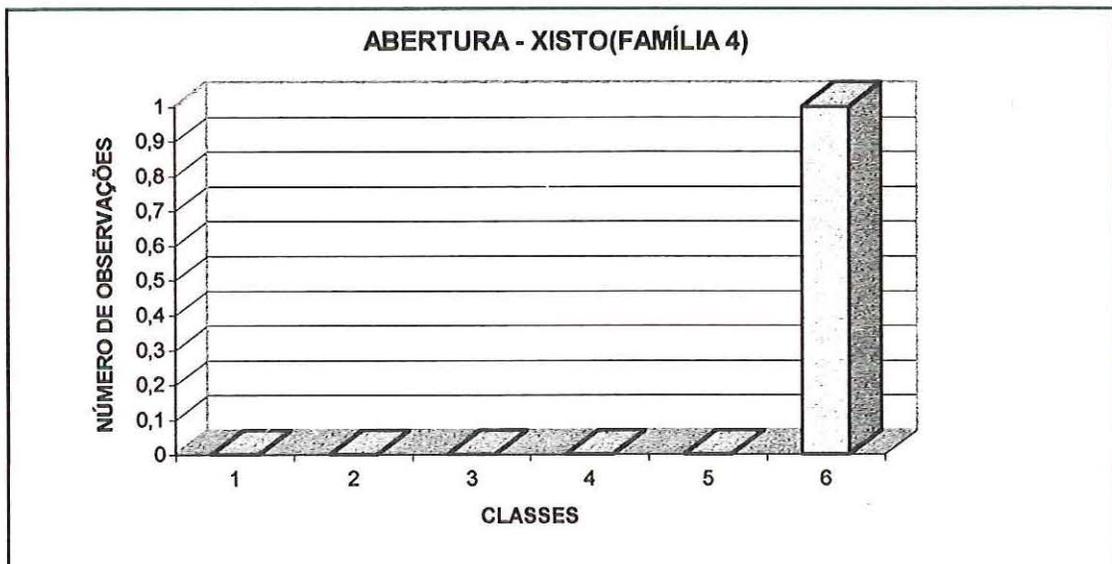


GRÁFICO DE ABERTURA (XISTO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1



QUARTZITO SERICÍTICO

GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	1
3	5
4	5
5	0
6	25

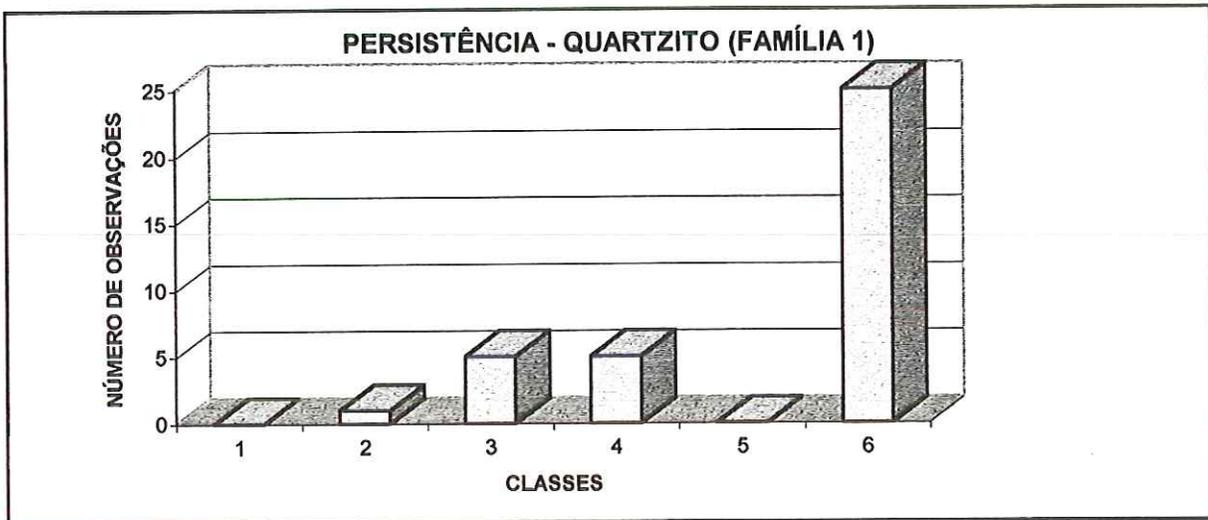


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	34
2	1
3	0
4	1
5	0

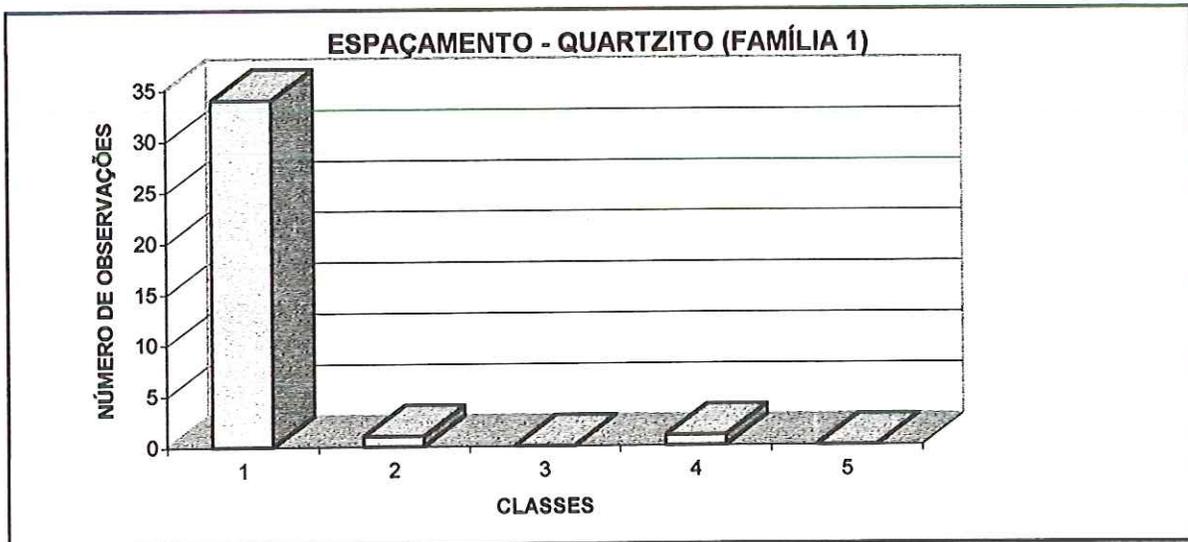


GRÁFICO DE ABERTURA(QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	25
2	11
3	0
4	0
5	0
6	1

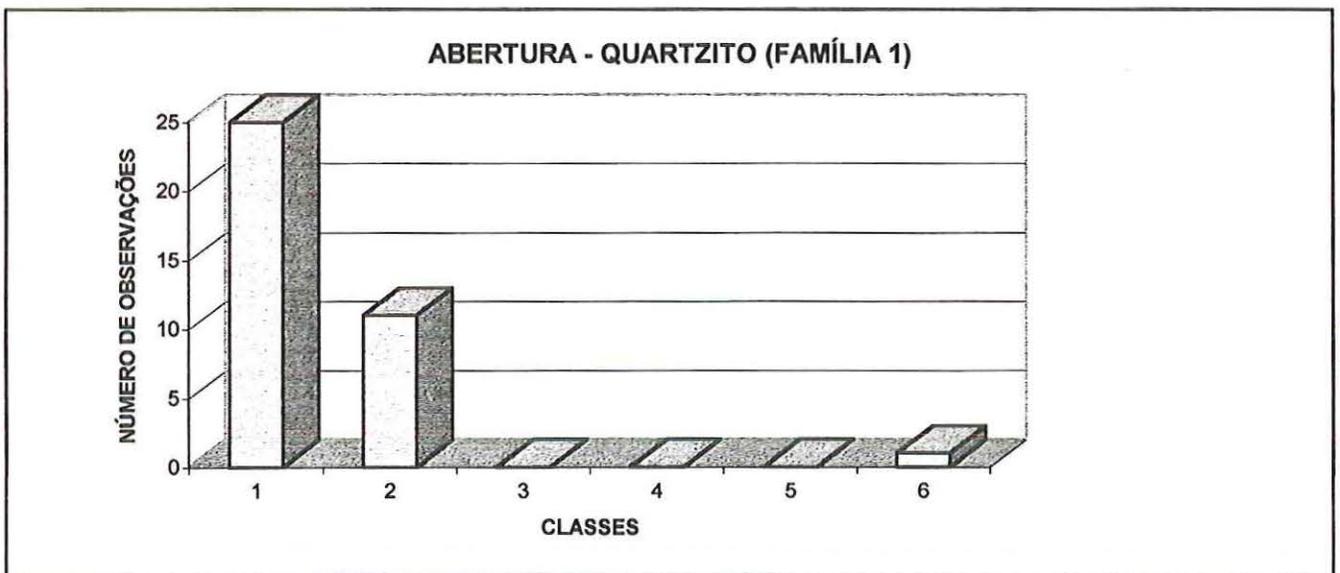


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	5
3	19
4	3
5	1
6	2

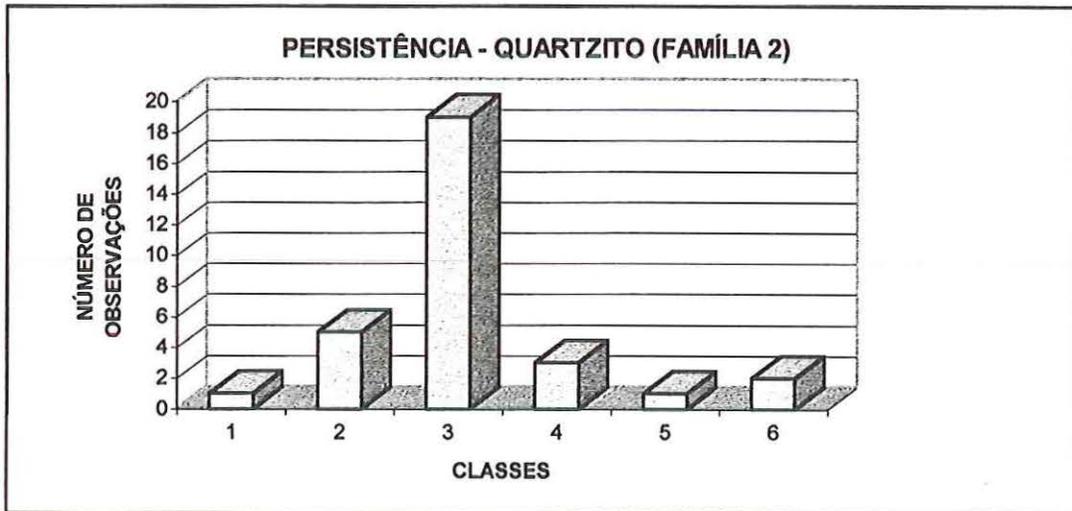


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	7
2	10
3	9
4	2
5	1

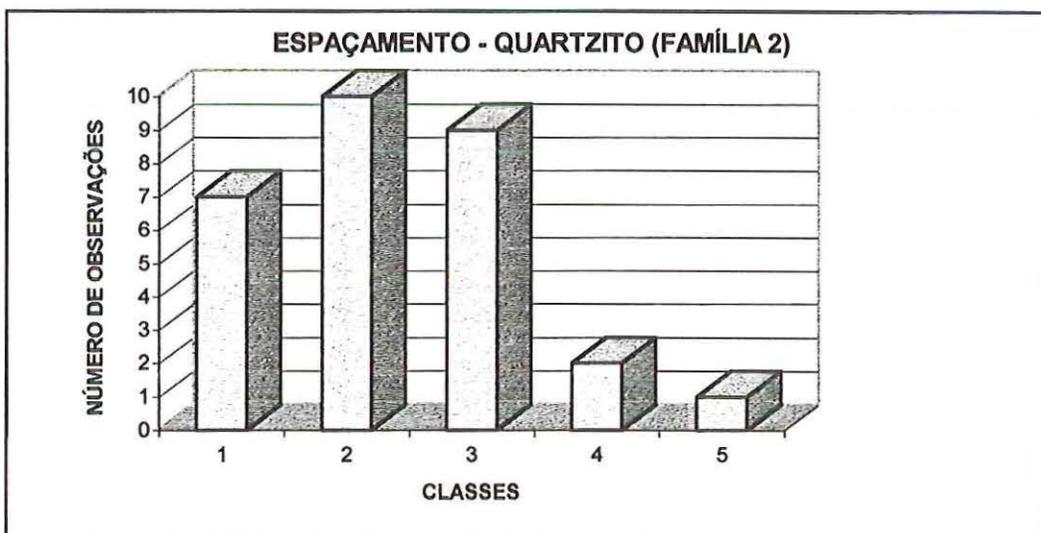


GRÁFICO DE ABERTURA(QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	3
2	1
3	0
4	1
5	0
6	19

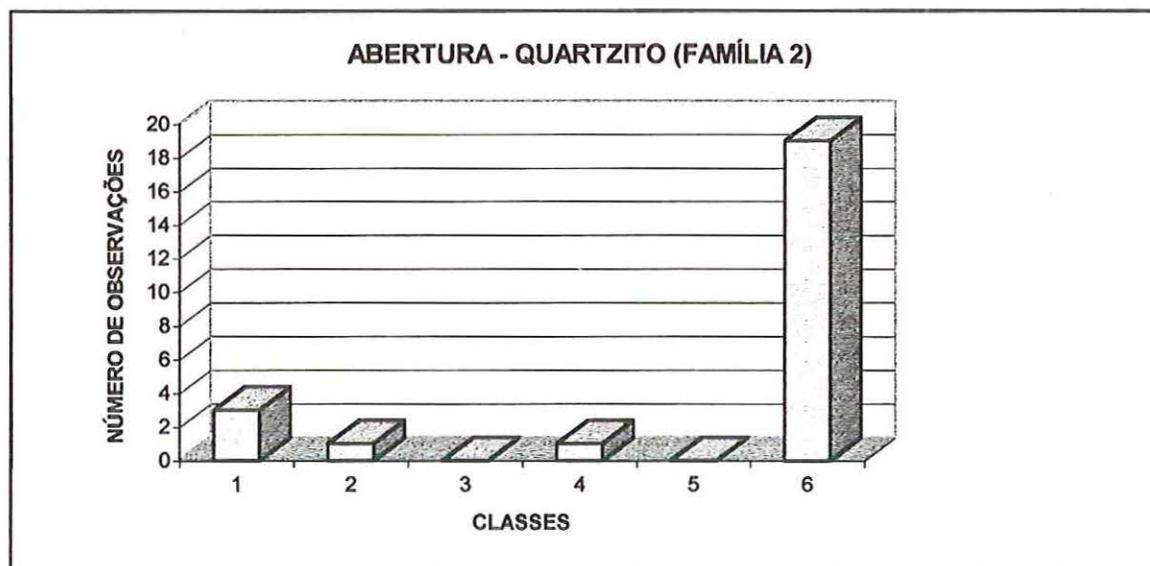


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	3
2	3
3	15
4	3
5	0
6	0

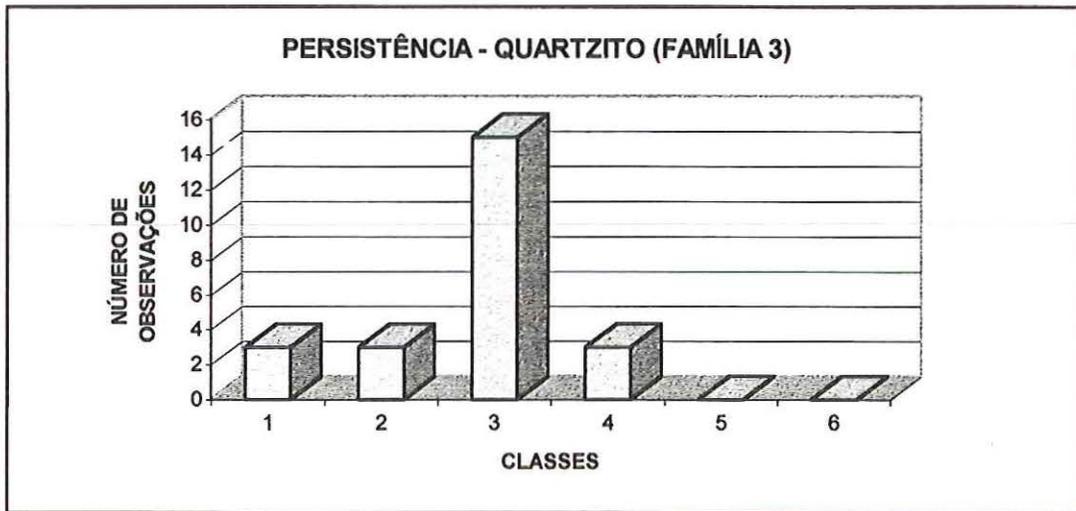


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	2
2	3
3	6
4	0
5	5

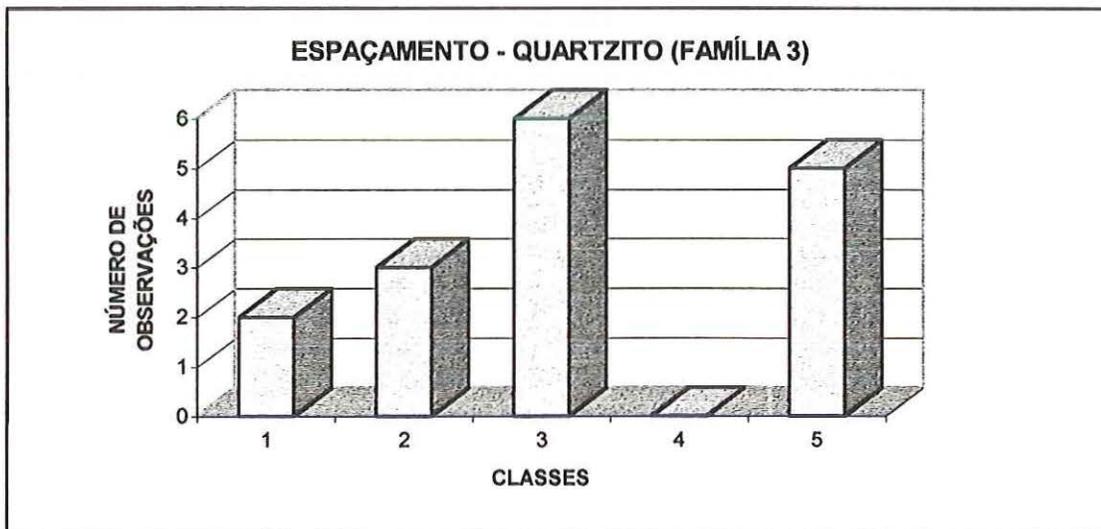


GRÁFICO DE ABERTURA(QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	1
4	4
5	3
6	7

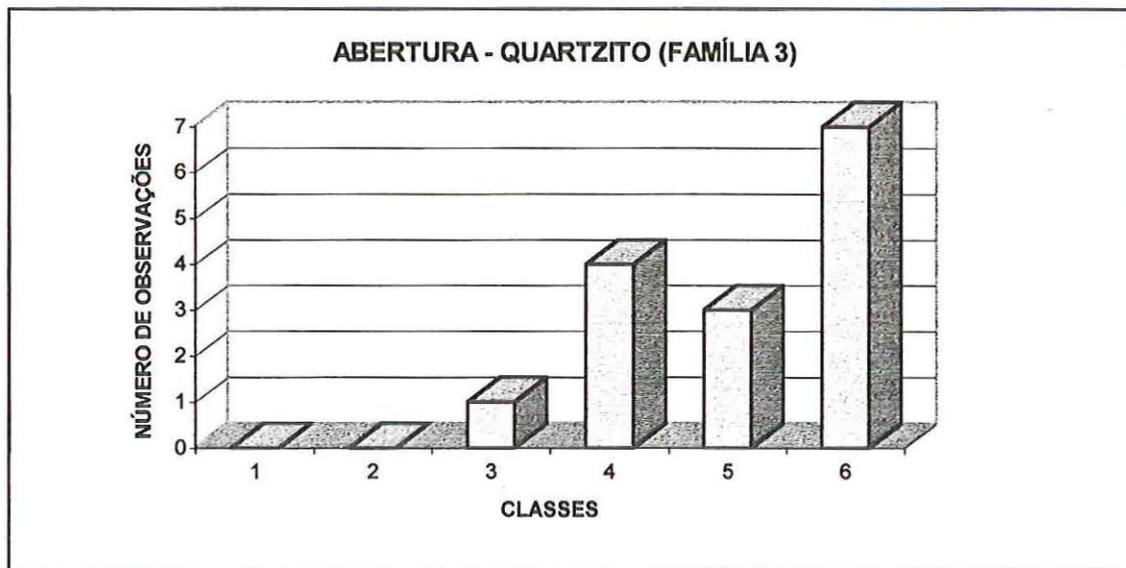


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	7
4	2
5	0
6	0

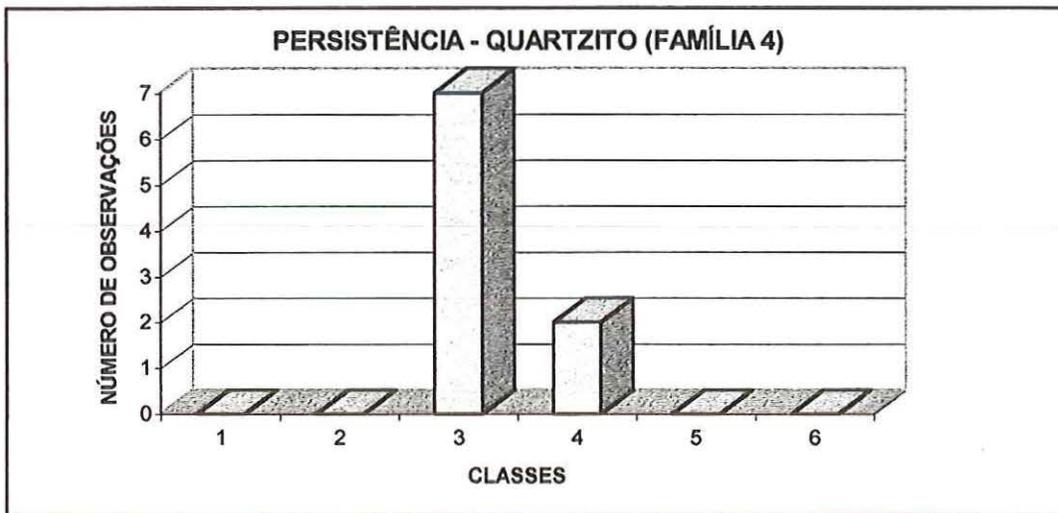


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	1
3	2
4	2
5	1

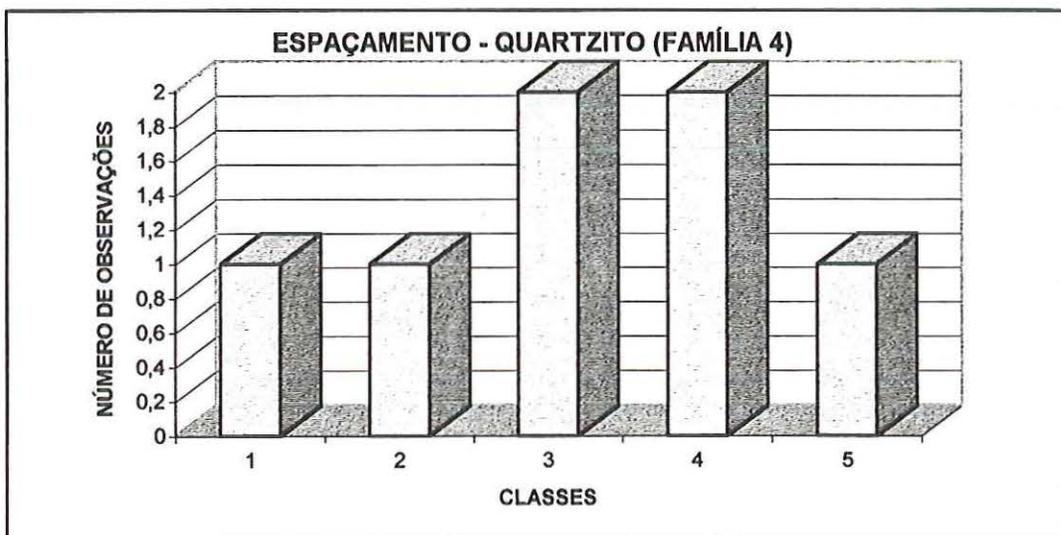
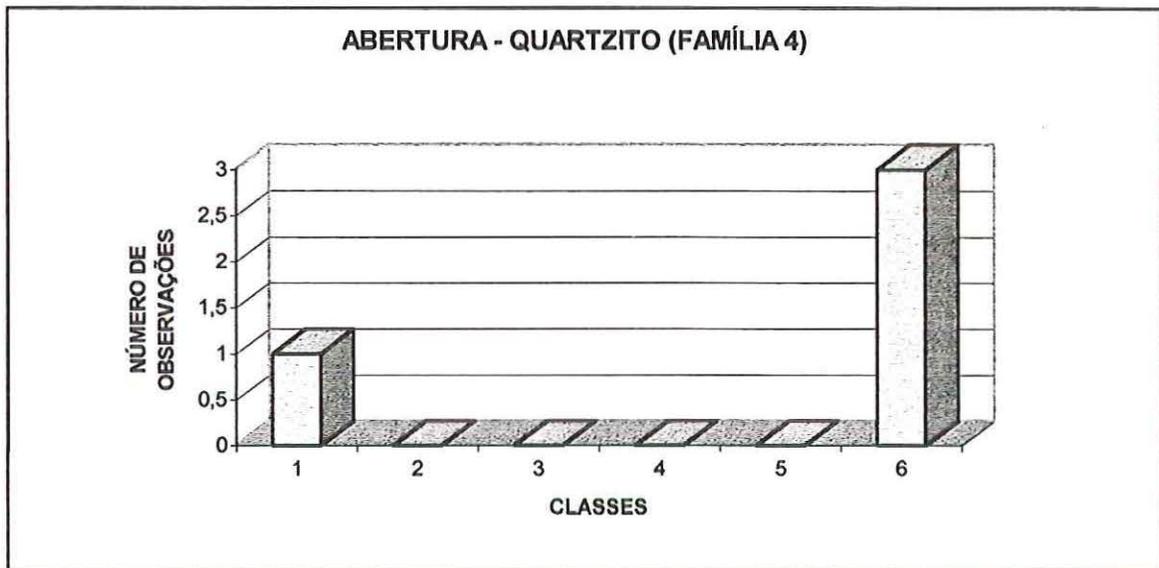


GRÁFICO DE ABERTURA(QUARTZITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	3



FILITO

GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	1
4	0
5	0
6	5

PERSISTÊNCIA - FILITO (FAMÍLIA 1)

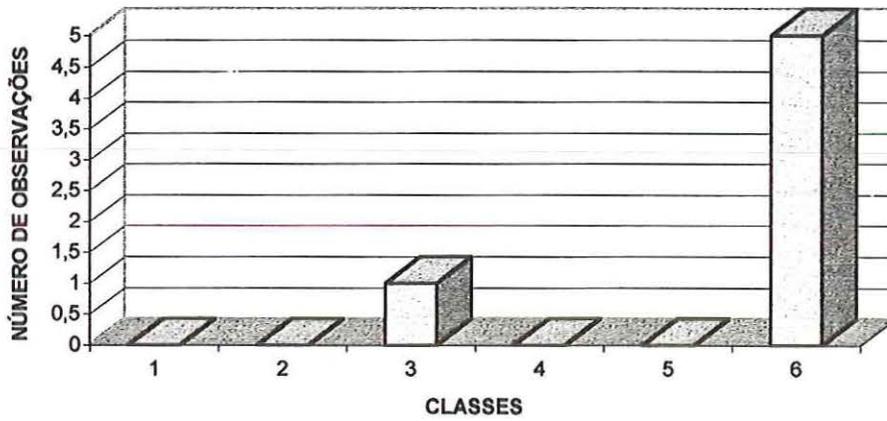


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	5
2	1
3	0
4	0
5	0

ESPAÇAMENTO - FILITO(FAMÍLIA 1)

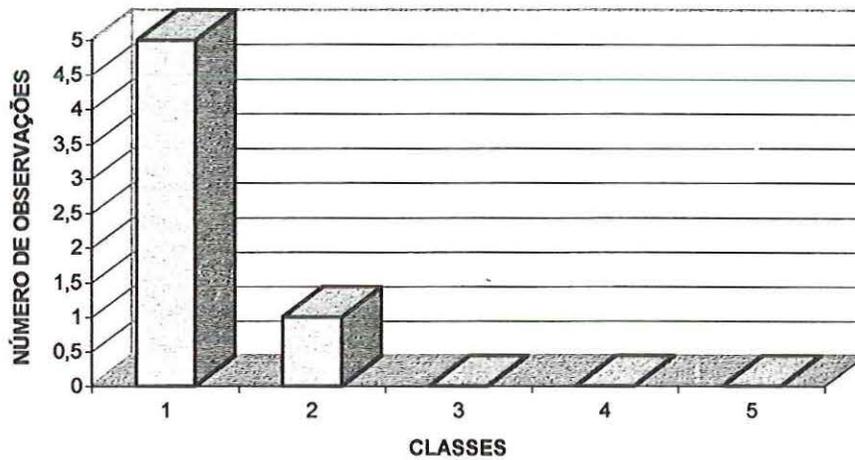


GRÁFICO DE ABERTURA (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	5
3	0
4	0
5	0
6	0

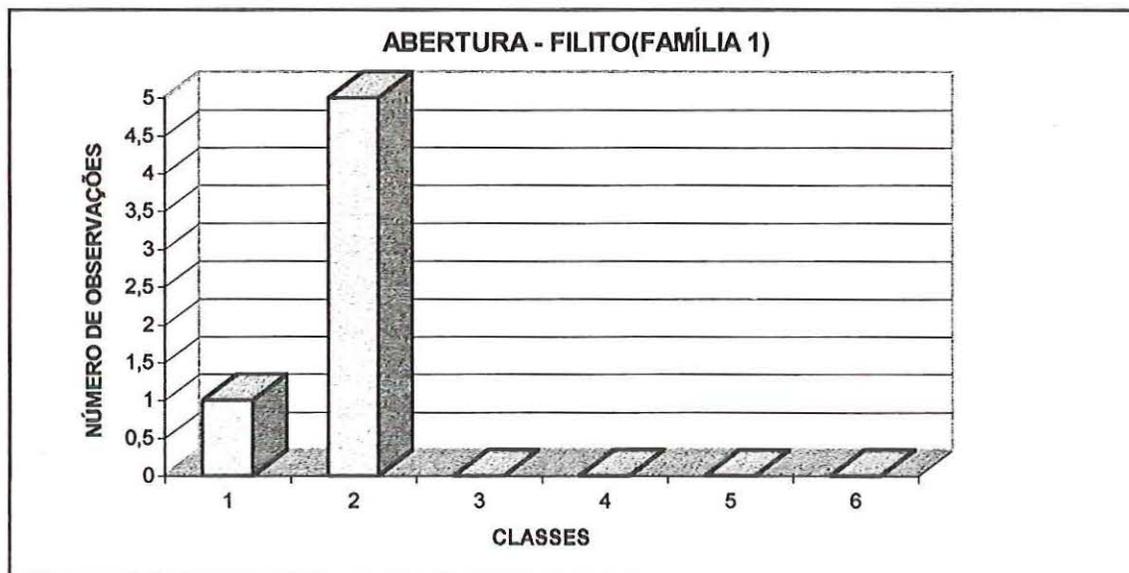


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	1
4	0
5	0
6	0

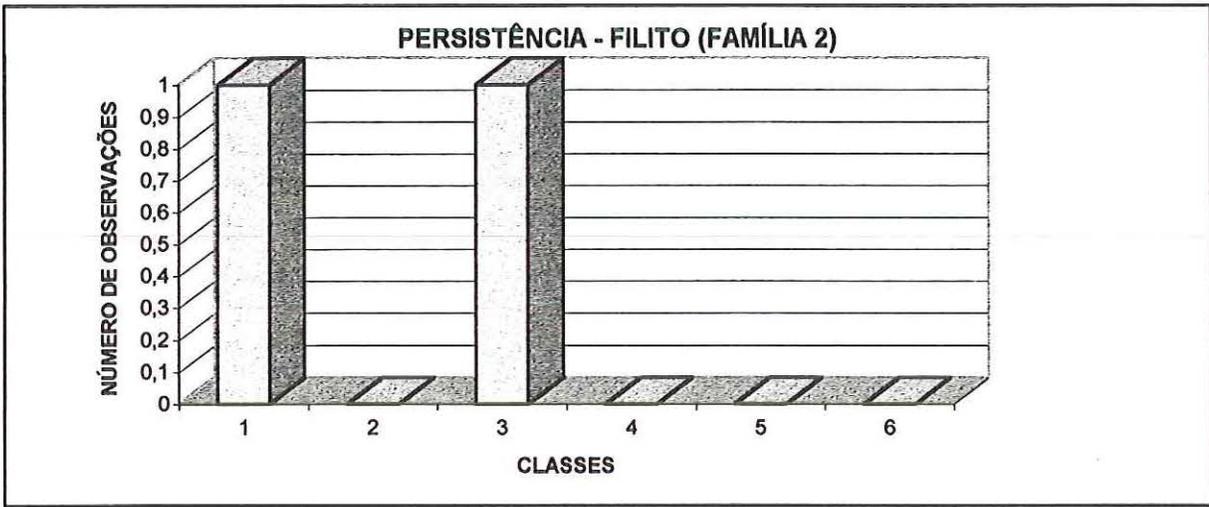


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	1
3	0
4	0
5	0

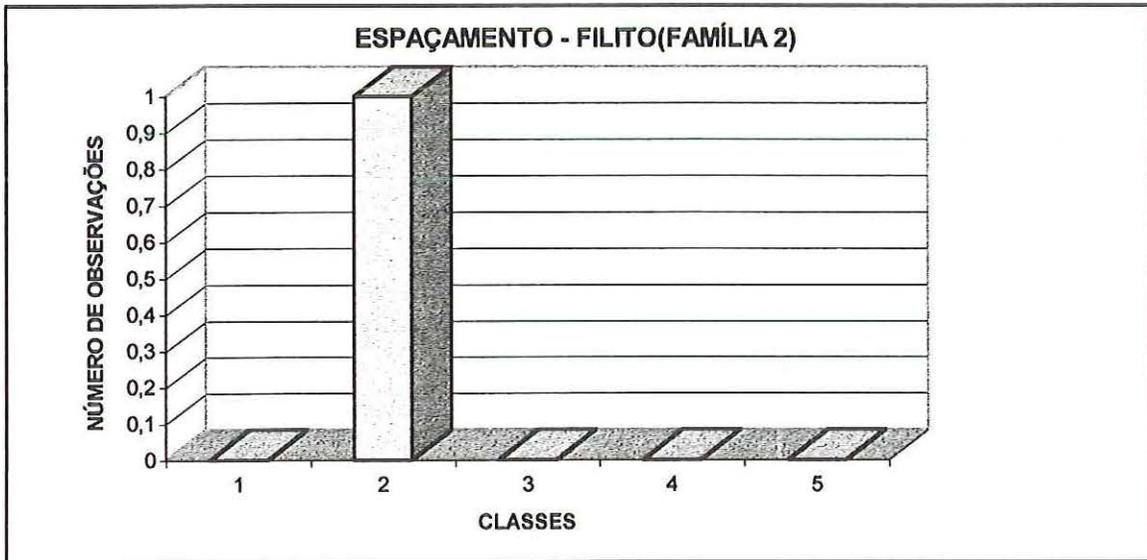


GRÁFICO DE ABERTURA (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	0
4	0
5	1
6	0

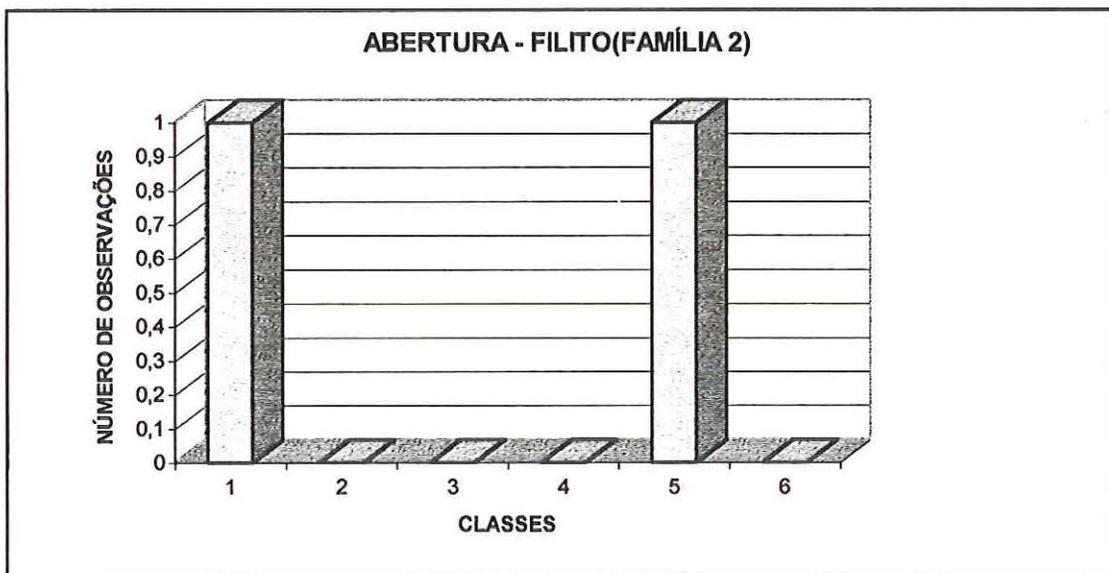


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	1
3	0
4	0
5	0
6	0

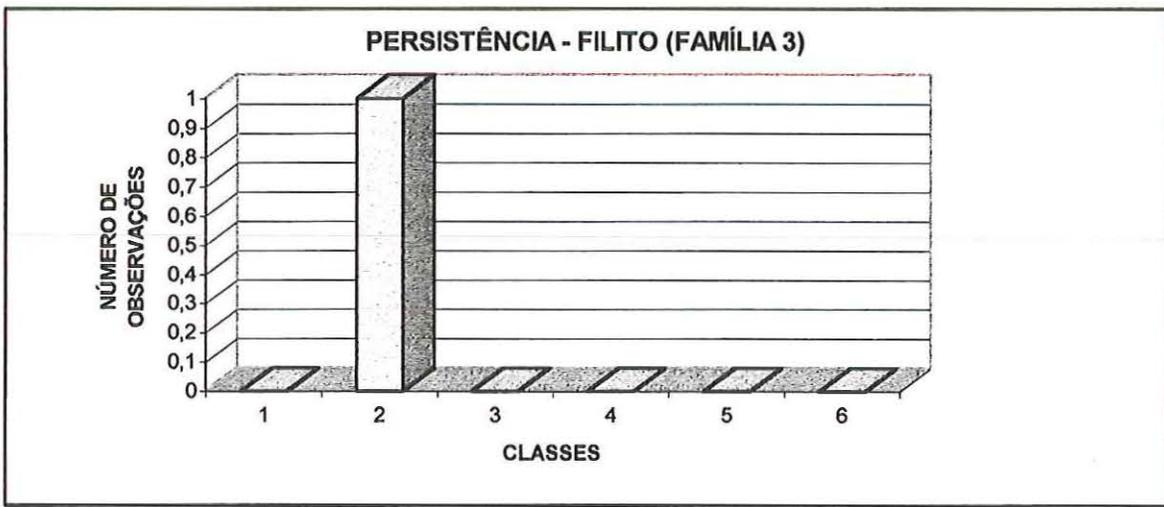


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	1
3	0
4	0
5	0

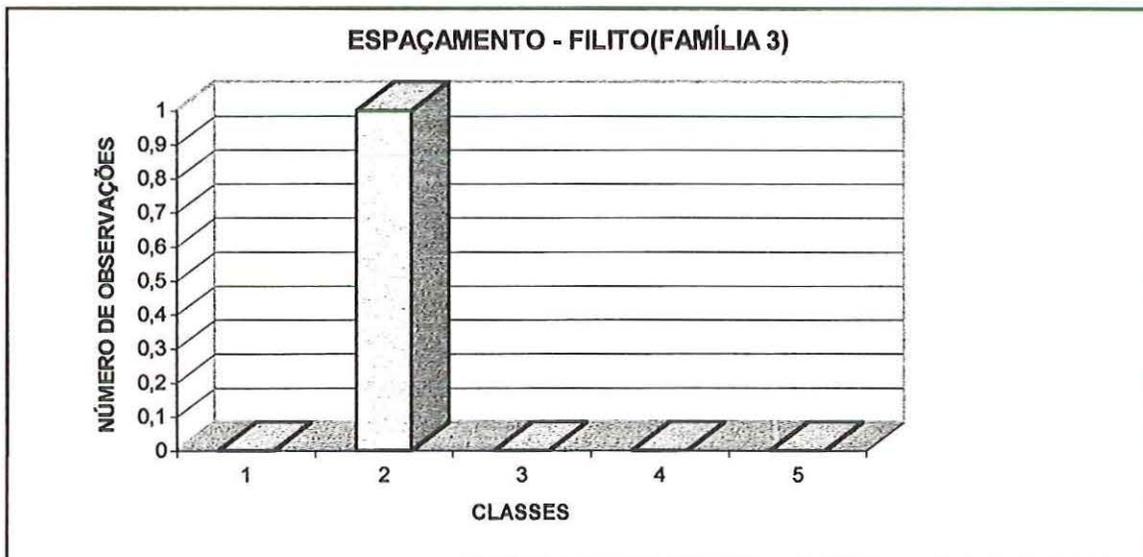


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

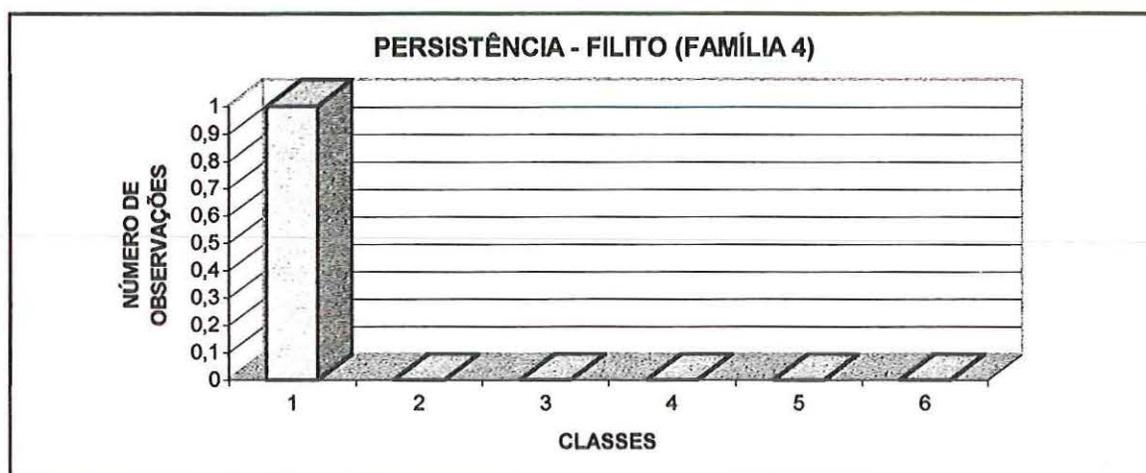


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0

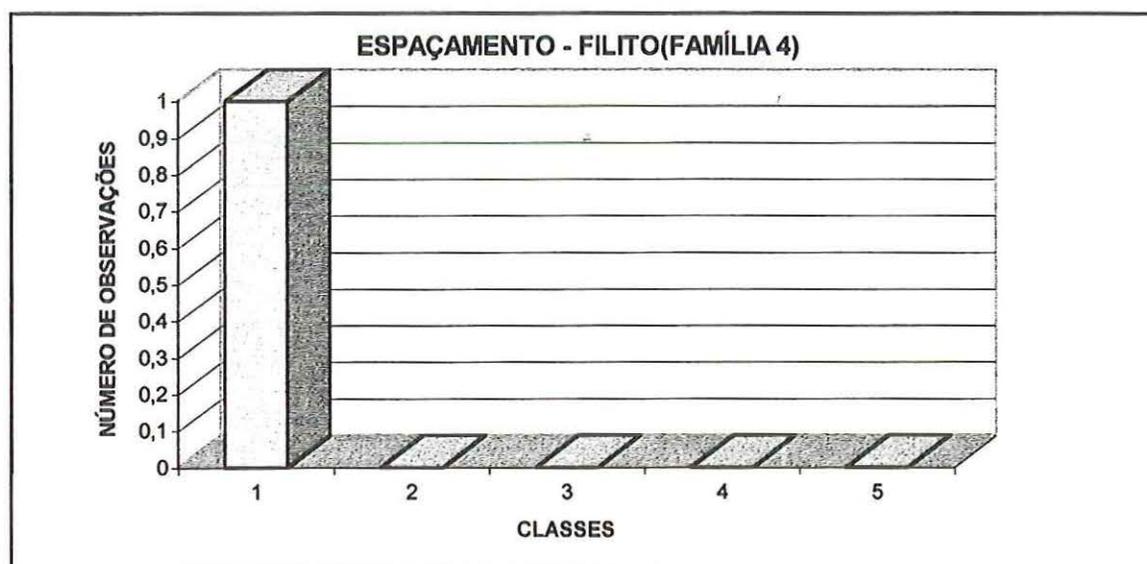
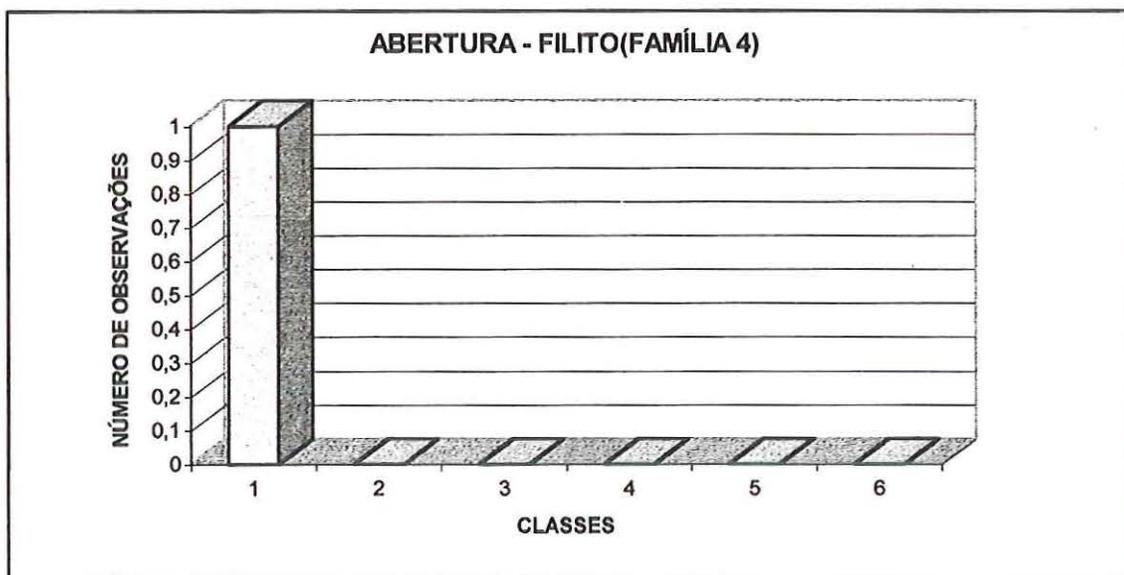


GRÁFICO DE ABERTURA (FILITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0



ITABIRITO

GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	2
2	1
3	4
4	0
5	1
6	20

PERSISTÊNCIA - ITABIRITO(FAMÍLIA 1)

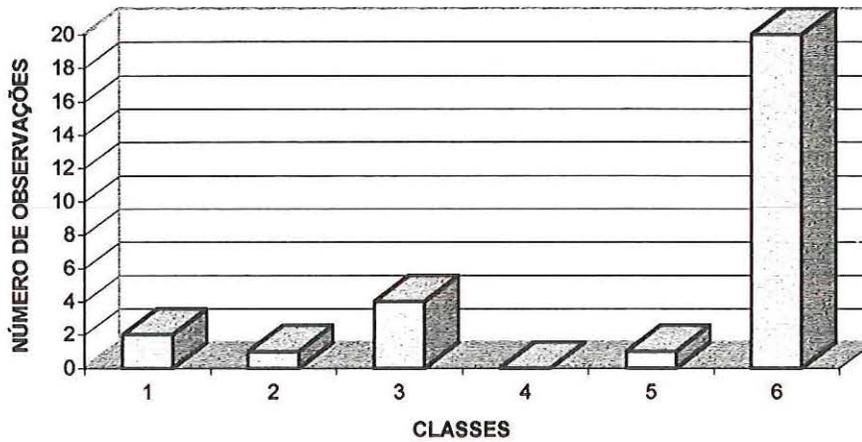


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	26
2	0
3	0
4	0
5	0

ESPAÇAMENTO - ITABIRITO (FAMÍLIA 1)

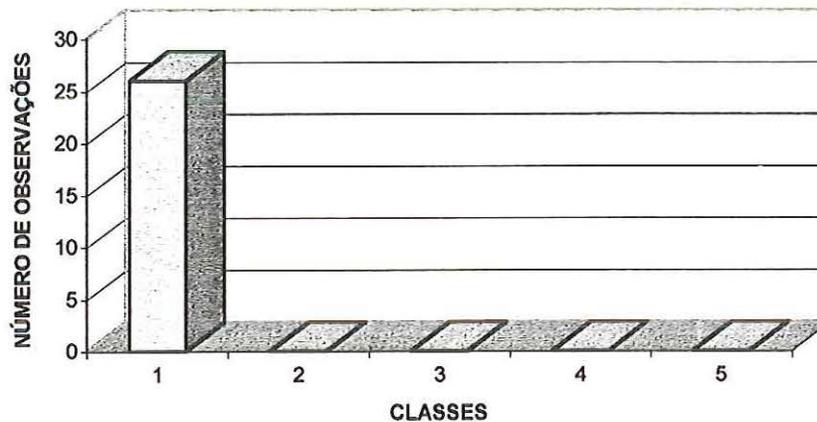


GRÁFICO DE ABERTURA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	7
2	16
3	1
4	2
5	0
6	1

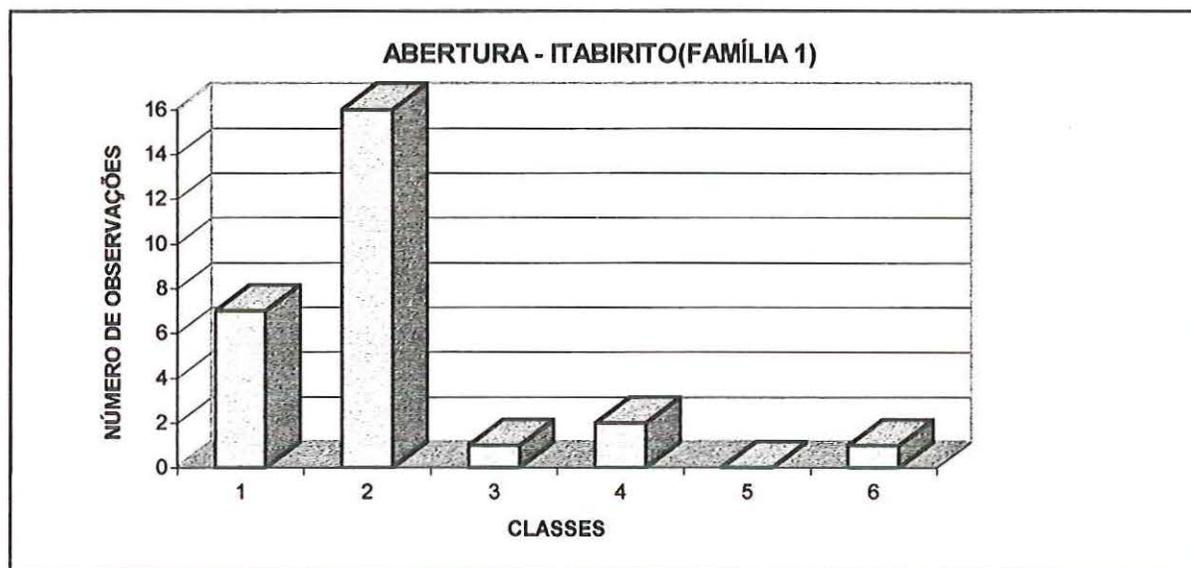


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	6
2	5
3	6
4	0
5	0
6	0

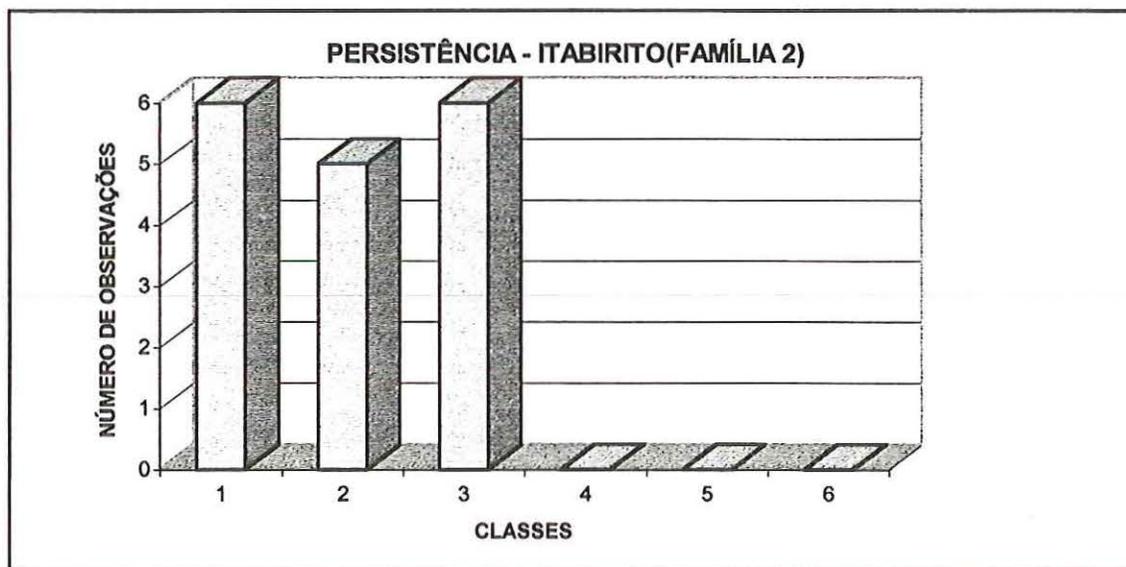


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	6
3	3
4	3
5	0

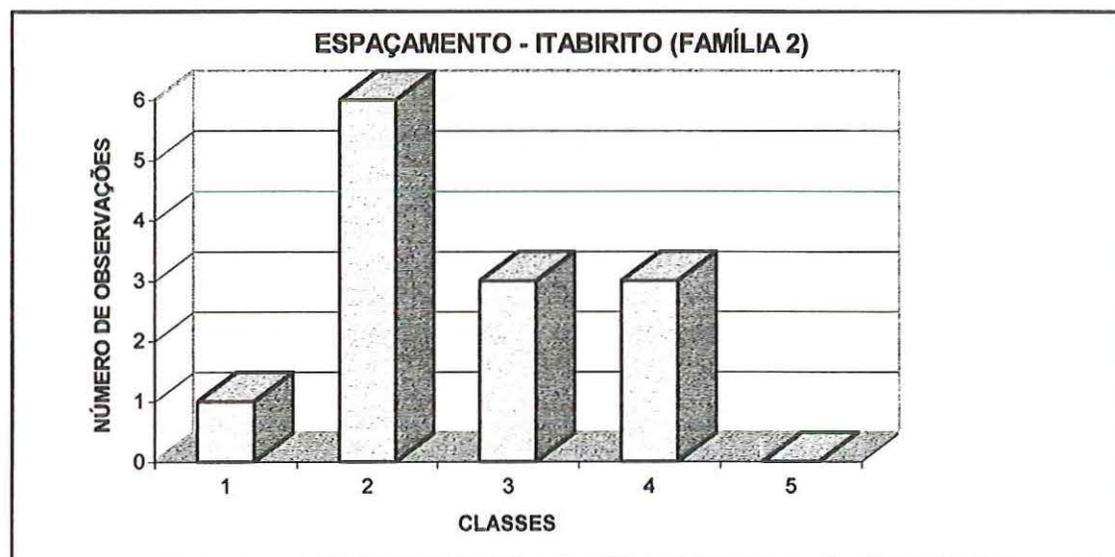


GRÁFICO DE ABERTURA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	2
2	1
3	0
4	0
5	3
6	1

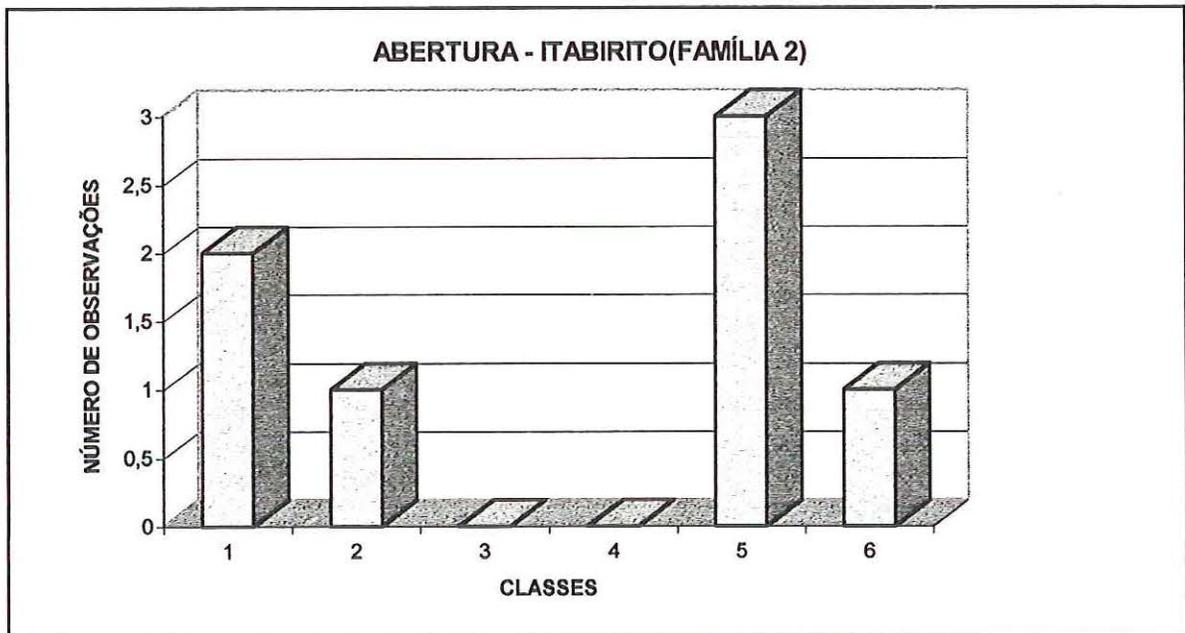


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	8
2	8
3	0
4	0
5	0
6	0

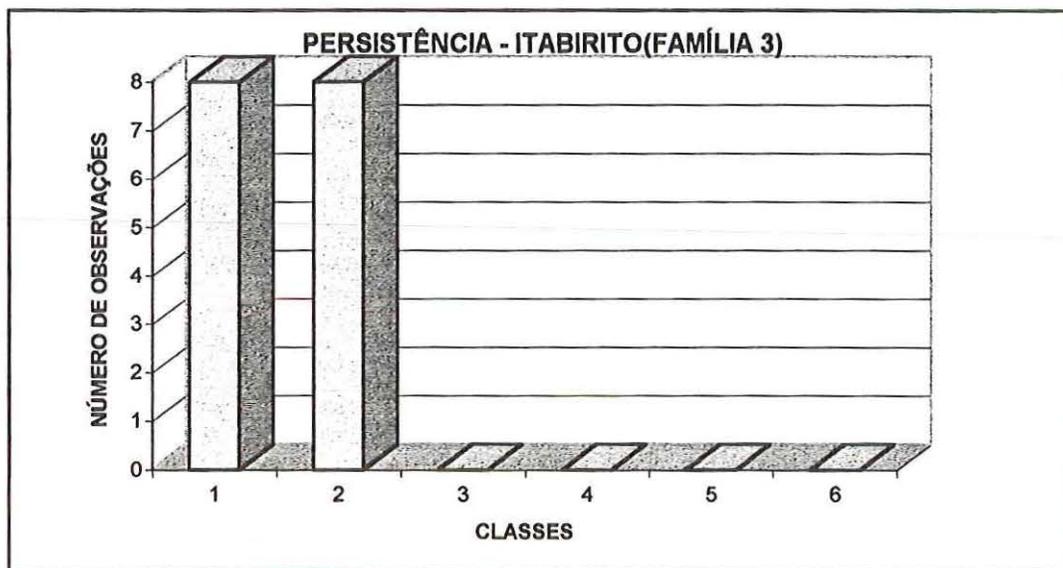


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	3
2	3
3	3
4	5
5	1

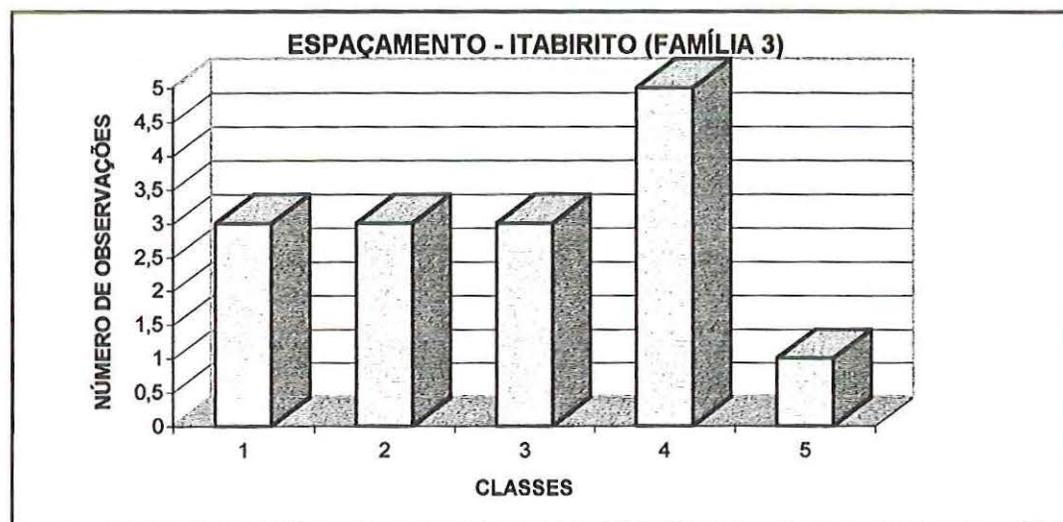


GRÁFICO DE ABERTURA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	2
2	1
3	0
4	1
5	1
6	0

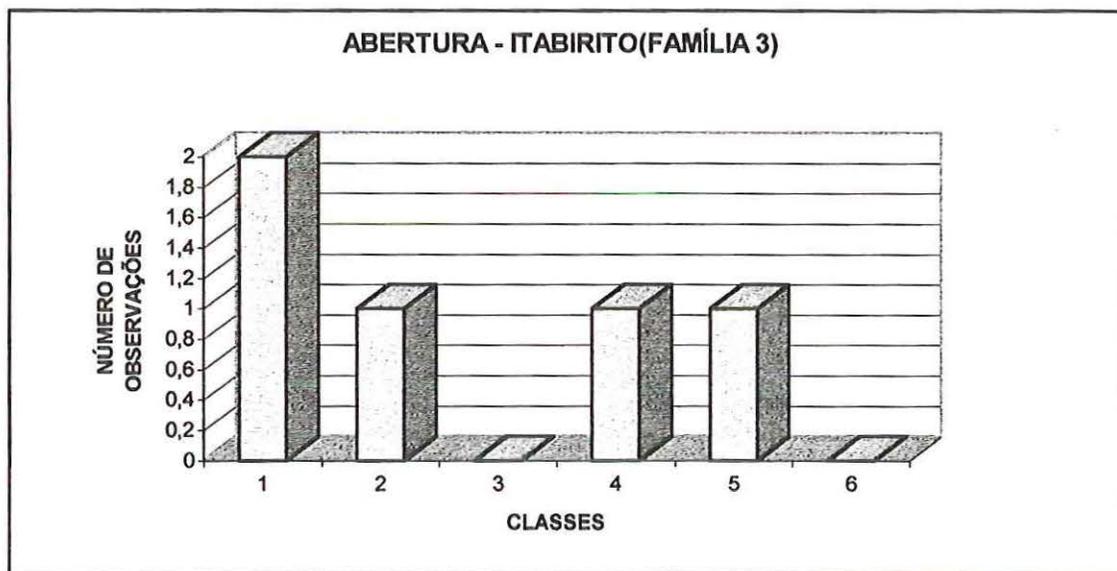


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	3
2	3
3	0
4	0
5	0
6	0

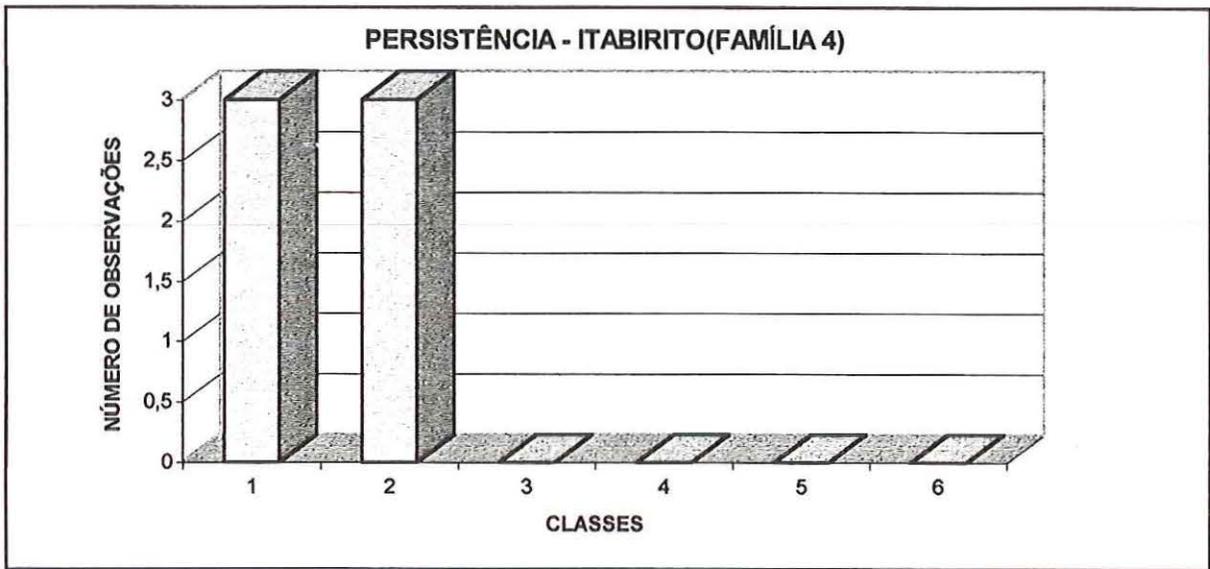


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	2
4	0
5	1

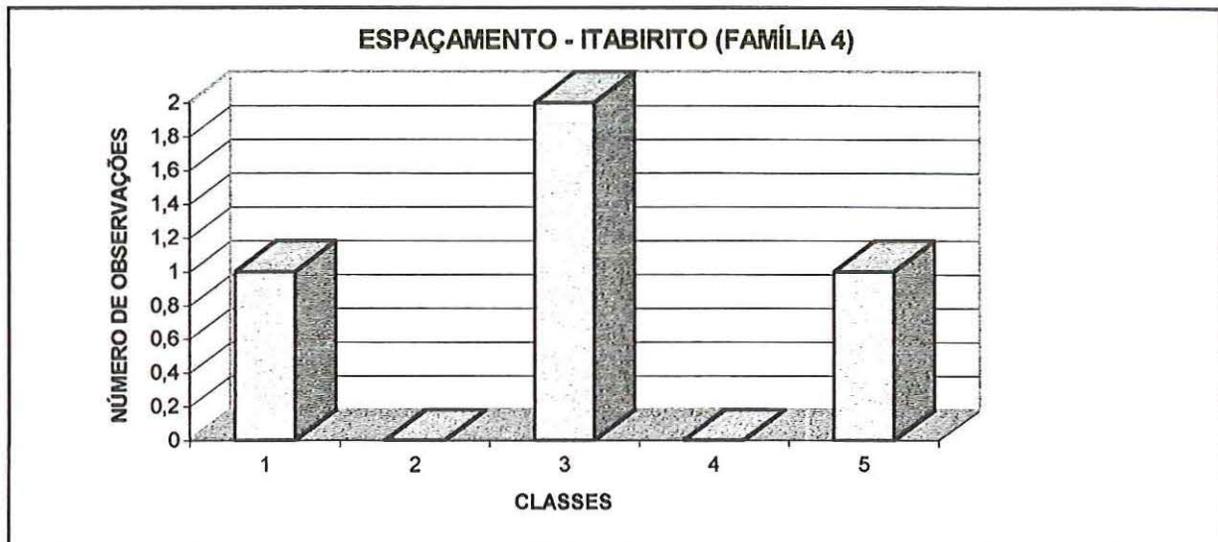


GRÁFICO DE ABERTURA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	0
4	1
5	0
6	0

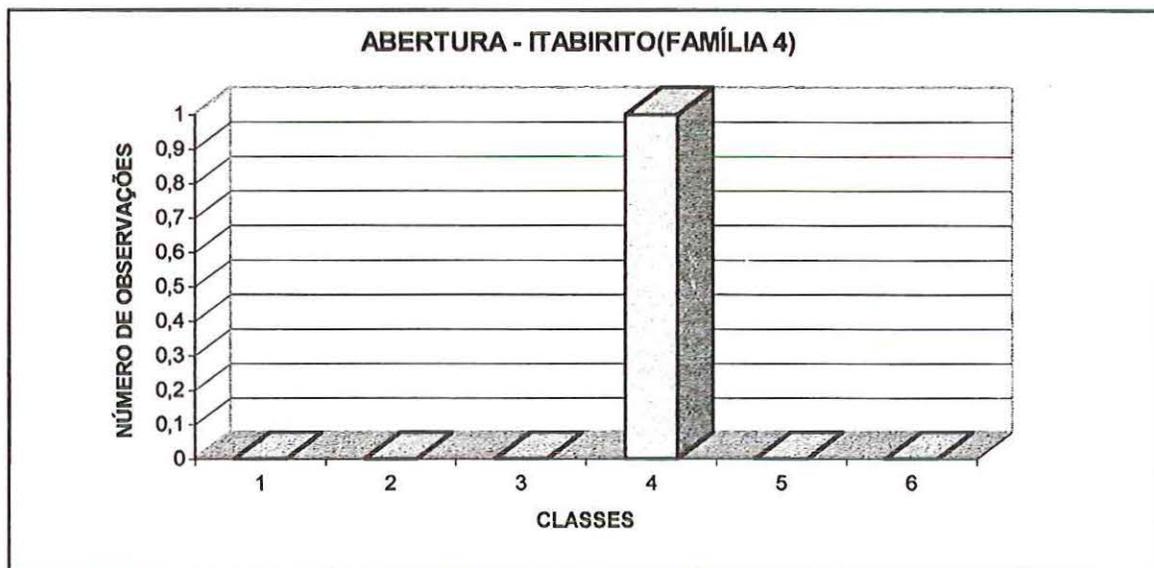


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

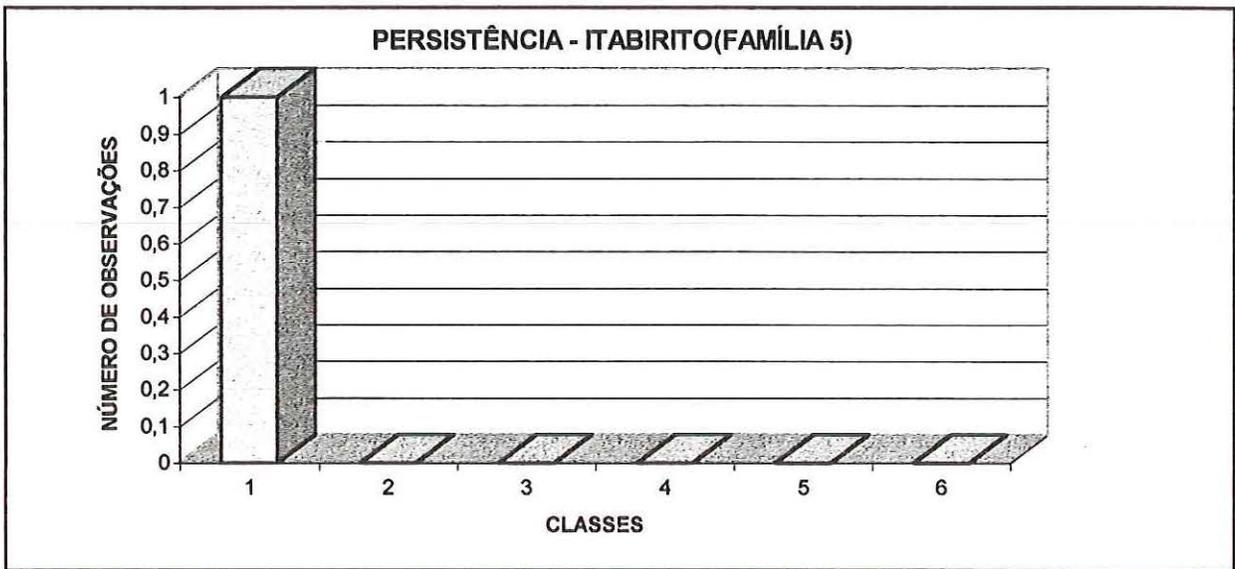


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	1
4	0
5	0

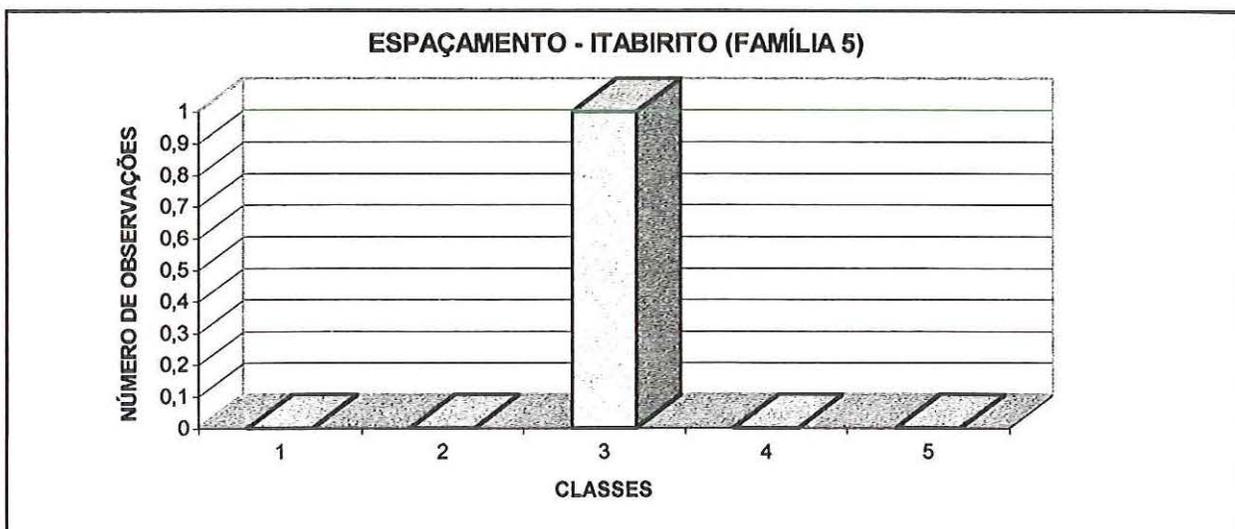


GRÁFICO DE ABERTURA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	1
3	0
4	0
5	0
6	0

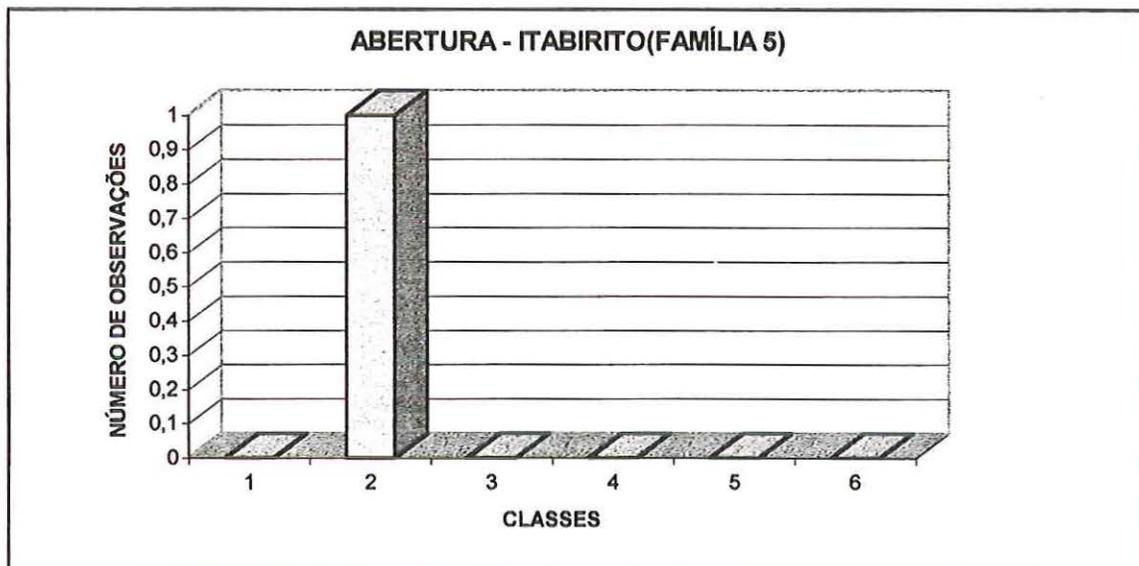


GRÁFICO DE PERSISTÊNCIA (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

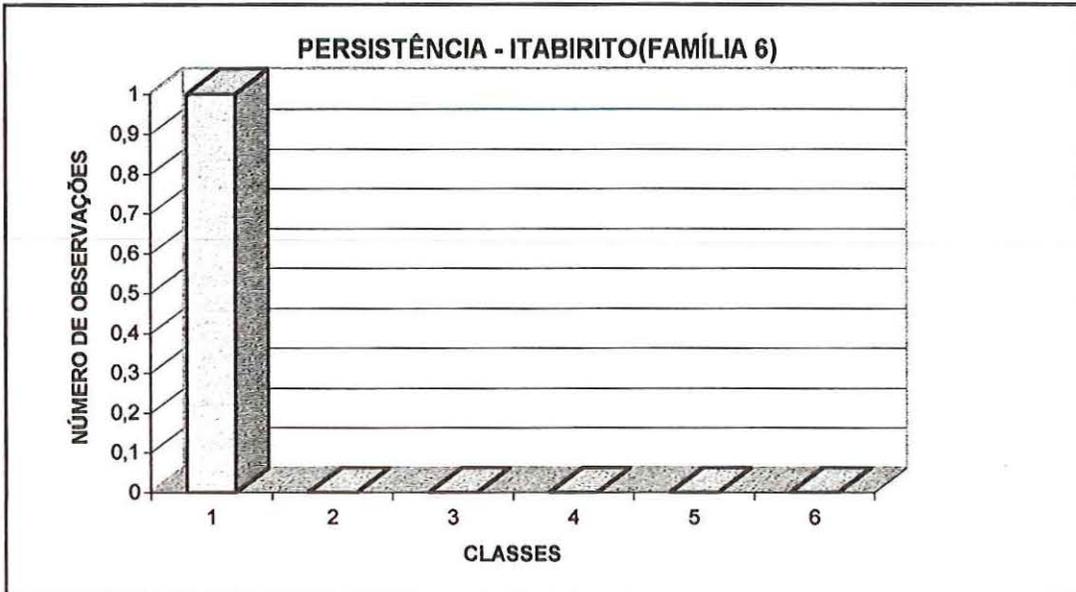
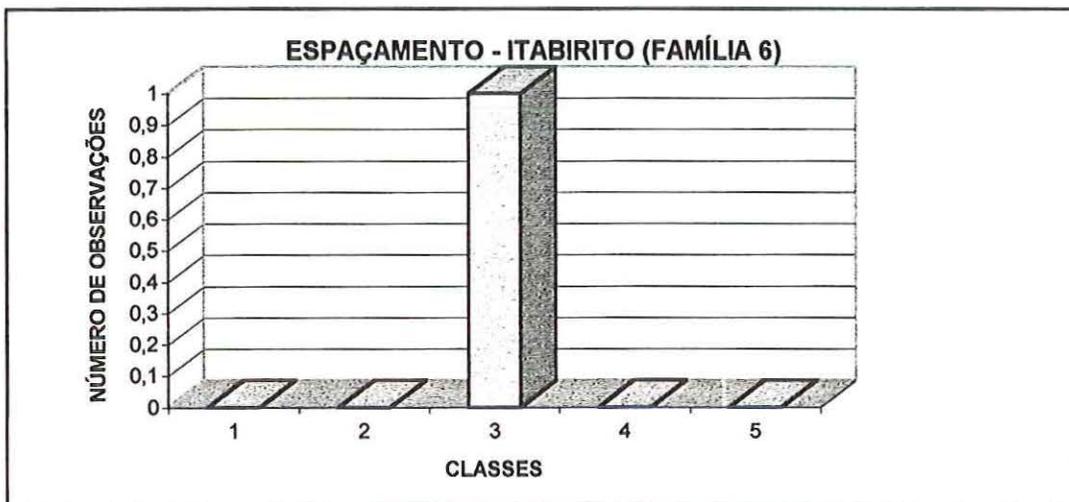


GRÁFICO DE ESPAÇAMENTO (ITABIRITO)	
CLASSES	N. DE OBSERVAÇÕES
1	0
2	0
3	1
4	0
5	0



**APÊNDICE III – PLANILHA DE CÁLCULO DOS
PARÂMETROS R.Q.D. calculado, R.Q.D.corrigido e
ÍNDICE DE CORREÇÃO**

PONTOS	Jvm	RQDcalculado	RQDcorrigido	INDICECORR.
1	1,000	100,000	16,000	6,25
2	1,111	100,000	16,000	6,25
3	0,833	100,000	16,000	6,25
4	0,500	100,000	15,385	6,50
5	0,667	100,000	20,000	5,00
6	0,833	100,000	16,000	6,25
7	0,200	100,000	15,385	6,50
8	1,000	100,000	16,000	6,25
9	0,625	100,000	16,000	6,25
10	0,769	100,000	17,391	5,75
11	4,000	100,000	17,391	5,75
12	3,714	100,000	19,048	5,25
13	1,800	100,000	19,048	5,25
14	1,000	100,000	15,385	6,50
15	1,250	100,000	16,000	6,25
16	0,625	100,000	16,000	6,25
17	0,909	100,000	17,391	5,75
18	0,370	100,000	16,667	6,00
19	0,625	100,000	17,391	5,75
20	0,769	100,000	17,391	5,75
21	0,769	100,000	17,391	5,75
22	2,069	100,000	16,000	6,25
23	2,000	100,000	17,391	5,75
24	1,087	100,000	16,000	6,25
25	0,488	100,000	17,391	5,75
26	0,800	100,000	16,000	6,25
27	1,250	100,000	16,000	6,25
28	1,667	100,000	16,000	6,25
29	1,081	100,000	24,390	4,10
30	1,702	100,000	16,000	6,25
31	0,200	100,000	19,048	5,25
32	0,980	100,000	19,048	5,25
33	0,943	100,000	19,048	5,25
34	0,667	100,000	16,000	6,25
35	0,370	100,000	16,000	6,25
36	1,000	100,000	15,385	6,50
37	6,087	94,913	19,982	4,75
38	1,587	100,000	20,000	5,00
39	0,500	100,000	24,390	4,10
40	1,765	100,000	24,390	4,10
41	1,163	100,000	57,143	1,75
42	0,370	100,000	15,385	6,50
43	0,333	100,000	16,000	6,25
44	1,176	100,000	16,000	6,25
45	0,694	100,000	16,000	6,25
46	0,100	100,000	16,000	6,25
47	2,778	100,000	16,000	6,25
48	1,064	100,000	16,000	6,25
49	0,746	100,000	17,391	5,75
50	1,333	100,000	17,391	5,75

51	1,200	100,000	16,000	6,25
52	0,600	100,000	16,000	6,25
53	0,870	100,000	17,391	5,75
54	2,000	100,000	17,391	5,75
55	1,818	100,000	17,391	5,75
56	0,952	100,000	19,048	5,25
57	1,190	100,000	16,667	6,00
58	0,709	100,000	17,391	5,75
59	0,707	100,000	17,391	5,75
60	0,690	100,000	17,391	5,75
61	1,579	100,000	31,250	3,20
62	2,067	100,000	50,000	2,00
63	1,190	100,000	16,000	6,25
64	0,833	100,000	15,385	6,50
65	1,000	100,000	57,143	1,75
66	1,042	100,000	22,989	4,35
67	3,333	100,000	27,778	3,60
68	0,625	100,000	27,778	3,60
69	1,444	100,000	28,169	3,55
70	0,692	100,000	35,714	2,80
71	0,526	100,000	35,714	2,80
72	0,769	100,000	35,714	2,80
73	2,000	100,000	28,169	3,55
74	2,308	100,000	20,000	5,00
75	0,800	100,000	36,364	2,75
76	2,609	100,000	35,714	2,80
77	0,893	100,000	35,714	2,80
78	0,286	100,000	35,714	2,80
79	0,952	100,000	35,714	2,80
80	1,714	100,000	50,000	2,00
81	1,075	100,000	28,169	3,55
82	2,016	100,000	35,714	2,80
83	4,589	99,855	35,663	2,80
84	4,444	100,000	35,714	2,80
85	1,250	100,000	19,048	5,25
86	0,700	100,000	50,000	2,00
87	3,367	100,000	80,000	1,25
88	2,500	100,000	80,000	1,25
89	1,848	100,000	50,000	2,00
90	0,909	100,000	50,000	2,00
91	3,438	100,000	50,000	2,00
92	1,120	100,000	50,000	2,00
93	1,818	100,000	50,000	2,00
94	0,465	100,000	50,000	2,00
95	0,800	100,000	57,143	1,75
96	1,667	100,000	57,143	1,75
97	0,800	100,000	44,444	2,25
98	0,746	100,000	50,000	2,00
99	3,704	100,000	23,810	4,20
100	13,714	69,743	34,871	2,00
101	0,556	100,000	80,000	1,25

102	1,770	100,000	50,000	2,00
103	0,930	100,000	44,444	2,25
104	8,000	88,600	44,300	2,00
105	1,148	100,000	80,000	1,25
106	3,400	100,000	44,444	2,25
107	1,892	100,000	57,143	1,75
108	17,143	58,429	33,388	1,75
109	4,545	100,000	44,444	2,25
110	11,667	76,500	13,304	5,75
111	0,909	100,000	17,391	5,75
112	0,625	100,000	19,048	5,25
113	5,212	97,801	55,886	1,75
114	1,900	100,000	57,143	1,75
115	8,696	86,304	18,169	4,75
116	5,000	98,500	43,778	2,25
117	0,465	100,000	21,053	4,75
118	16,400	60,880	34,789	1,75
119	5,612	96,480	32,160	3,00
120	4,118	100,000	33,333	3,00
121	23,000	39,100	8,689	4,50
122	0,667	100,000	35,714	2,80
123	0,667	100,000	35,714	2,80
124	5,738	96,066	34,309	2,80
125	3,286	100,000	27,027	3,70

**APÊNDICE IV – PONTOS COM OS RESULTADOS DAS
CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS (PRIMEIRAS
ANÁLISES)**

XISTO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 10	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RESIST. DA ROCHA	1					
R.Q.D	20	0	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8					
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	12					
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15					
RMRb	56	0	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	5					
RMRc	51	0	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
R.Q.D	100	0	0	0	0	0
Jn	2					
Jr	2					
Ja	3					
Jw	1					
SRF	5					
Q	6,66666667	0	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RMRb	56	0	0	0	0	0
α_j	233					
α_s	112					
F1	0,15	0	0	0	0	0
F2	0,15					
β_j	16					
β_s	75					
F3	-60	0	0	0	0	0
F4	15					
SMR	69,65	0	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 22	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RESIST. DA ROCHA	1	1				
R.Q.D	20	20	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	10				
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	12	16				
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15				
RMRb	56	62	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25				
RMRc	31	37	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	0	0	0	0
Jn	4	4				
Jr	3	3				
Ja	3	0,75				
Jw	1	1				
SRF	5	5				
Q	5	20	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	56	62	0	0	0	0
α_j	149	177				
α_s	54	54				
F1	0,15	0,15	0	0	0	0
F2	0,15	0,15				
β_j	11	12				
β_s	77	77				
F3	-60	-60	0	0	0	0
F4	15	15				
SMR	69,65	75,65	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 31	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RESIST. DA ROCHA	2	2	2	2		
R.Q.D	20	20	20	20	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5	15	10		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	15	15	13		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15		
RMRb	59	57	67	60	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25	5		
RMRc	34	32	42	55	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	100	100	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	3	3	3	3		
Ja	3	0,75	1	2		
Jw	1	1	1	1		
SRF	5	5	5	5		
Q	1,33333333	5,33333333	4	2	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	59	57	67	60	0	0
α_j	169	359	7	50		
α_s	170	170	170	170		
F1	1	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,85	1	1	1		
β_j	45	87	79	85		
β_s	43	43	43	43		
F3	-6	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	68,9	72	82	75	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 59	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	1	1				
R.Q.D	20	20	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5				
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	13	14				
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15				
RMRb	57	55	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25				
RMRc	32	30	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
R.Q.D	100	100	0	0	0	0
Jn	4	4				
Jr	2	3				
Ja	3	0,75				
Jw	1	1				
SRF	5	5				
Q	3,33333333	20	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RMRb	57	55	0	0	0	0
α_j	189	180				
α_s	185	185				
F1	1	0,85	0	0	0	0
F2	0,85	1				
β_j	36	83				
β_s	75	75				
F3	-60	-6	0	0	0	0
F4	15	15				
SMR	21	64,9	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

QUARTZITO SERICÍTICO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 38	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	2	2				
R.Q.D	20	20	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5				
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	16	16				
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15				
RMRb	61	58	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25				
RMRc	36	33	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
R.Q.D	100	100	0	0	0	0
Jn	4	4				
Jr	1,5	3				
Ja	4	0,75				
Jw	1	1				
SRF	5	5				
Q	1,875	20	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RMRb	61	58	0	0	0	0
α_j	203	342				
α_s	187	187				
F1	0,7	0,15	0	0	0	0
F2	0,4	1				
β_j	22	72				
β_s	75	75				
F3	-60	-50	0	0	0	0
F4	15	15				
SMR	59,2	65,5	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 87	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RESIST. DA ROCHA	7	7	7	7		
R.Q.D	20	20	20	20	0	0
ESPAÇAMENTO	5	10	20	15		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	16	19	15	19		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15		
RMRb	63	71	77	76	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	0	60	60		
RMRc	38	71	17	16	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	100	100	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	1,5	3	1,5	3		
Ja	2	0,75	0,75	0,75		
Jw	1	1	1	1		
SRF	1	1	1	1		
Q	5	26,6666667	13,3333333	26,6666667	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	63	71	77	76	0	0
α_j	210	330	10	54		
α_s	212	212	212	212		
F1	1	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,7	1	1	1		
β_j	33	80	69	60		
β_s	30	30	30	30		
F3	-6	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	73,8	86	92	91	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 92	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RESIST. DA ROCHA	7	7	7	7		
R.Q.D	20	20	20	20	0	0
ESPAÇAMENTO	8	15	5	5		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	17	19	11		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15		
RMRb	64	74	66	58	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25	25		
RMRc	39	49	41	33	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	100	100	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	1	1	1,5	1,5		
Ja	2	0,75	0,75	0,75		
Jw	1	1	1	1		
SRF	1	1	1	1		
Q	3,33333333	8,88888889	13,33333333	13,33333333	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	64	74	66	58	0	0
α_j	206	326	111	15		
α_s	192	192	192	192		
F1	0,7	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,4	1	1	1		
β_j	24	83	86	56		
β_s	25	25	25	25		
F3	-50	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	65	89	81	73	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 105	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RESIST. DA ROCHA	7	7	7	7		
R.Q.D	20	20	20	20	0	0
ESPAÇAMENTO	8	20	5	8		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	21	17	15	19		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7	7	7	7		
RMRb	63	71	54	61	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	60	25	60		
RMRc	38	11	29	1	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	100	100	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	1,5	1,5	1,5	1		
Ja	0,75	3	0,75	0,75		
Jw	0,66	0,66	0,66	0,66		
SRF	1	1	1	1		
Q	8,8	2,2	8,8	5,86666667	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	63	71	54	61	0	0
α_j	206	18	180	224		
α_s	197	197	197	197		
F1	0,7	0,15	0,7	0,4	0	0
F2	0,4	1	1	1		
β_j	30	61	88	86		
β_s	26	26	26	26		
F3	-6	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	76,32	86	69	76	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

FILITO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 74	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
	RESIST. DA ROCHA	1	1	1	1	
R.Q.D	20	20	20	20	0	0
ESPAÇAMENTO	8	10	10	8		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	13	17	16	16		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7	7	7	7		
RMRb	49	55	54	52	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25	25		
RMRc	24	30	29	27	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	100	100	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	2	1	1	1		
Ja	2	2	0,75	2		
Jw	0,66	0,66	0,66	0,66		
SRF	5	5	5	5		
Q	0,88	0,44	1,17333333	0,44	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	49	55	54	52	0	0
α_j	206	32	81	125		
α_s	233	233	233	233		
F1	0,4	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,4	1	1	1		
β_j	30	79	81	84		
β_s	74	74	74	74		
F3	-60	-6	-6	-6	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	54,4	69,1	68,1	66,1	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 117	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RESIST. DA ROCHA	2	2				
R.Q.D	20	20	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5				
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	15				
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7	7				
RMRb	51	49	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	5	25				
RMRc	46	24	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	0	0	0	0
Jn	4	4				
Jr	3	1,5				
Ja	4	0,75				
Jw	0,66	0,66				
SRF	5	1				
Q	2,475	33	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	51	49	0	0	0	0
α_j	234	333				
α_s	218	218				
F1	0,7	0,15	0	0	0	0
F2	0,7	1				
β_j	19	89				
β_s	78	78				
F3	-60	0	0	0	0	0
F4	15	15				
SMR	36,6	64	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 121	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	2					
R.Q.D	20	0	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8					
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	17					
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7					
RMRb	54	0	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	5					
RMRC	49	0	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
R.Q.D	100	0	0	0	0	0
Jn	2					
Jr	2					
Ja	4					
Jw	0,66					
SRF	5					
Q	3,3	0	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
RMRb	54	0	0	0	0	0
α_j	200					
α_s	275					
F1	0,15	0	0	0	0	0
F2	0,4					
β_j	38					
β_s	84					
F3	-60	0	0	0	0	0
F4	15					
SMR	65,4	0	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

ITABIRITO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 66	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
	RESIST. DA ROCHA	2	2	2		
R.Q.D	20	20	20	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5	10			
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	9	18	18			
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15			
RMRb	54	60	65	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	50	25	25			
RMRc	4	35	40	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
R.Q.D	100	100	100	0	0	0
Jn	9	9	9			
Jr	1	2	2			
Ja	3	0,75	0,75			
Jw	1	1	1			
SRF	5	5	5			
Q	0,74074074	5,92592593	5,92592593	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RMRb	54	60	65	0	0	0
α_j	329	97	315			
α_s	240	240	240			
F1	0,15	0,15	0,15	0	0	0
F2	0,4	1	1			
β_j	25	79	85			
β_s	79	79	79			
F3	-60	-25	-6	0	0	0
F4	15	15	15			
SMR	65,4	71,25	79,1	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 69	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RESIST. DA ROCHA	2	2	2	2	2	2
R.Q.D	20	20	20	20	20	20
ESPAÇAMENTO	8	15	10	5	15	15
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	11	18	22	20	20	20
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15	15	15
RMRb	56	70	69	62	72	72
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25	60	60	60
RMRc	31	45	44	2	12	12

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	100	100	100	100
Jn	15	15	15	15	15	15
Jr	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Ja	2	3	0,75	0,75	0,75	0,75
Jw	1	1	1	1	1	1
SRF	5	5	5	5	5	5
Q	1	0,66666667	2,66666667	2,66666667	2,66666667	2,66666667

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	56	70	69	62	72	72
α_j	236	12	243	90	348	143
α_s	167	167	167	167	167	167
F1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,4
F2	0,4	1	1	1	1	1
β_j	30	81	73	69	87	83
β_s	89	89	89	89	89	89
F3	-60	-50	-60	-60	-50	-50
F4	15	15	15	15	15	15
SMR	67,4	77,5	75	68	79,5	67

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 70	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
	RESIST. DA ROCHA	2	2	2	2	
R.Q.D	20	20	20	20	0	0
ESPAÇAMENTO	8	20	15	15		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	18	18	18		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15		
RMRb	59	75	70	70	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	50	0	60	60		
RMRc	9	75	10	10	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	100	100	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	2	1	1	1		
Ja	2	0,75	0,75	0,75		
Jw	1	1	1	1		
SRF	5	5	5	5		
Q	1,33333333	1,77777778	1,77777778	1,77777778	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	59	75	70	70	0	0
α_j	243	54	330	191		
α_s	160	160	160	160		
F1	0,15	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,4	1	1	1		
β_j	21	84	85	87		
β_s	75	75	75	75		
F3	-60	-6	-6	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	70,4	89,1	84,1	85	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 84	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RESIST. DA ROCHA	2	2	2	2		
R.Q.D	20	20	20	20	0	0
ESPAÇAMENTO	5	15	15	10		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	15	18	16		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7	7	7	7		
RMRb	48	59	62	55	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	0	60	25		
RMRc	23	59	2	30	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	100	100	100	100	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	2	1,5	1,5	2		
Ja	2	0,75	0,75	0,75		
Jw	0,66	0,66	0,66	0,66		
SRF	5	5	5	5		
Q	0,88	1,76	1,76	2,34666667	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	48	59	62	55	0	0
α_j	198	299	82	110		
α_s	187	187	187	187		
F1	0,7	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,85	1	1	1		
β_j	41	85	76	84		
β_s	85	85	85	85		
F3	-60	-25	-50	-50	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	27,3	70,25	69,5	62,5	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

**APÊNDICE V – PONTOS COM OS RESULTADOS DAS
CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS (APÓS AS
CORREÇÕES)**

XISTO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 10	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RESIST. DA ROCHA	1					
R.Q.D	3	0	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8					
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	12					
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15					
RMRb	39	0	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25					
RMRc	14	0	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
R.Q.D	17	0	0	0	0	0
Jn	2					
Jr	2					
Ja	3					
Jw	1					
SRF	5					
Q	1	0	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RMRb	39	0	0	0	0	0
α_j	233					
α_s	162					
F1	0	0	0	0	0	0
F2	0					
β_j	16					
β_s	18					
F3	-50	0	0	0	0	0
F4	15					
SMR	53	0	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 22	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RESIST. DA ROCHA	1	1				
R.Q.D	3	3	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	10				
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	12	16				
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15				
RMRb	39	45	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25				
RMRc	14	20	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
R.Q.D	16	16	0	0	0	0
Jn	4	4				
Jr	3	3				
Ja	3	0,75				
Jw	1	1				
SRF	5	5				
Q	0,8	3,2	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RMRb	39	45	0	0	0	0
α_j	149	177				
α_s	57	57				
F1	0,15	0,15	0	0	0	0
F2	0,15	0,15				
β_j	11	12				
β_s	14	14				
F3	-50	-50	0	0	0	0
F4	15	15				
SMR	53	59	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 31	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RESIST. DA ROCHA	2	2	2	2		
R.Q.D	3	3	3	3	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5	15	10		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	15	15	13		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15		
RMRb	42	40	50	43	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25	25		
RMRc	17	15	25	18	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
R.Q.D	19	19	19	19	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	3	3	3	3		
Ja	3	0,75	1	2		
Jw	1	1	1	1		
SRF	5	5	5	5		
Q	0,3	1,0	0,8	0,4	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RMRb	42	40	50	43	0	0
α_j	169	359	7	50		
α_s	202	202	202	202		
F1	0,15	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,85	1	1	1		
β_j	45	87	79	85		
β_s	23	23	23	23		
F3	0	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	57	55	65	58	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 59	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	1	1				
R.Q.D	3	3	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5				
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	13	14				
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15				
RMRb	40	38	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25				
RMRc	15	13	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
R.Q.D	17	17	0	0	0	0
Jn	4	4				
Jr	2	3				
Ja	3	0,75				
Jw	1	1				
SRF	5	5				
Q	0,6	3,5	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
RMRb	40	38	0	0	0	0
α_j	189	180				
α_s	235	235				
F1	0,15	0,15	0	0	0	0
F2	0,85	1				
β_j	36	83				
β_s	15,94	15,94				
F3	0	0	0	0	0	0
F4	15	15				
SMR	55	53	0	0	0	0

- α_j - Direção de mergulho das descontinuidades
- α_s - Direção de mergulho do talude
- β_j - mergulho das descontinuidades
- β_s - mergulho do talude

QUARTZITO SERICÍTICO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 38	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RESIST. DA ROCHA	2	2				
R.Q.D	3	3	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5				
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	16	16				
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15				
RMRb	44	41	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25				
RMRc	19	16	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
R.Q.D	20	20	0	0	0	0
Jn	4	4				
Jr	1,5	3				
Ja	4	0,75				
Jw	1	1				
SRF	5	5				
Q	0,4	4	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RMRb	44	41	0	0	0	0
α_j	203	342				
α_s	282	282				
F1	0,15	0,15	0	0	0	0
F2	0,4	1				
β_j	22	72				
β_s	26,56	26,56				
F3	-50	0	0	0	0	0
F4	15	15				
SMR	56	56	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 87	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	7	7	7	7		
R.Q.D	17	17	17	17	0	0
ESPAÇAMENTO	5	10	20	15		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	16	19	15	19		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15		
RMRb	60	68	74	73	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	60	25		
RMRc	35	43	14	48	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
R.Q.D	80	80	80	80	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	1,5	3	1,5	3		
Ja	2	0,75	0,75	0,75		
Jw	1	1	1	1		
SRF	1	1	1	1		
Q	4,0	21,3	10,7	21,3	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RMRb	60	68	74	73	0	0
α_j	210	330	10	54		
α_s	210	210	210	210		
F1	1	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,7	1	1	1		
β_j	33	80	69	60		
β_s	25,64	25,64	25,64	25,64		
F3	-6	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	71	83	89	88	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 92	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
	RESIST. DA ROCHA	7	7	7	7	
R.Q.D	13	13	13	13	0	0
ESPAÇAMENTO	8	15	5	5		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	17	19	11		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15		
RMRb	57	67	59	51	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25	25		
RMRc	32	42	34	26	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	50	50	50	50	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	1	1	1,5	1,5		
Ja	2	0,75	0,75	0,75		
Jw	1	1	1	1		
SRF	1	1	1	1		
Q	1,7	4,4	6,7	6,7	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	57	67	59	51	0	0
α_j	206	326	111	15		
α_s	210	210	210	210		
F1	1	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,4	1	1	1		
β_j	24	83	86	56		
β_s	25,64	25,64	25,64	25,64		
F3	-50	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	52	82	74	66	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 105	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
	RESIST. DA ROCHA	7	7	7	7	
R.Q.D	17	17	17	17	80	80
ESPAÇAMENTO	8	20	5	8		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	21	17	15	19		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7	7	7	7		
RMRb	60	68	51	58	80	80
VALOR DE CORREÇÃO	25	60	25	25		
RMRc	35	8	26	33	80	80

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	80	80	80	80	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	1,5	1,5	1,5	1		
Ja	0,75	3	0,75	0,75		
Jw	0,66	0,66	0,66	0,66		
SRF	1	1	1	1		
Q	7,0	1,8	7,0	4,7	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	60	68	51	58	80	80
α_j	206	18	180	224		
α_s	203	203	203	203		
F1	1	0,15	0,4	0,4	0	0
F2	0,4	1	1	1		
β_j	30	61	88	86		
β_s	26	26	26	26		
F3	-6	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	73	83	66	73	80	80

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude



FILITO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 74	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RESIST. DA ROCHA	1	1	1	1		
R.Q.D	3	3	3	3	0	0
ESPAÇAMENTO	8	10	10	8		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	13	17	16	16		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7	7	7	7		
RMRb	32	38	37	35	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	5	25	25	25		
RMRc	27	13	12	10	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
R.Q.D	20	20	20	20	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	2	1	1	1		
Ja	2	2	0,75	2		
Jw	0,66	0,66	0,66	0,66		
SRF	5	5	5	5		
Q	0,2	0,09	0,2	0,09	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RMRb	32	38	37	35	0	0
α_j	206	32	81	125		
α_s	240	240	240	240		
F1	0,15	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,4	1	1	1		
β_j	30	79	81	84		
β_s	26,56	26,56	26,56	26,56		
F3	-6	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	47	53	52	50	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 117	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
	RESIST. DA ROCHA	2	2			
R.Q.D	3	3	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5				
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	15				
AÇÃO DA ÁGUA SUBT.	7	7				
RMRb	34	32	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25				
RMRc	9	7	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
R.Q.D	21	21	0	0	0	0
Jn	4	4				
Jr	3	1,5				
Ja	4	0,75				
Jw	0,66	0,66				
SRF	5	1				
Q	0,5	6,9	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6
RMRb	34	32	0	0	0	0
α_j	234	333				
α_s	239	239				
F1	0,85	0,15	0	0	0	0
F2	0,7	1				
β_j	19	89				
β_s	23,2	23,2				
F3	-50	0	0	0	0	0
F4	15	15				
SMR	19	47	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 121	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	2					
R.Q.D	3	0	0	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8					
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	17					
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7					
RMRb	37	0	0	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25					
RMRc	12	0	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
R.Q.D	9	0	0	0	0	0
Jn	2					
Jr	2					
Ja	4					
Jw	0,66					
SRF	5					
Q	0,3	0	0	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RMRb	37	0	0	0	0	0
α_j	200					
α_s	213					
F1	0,7	0	0	0	0	0
F2	0,4					
β_j	38					
β_s	27,7					
F3	0	0	0	0	0	0
F4	15					
SMR	52	0	0	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

ITABIRITO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 66	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	2	2	2			
R.Q.D	3	3	3	0	0	0
ESPAÇAMENTO	8	5	10			
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	9	18	18			
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15			
RMRb	37	43	48	0	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25			
RMRc	12	18	23	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA.3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
R.Q.D	23	23	23	0	0	0
Jn	9	9	9			
Jr	1	2	2			
Ja	3	0,75	0,75			
Jw	1	1	1			
SRF	5	5	5			
Q	0,2	1,4	1,4	0	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RMRb	37	43	48	0	0	0
α_j	329	97	315			
α_s	195	195	195			
F1	0,15	0,15	0,15	0	0	0
F2	0,4	1	1			
β_j	25	79	85			
β_s	20	20	20			
F3	-6	0	0	0	0	0
F4	15	15	15			
SMR	52	58	63	0	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 69	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RESIST. DA ROCHA	2	2	2	2	2	2
R.Q.D	8	8	8	8	8	8
ESPAÇAMENTO	8	15	10	5	15	15
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	11	18	22	20	20	20
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15	15	15
RMRb	44	58	57	50	60	60
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25	25	25	25
RMRc	19	33	32	25	35	35

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
R.Q.D	28	28	28	28	28	28
Jn	15	15	15	15	15	15
Jr	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Ja	2	3	0,75	0,75	0,75	0,75
Jw	1	1	1	1	1	1
SRF	5	5	5	5	5	5
Q	0,3	0,2	0,8	0,8	0,8	0,8

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2	FAMÍLIA 3	FAMÍLIA 4	FAMÍLIA 5	FAMÍLIA 6
RMRb	44	58	57	50	60	60
α_j	236	12	243	90	348	143
α_s	219	219	219	219	219	219
F1	0,7	0,15	0,4	0,15	0,15	0,15
F2	0,4	1	1	1	1	1
β_j	30	81	73	69	87	83
β_s	26,56	26,56	26,56	26,56	26,56	26,56
F3	-6	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15	15	15
SMR	57	73	72	65	75	75

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 70	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	2	2	2	2		
R.Q.D	8	8	8	8	0	0
ESPAÇAMENTO	8	20	15	15		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	18	18	18		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	15	15	15	15		
RMRb	47	63	58	58	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	60	25	25		
RMRc	22	3	33	33	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
R.Q.D	36	36	36	36	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	2	1	1	1		
Ja	2	0,75	0,75	0,75		
Jw	1	1	1	1		
SRF	5	5	5	5		
Q	0,5	0,6	0,6	0,6	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMÍLIA 1</i>	<i>FAMÍLIA 2</i>	<i>FAMÍLIA 3</i>	<i>FAMÍLIA 4</i>	<i>FAMÍLIA 5</i>	<i>FAMÍLIA 6</i>
RMRb	47	63	58	58	0	0
α_j	243	54	330	191		
α_s	219	219	219	219		
F1	0,4	0,15	0,15	0,4	0	0
F2	0,4	1	1	1		
β_j	21	84	85	87		
β_s	26,56	26,56	26,56	26,56		
F3	-50	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	54	78	73	73	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA RMR (ROCK MASS RATING) - BIENIASWKI, 1989

PONTO: 84	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RESIST. DA ROCHA	2	2	2	2		
R.Q.D	8	8	8	8	0	0
ESPAÇAMENTO	5	15	15	10		
CONDIÇÃO DAS DESCONT.	14	15	18	16		
AÇÃO DA AGUA SUBT.	7	7	7	7		
RMRb	36	47	50	43	0	0
VALOR DE CORREÇÃO	25	25	25	25		
RMRc	11	22	25	18	0	0

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA - SISTEMA Q(Barton et al., 1974)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
R.Q.D	36	36	36	36	0	0
Jn	15	15	15	15		
Jr	2	1,5	1,5	2		
Ja	2	0,75	0,75	0,75		
Jw	0,66	0,66	0,66	0,66		
SRF	5	5	5	5		
Q	0,3	0,6	0,6	0,8	0	0

CLASSIFICAÇÃO SMR - SLOPE MASS RATING (ROMANA, 1980)

	<i>FAMILIA 1</i>	<i>FAMILIA 2</i>	<i>FAMILIA 3</i>	<i>FAMILIA 4</i>	<i>FAMILIA 5</i>	<i>FAMILIA 6</i>
RMRb	36	47	50	43	0	0
α_j	198	299	82	110		
α_s	226	226	226	226		
F1	0,4	0,15	0,15	0,15	0	0
F2	0,85	1	1	1		
β_j	41	85	76	84		
β_s	25,34	25,34	25,34	25,34		
F3	0	0	0	0	0	0
F4	15	15	15	15		
SMR	51	62	65	58	0	0

α_j - Direção de mergulho das descontinuidades

α_s - Direção de mergulho do talude

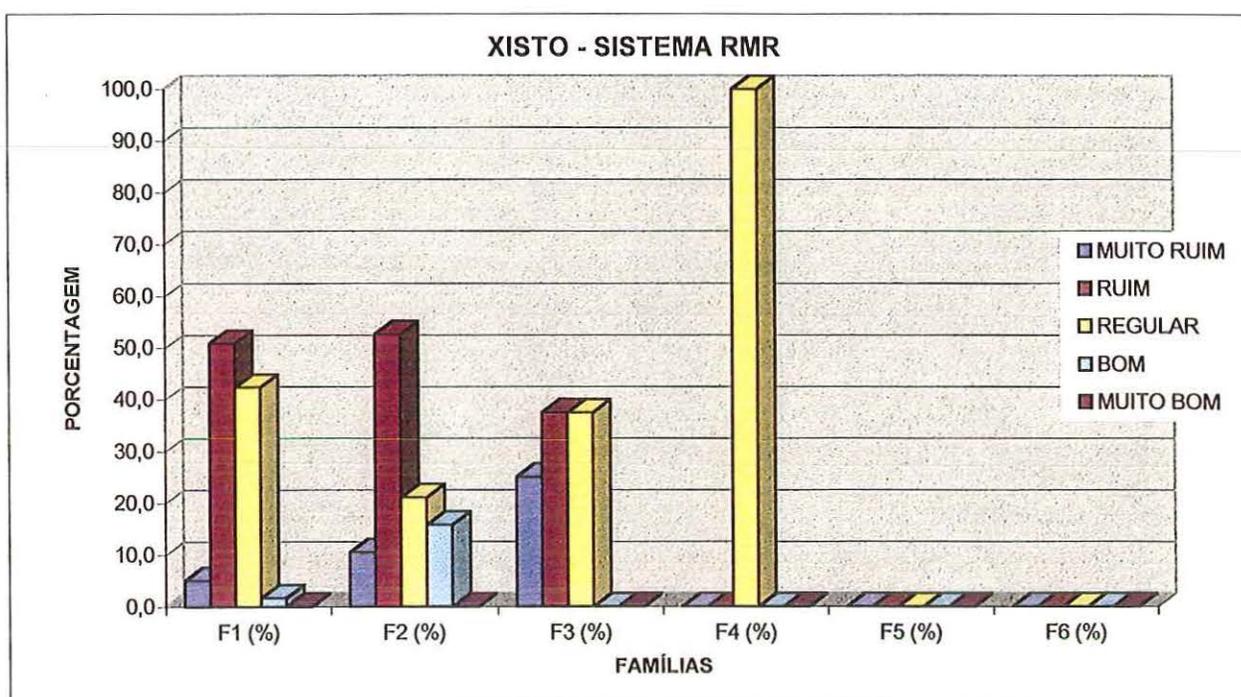
β_j - mergulho das descontinuidades

β_s - mergulho do talude

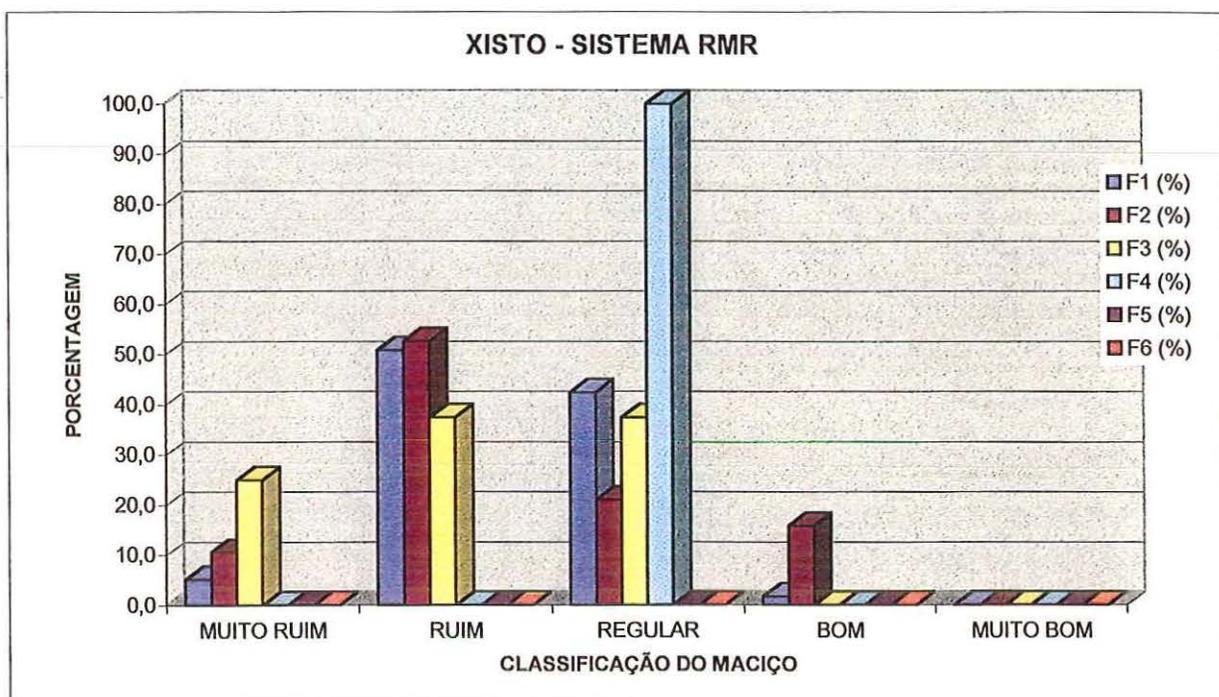
**APÊNDICE VI – TABELAS E GRÁFICOS COM OS
RESULTADOS DAS CLASSIFICAÇÕES
GEOMECÂNICAS (PRIMEIRAS ANÁLISES)**

XISTO

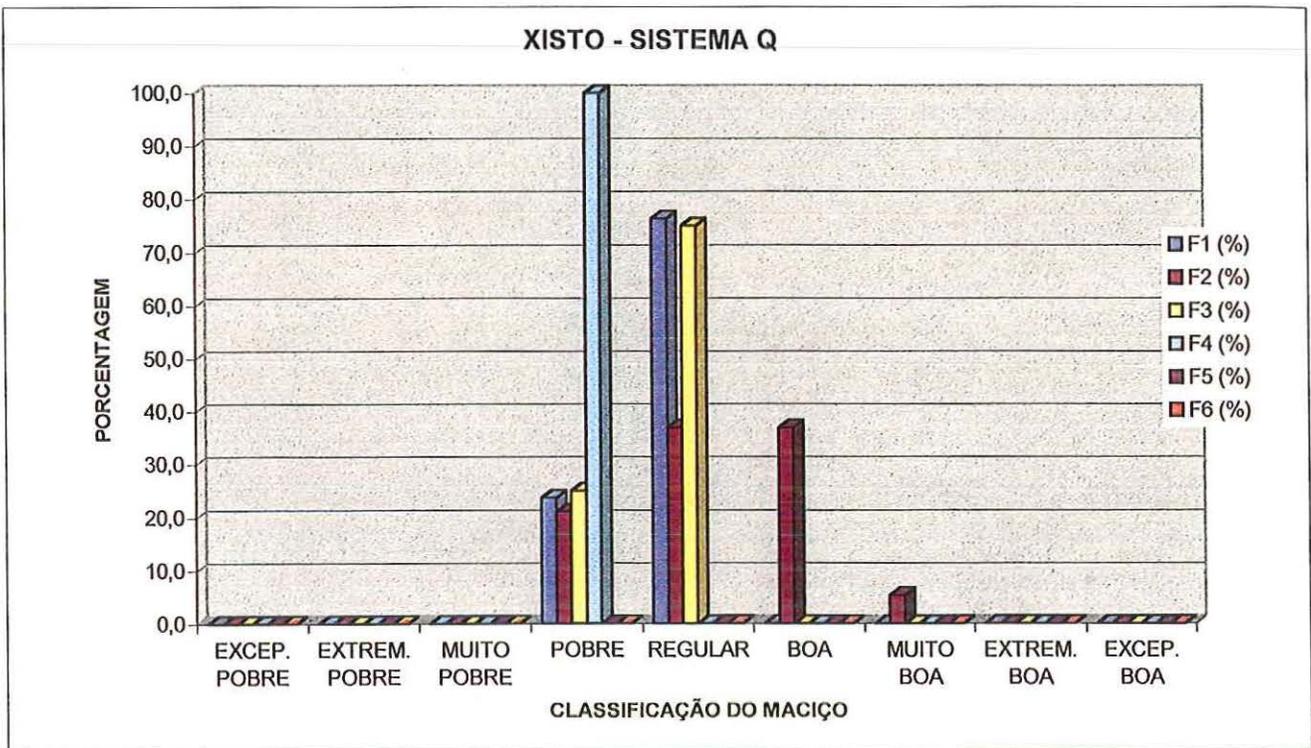
XISTO - 59 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	3	2	2	0	0	0
RUIM	30	10	3	0	0	0
REGULAR	25	4	3	2	0	0
BOM	1	3	0	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	59	19	8	2	0	0



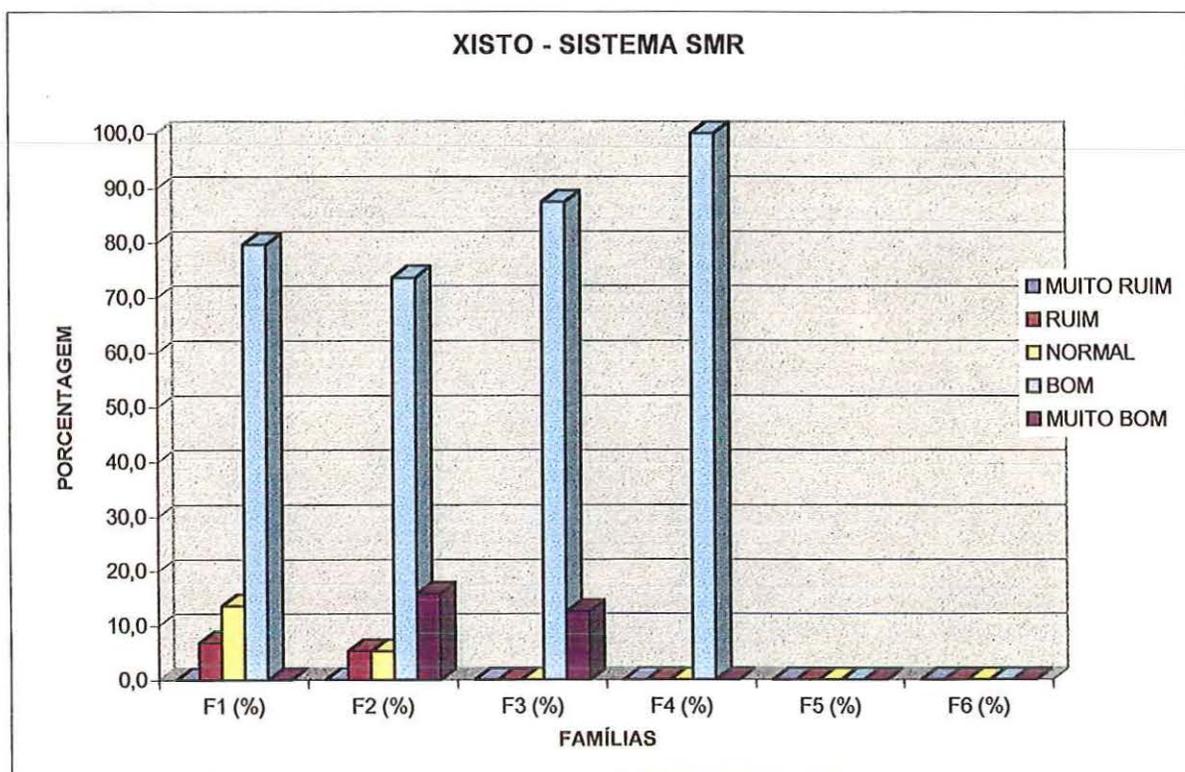
XISTO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	5,1	10,5	25,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	50,8	52,6	37,5	0,0	0,0	0,0
REGULAR	42,4	21,1	37,5	100,0	0,0	0,0
BOM	1,7	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



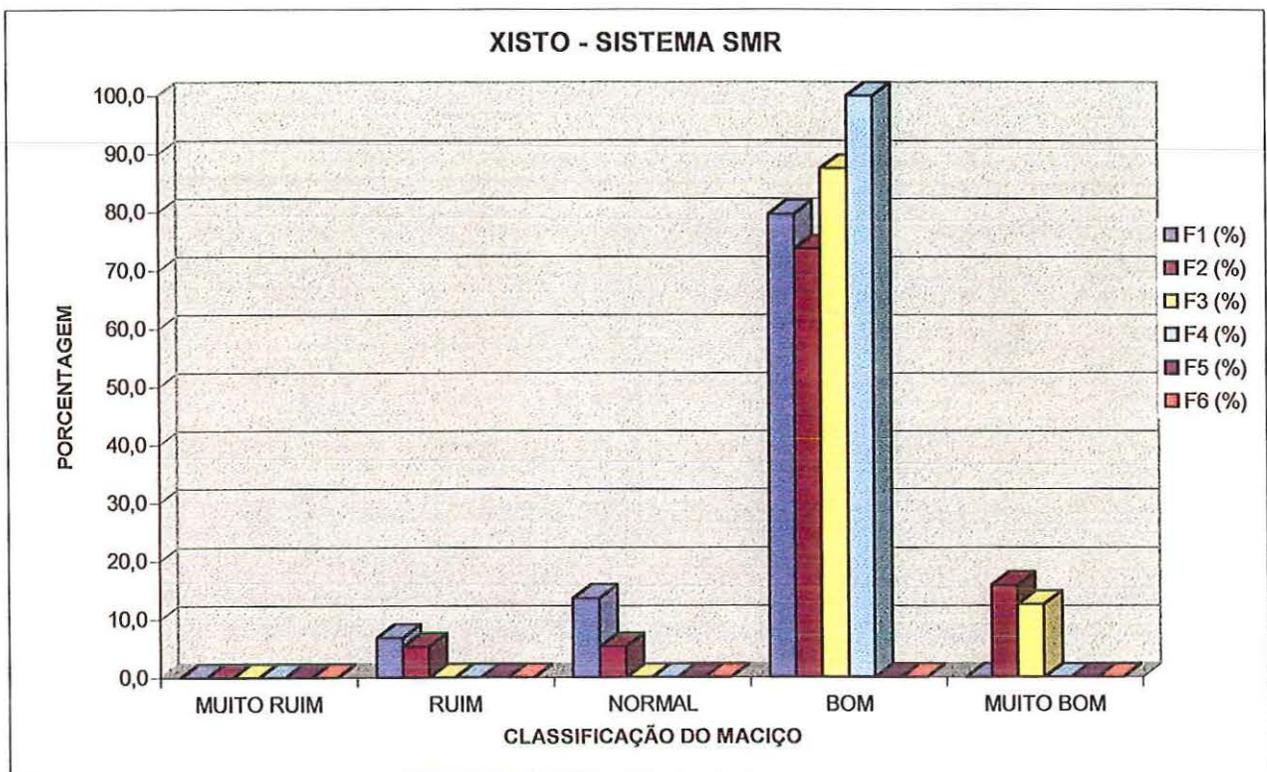
XISTO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
EXCEP. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
POBRE	23,7	21,1	25,0	100,0	0,0	0,0
REGULAR	76,3	36,8	75,0	0,0	0,0	0,0
BOA	0,0	36,8	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOA	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXCEP. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



XISTO - 59 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	0	0	0	0	0	0
RUIM	4	1	0	0	0	0
NORMAL	8	1	0	0	0	0
BOM	47	14	7	2	0	0
MUITO BOM	0	3	1	0	0	0
TOTAL	59	19	8	2	0	0

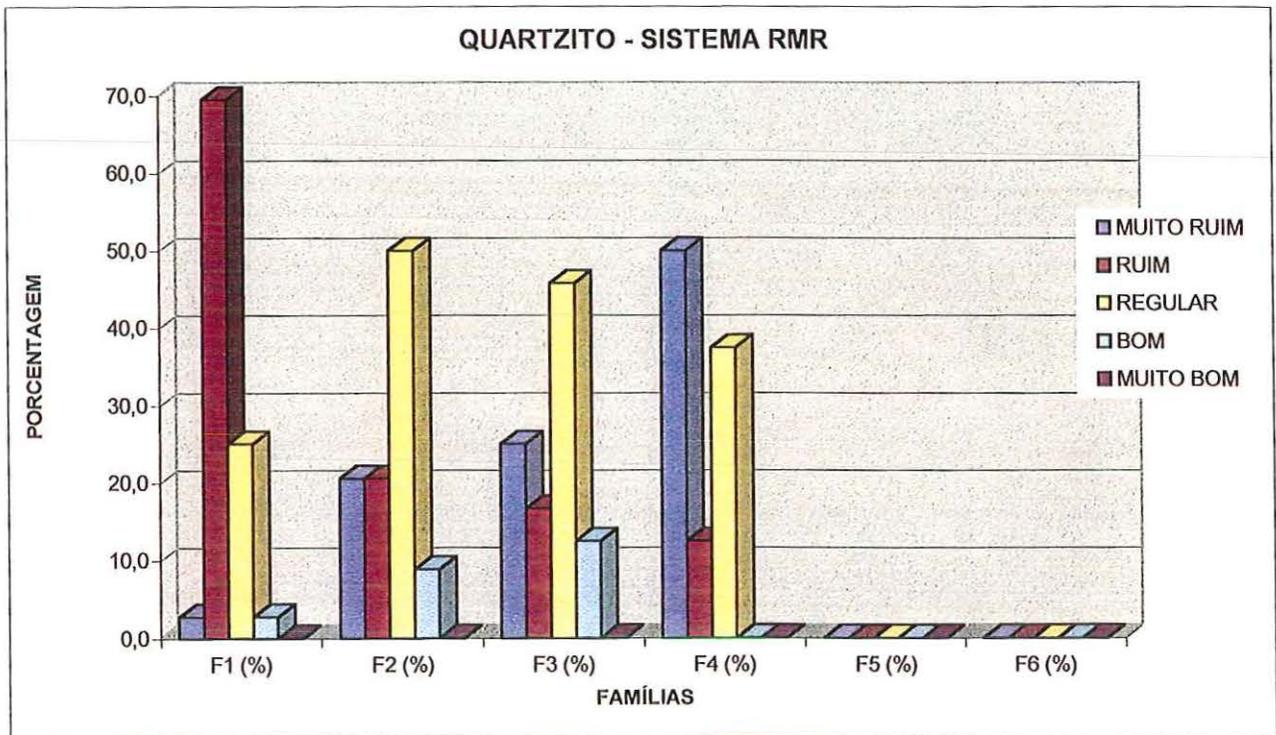


XISTO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	6,8	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
NORMAL	13,6	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
BOM	79,7	73,7	87,5	100,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	15,8	12,5	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0

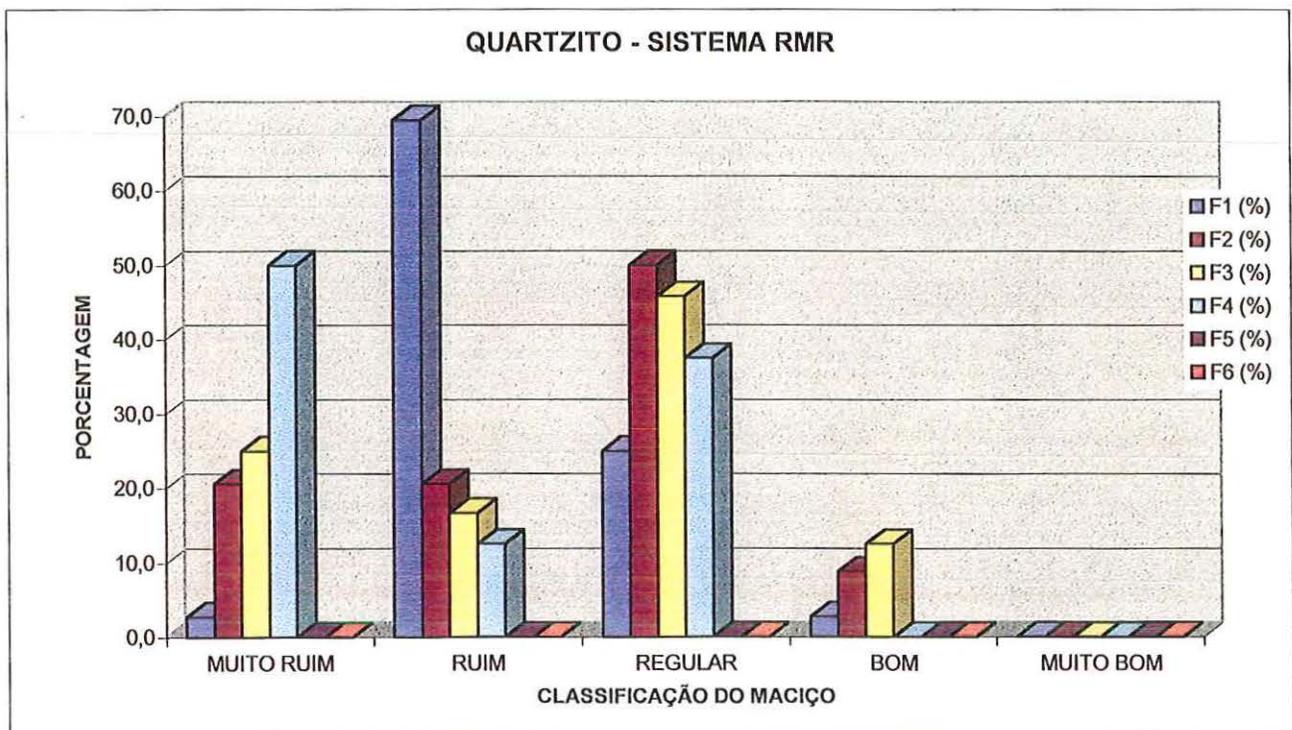


QUARTZITO SERICÍTICO

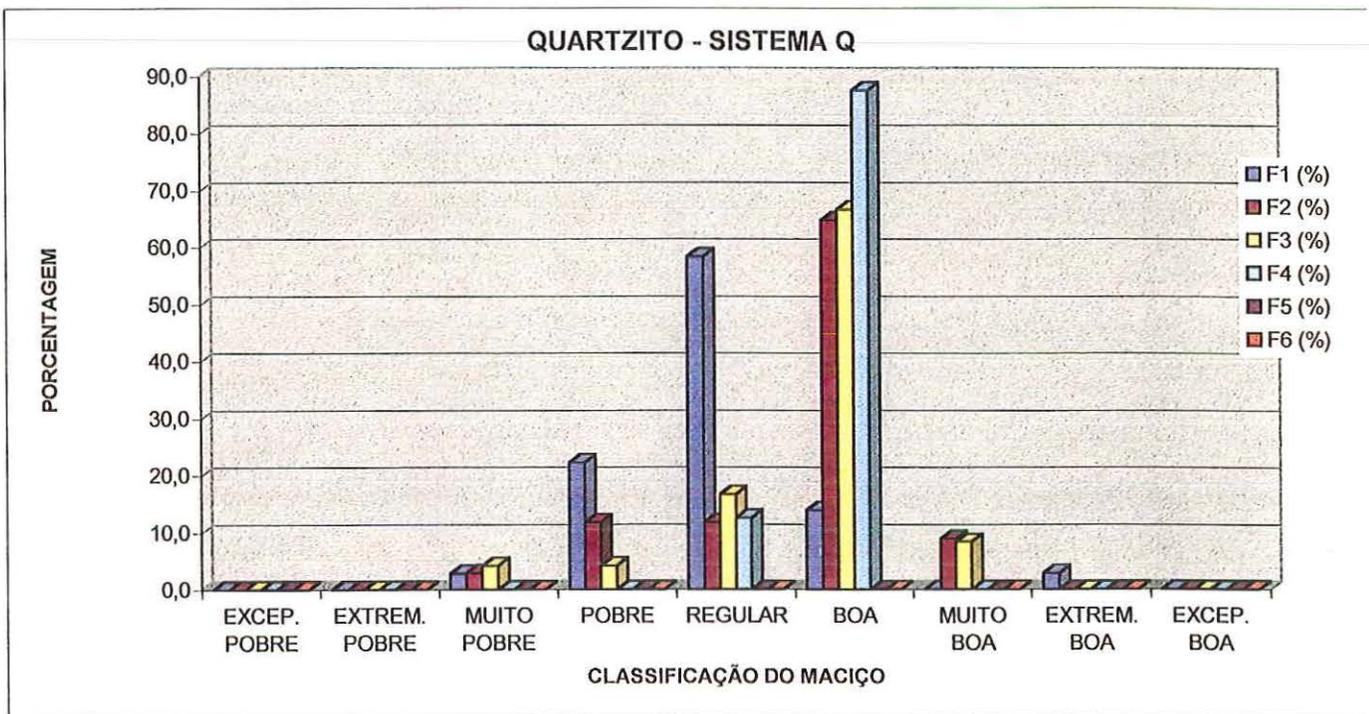
QUARTZITO - 36 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	1	7	6	4	0	0
RUIM	25	7	4	1	0	0
REGULAR	9	17	11	3	0	0
BOM	1	3	3	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	36	34	24	8	0	0



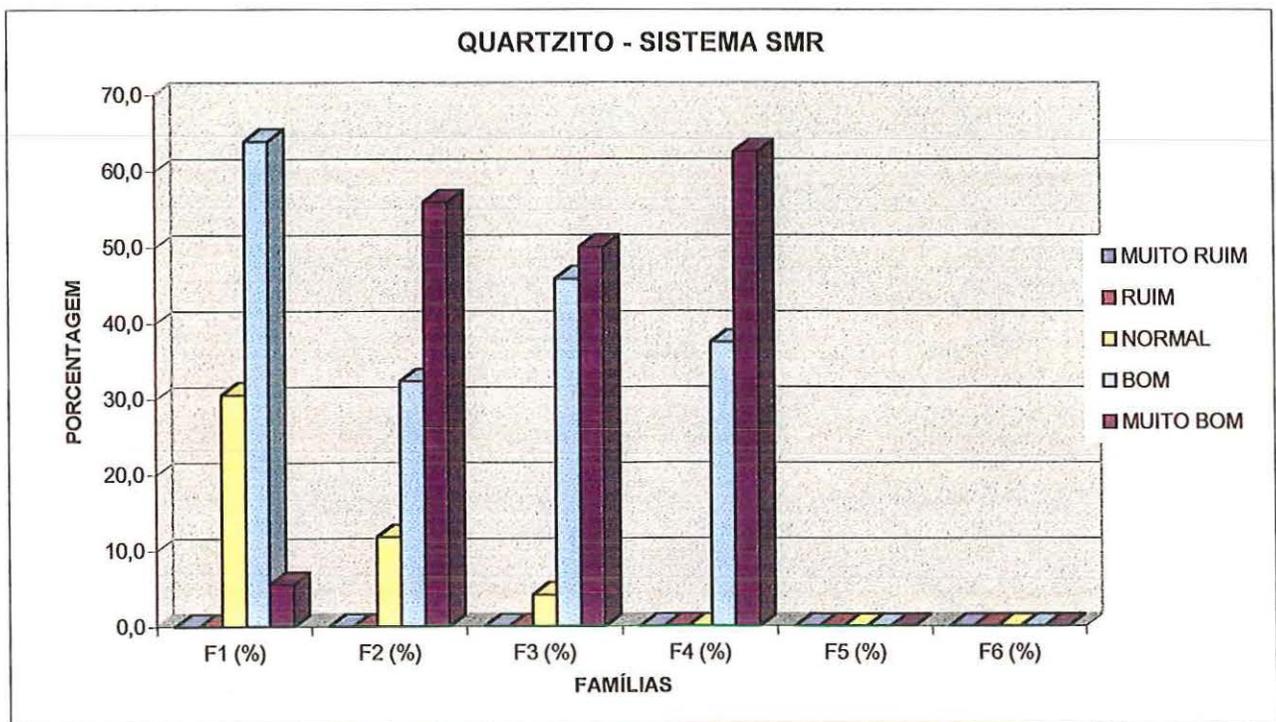
QUARTZITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	2,8	20,6	25,0	50,0	0,0	0,0
RUIM	69,4	20,6	16,7	12,5	0,0	0,0
REGULAR	25,0	50,0	45,8	37,5	0,0	0,0
BOM	2,8	8,8	12,5	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



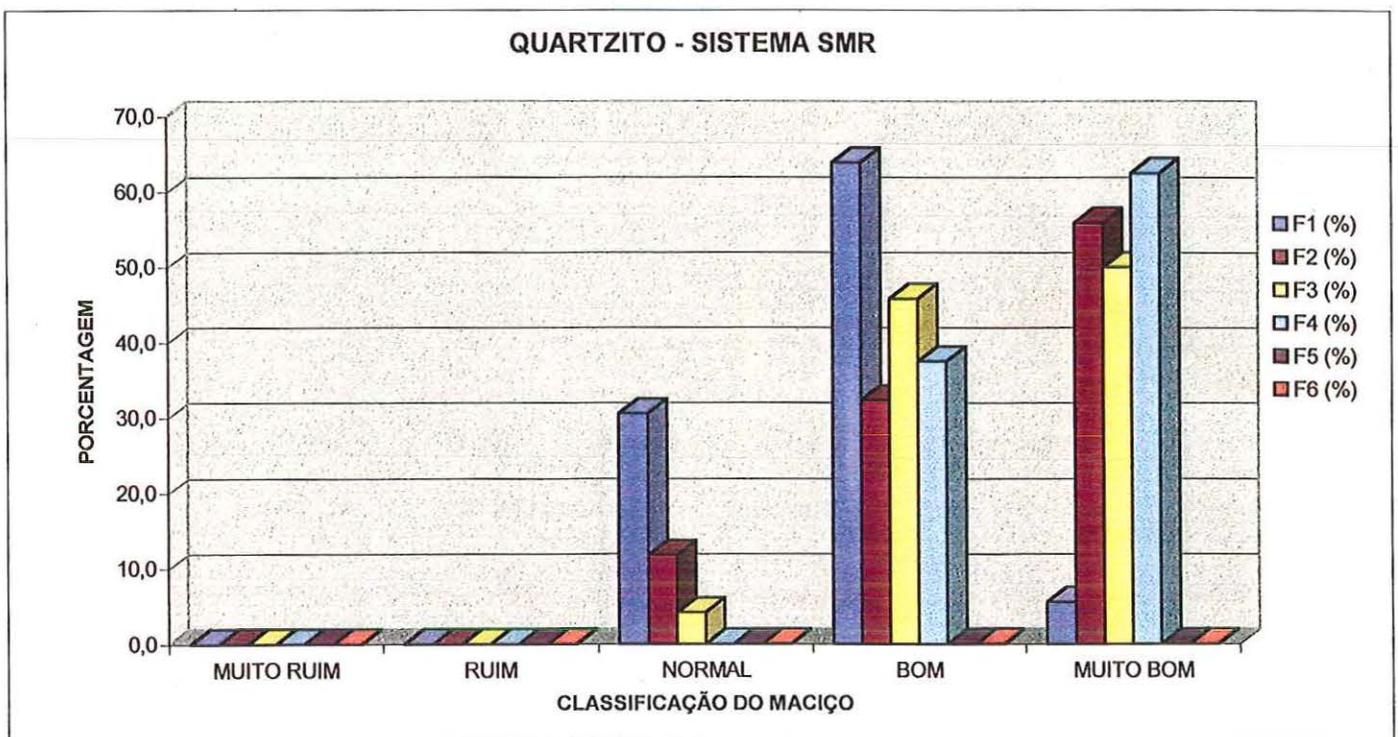
QUARTZITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
EXCEP. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO POBRE	2,8	2,9	4,2	0,0	0,0	0,0
POBRE	22,2	11,8	4,2	0,0	0,0	0,0
REGULAR	58,3	11,8	16,7	12,5	0,0	0,0
BOA	13,9	64,7	66,7	87,5	0,0	0,0
MUITO BOA	0,0	8,8	8,3	0,0	0,0	0,0
EXTREM. BOA	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXCEP. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



QUARTZITO - 36 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	0	0	0	0	0	0
RUIM	0	0	0	0	0	0
NORMAL	11	4	1	0	0	0
BOM	23	11	11	3	0	0
MUITO BOM	2	19	12	5	0	0
TOTAL	36	34	24	8	0	0

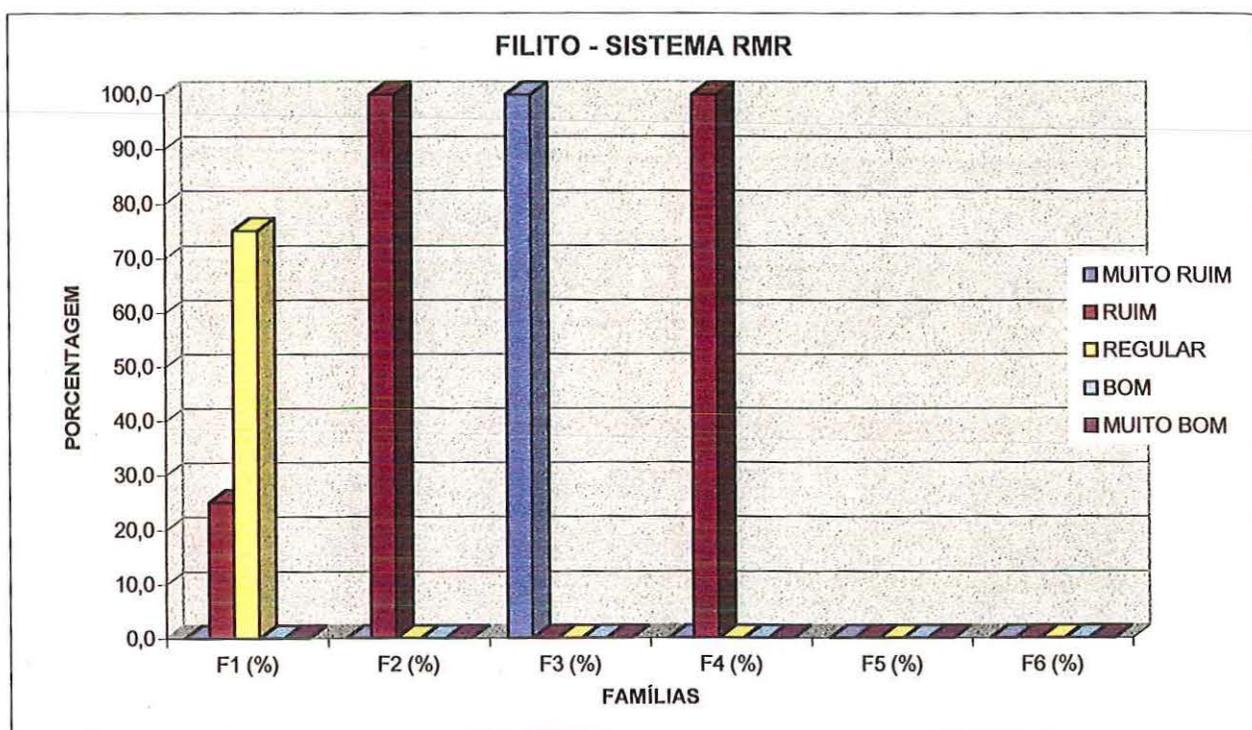


QUARTZITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NORMAL	30,6	11,8	4,2	0,0	0,0	0,0
BOM	63,9	32,4	45,8	37,5	0,0	0,0
MUITO BOM	5,6	55,9	50,0	62,5	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0

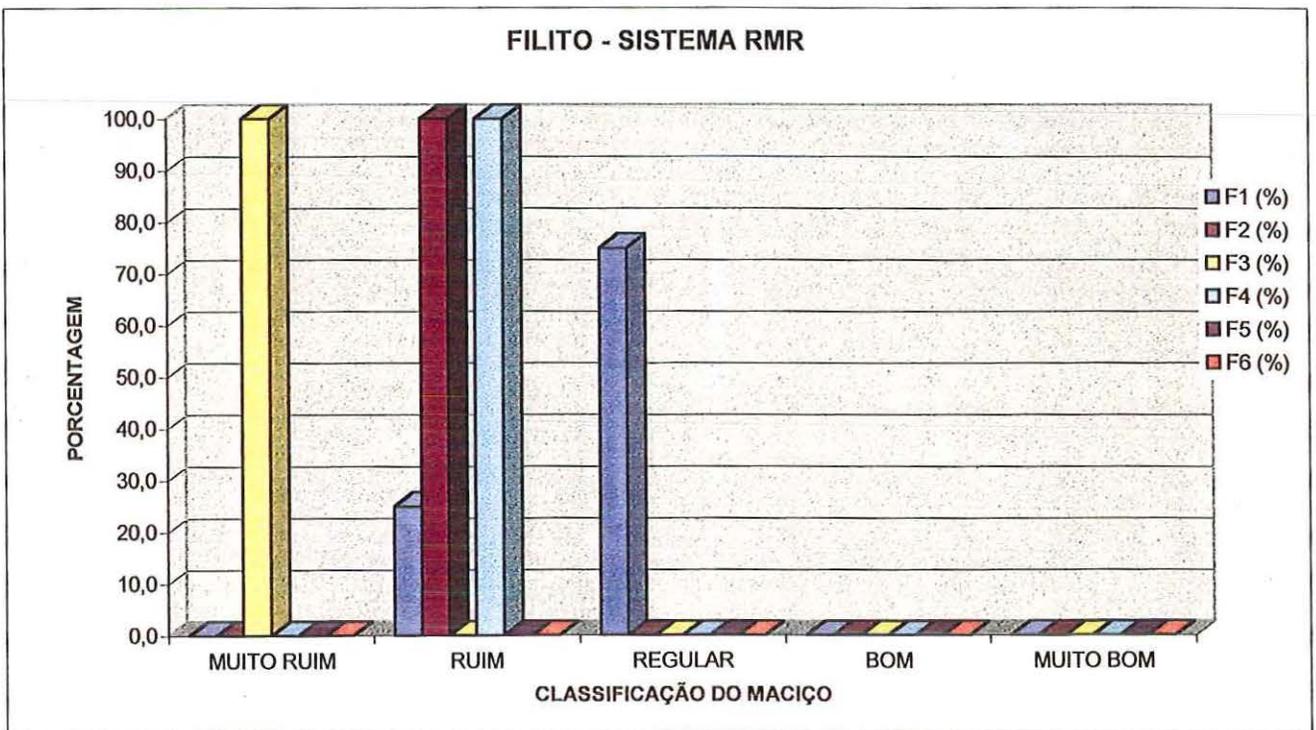


FILITO

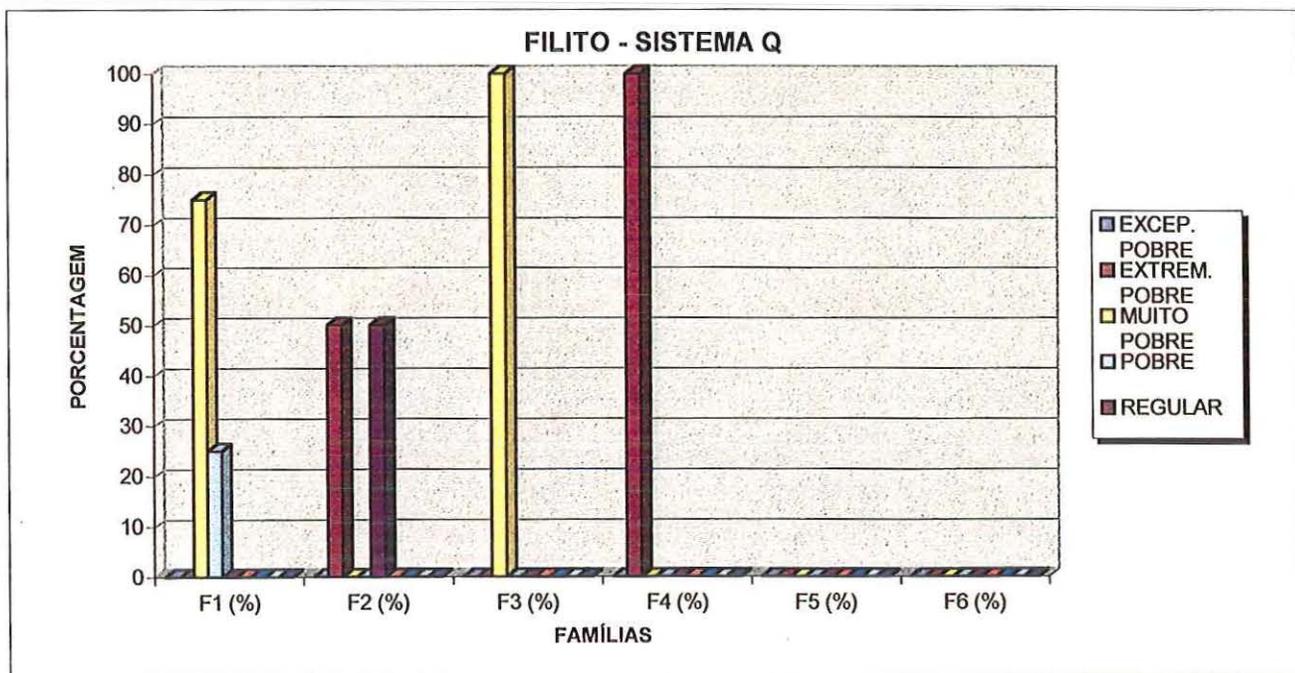
FILITO - 4 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	0	0	1	0	0	0
RUIM	1	2	0	1	0	0
REGULAR	3	0	0	0	0	0
BOM	0	0	0	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	4	2	1	1	0	0



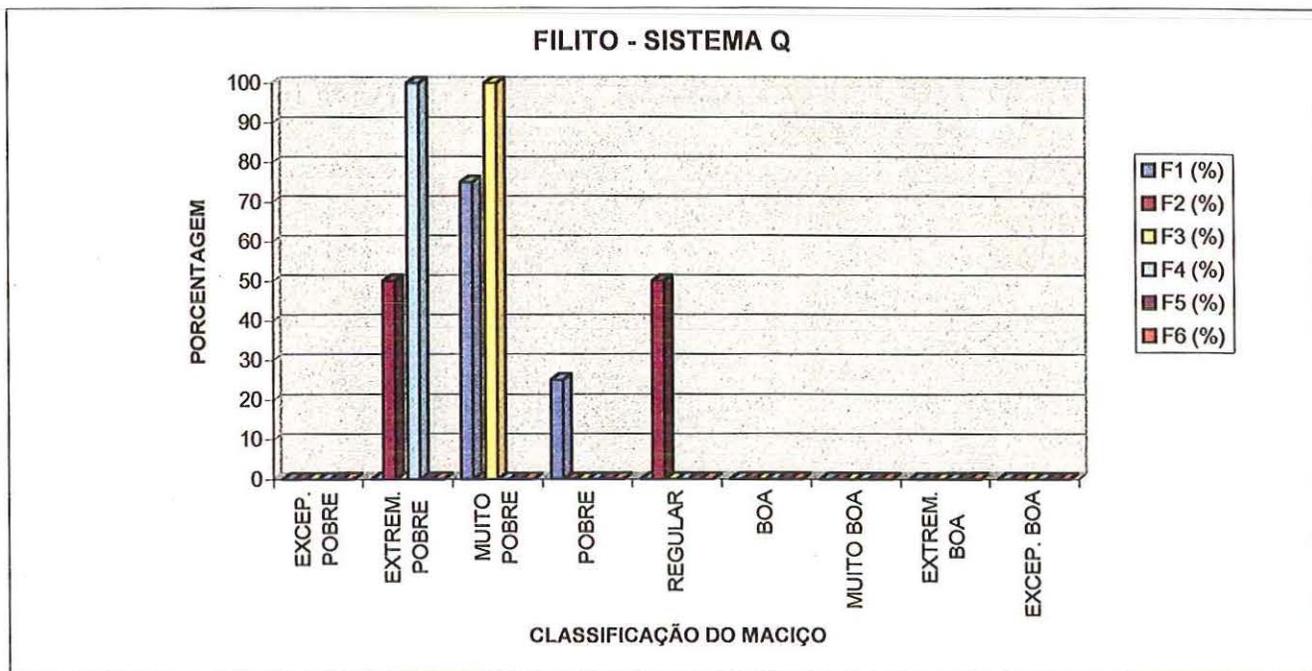
FILITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	25,0	100,0	0,0	100,0	0,0	0,0
REGULAR	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



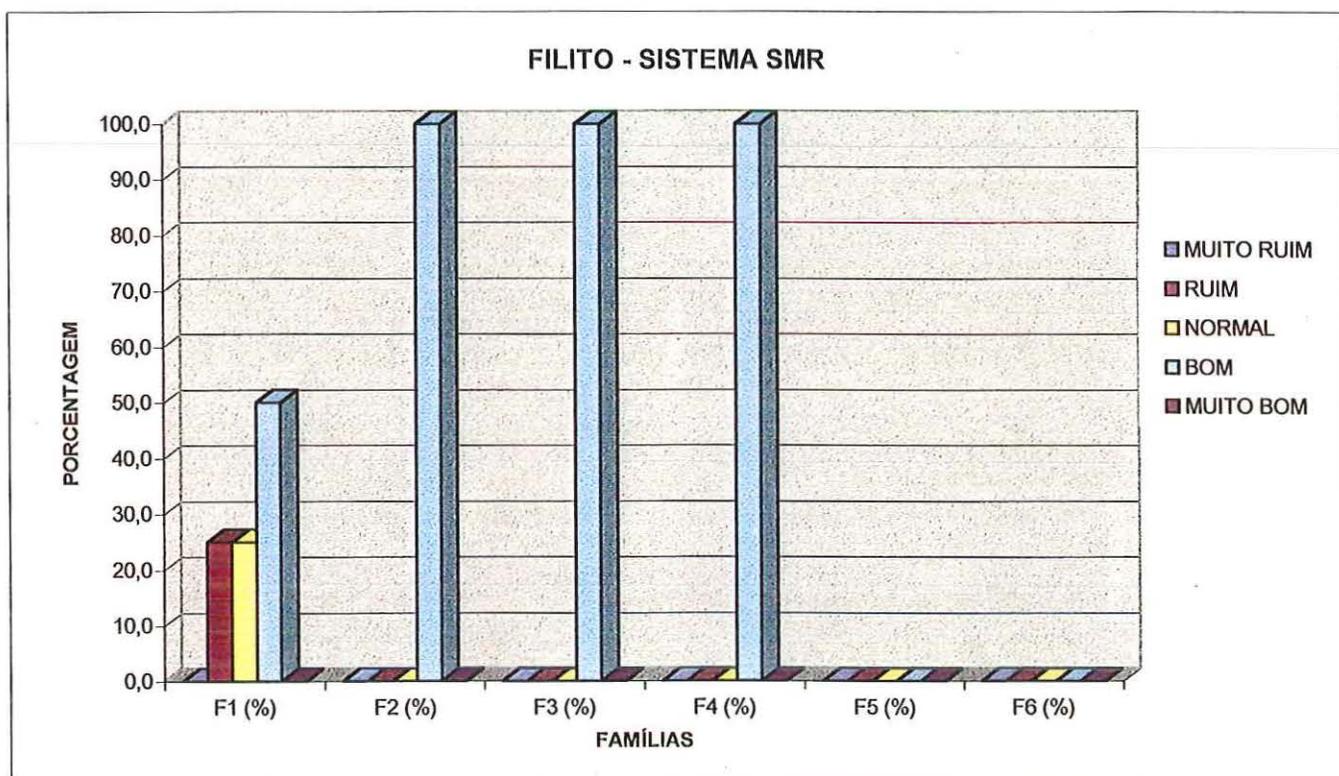
FILITO - 4 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
EXCEP. POBRE	0	0	0	0	0	0
EXTREM. POBRE	0	1	0	1	0	0
MUITO POBRE	3	0	1	0	0	0
POBRE	1	0	0	0	0	0
REGULAR	0	1	0	0	0	0
BOA	0	0	0	0	0	0
MUITO BOA	0	0	0	0	0	0
EXTREM. BOA	0	0	0	0	0	0
EXCEP. BOA	0	0	0	0	0	0
TOTAL	4	2	1	1	0	0



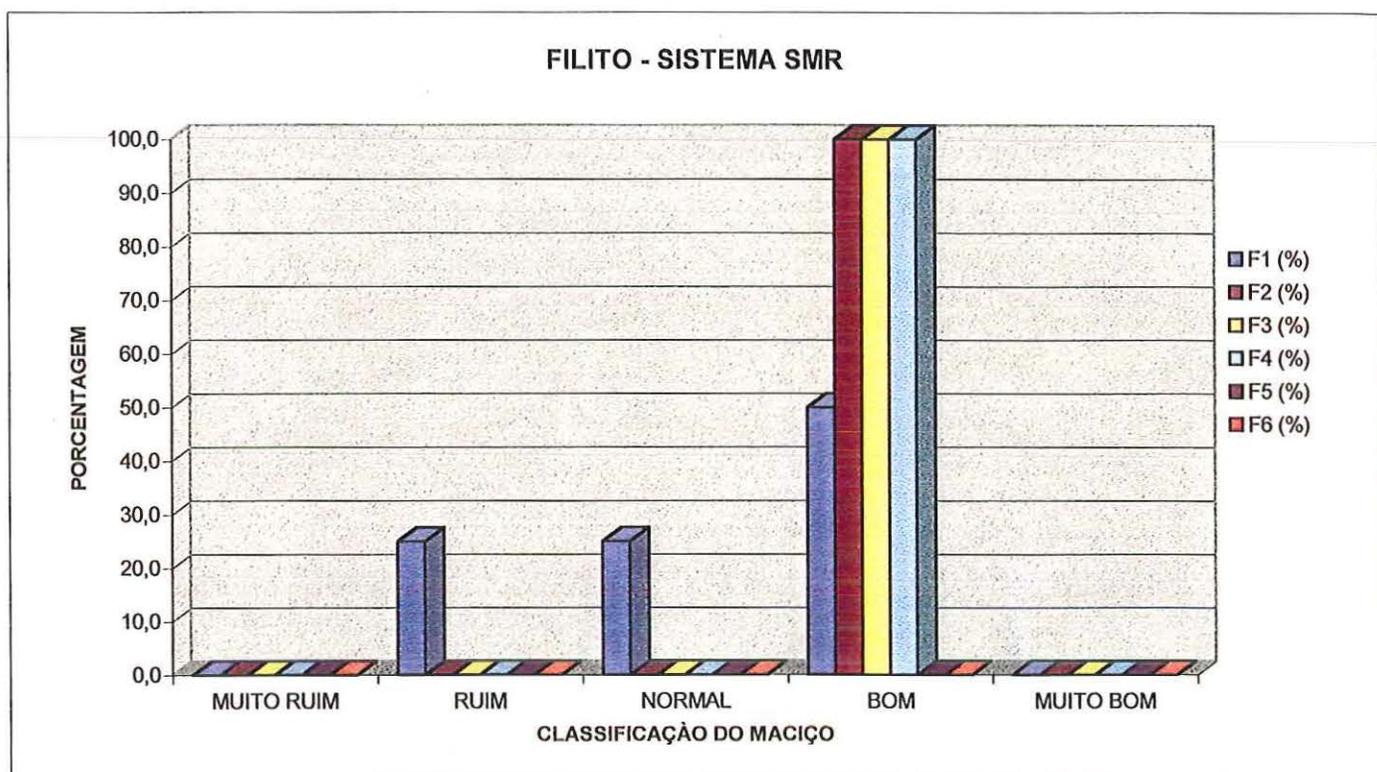
FILITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
EXCEP. POBRE	0	0	0	0	0	0
EXTREM. POBRE	0	50	0	100	0	0
MUITO POBRE	75,0	0	100	0,0	0,0	0,0
POBRE	25,0	0	0	0,0	0,0	0,0
REGULAR	0,0	50	0	0,0	0,0	0,0
BOA	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOA	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. BOA	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0
EXCEP. BOA	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



FILITO - 4 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	0	0	0	0	0	0
RUIM	1	0	0	0	0	0
NORMAL	1	0	0	0	0	0
BOM	2	2	1	1	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	4	2	1	1	0	0

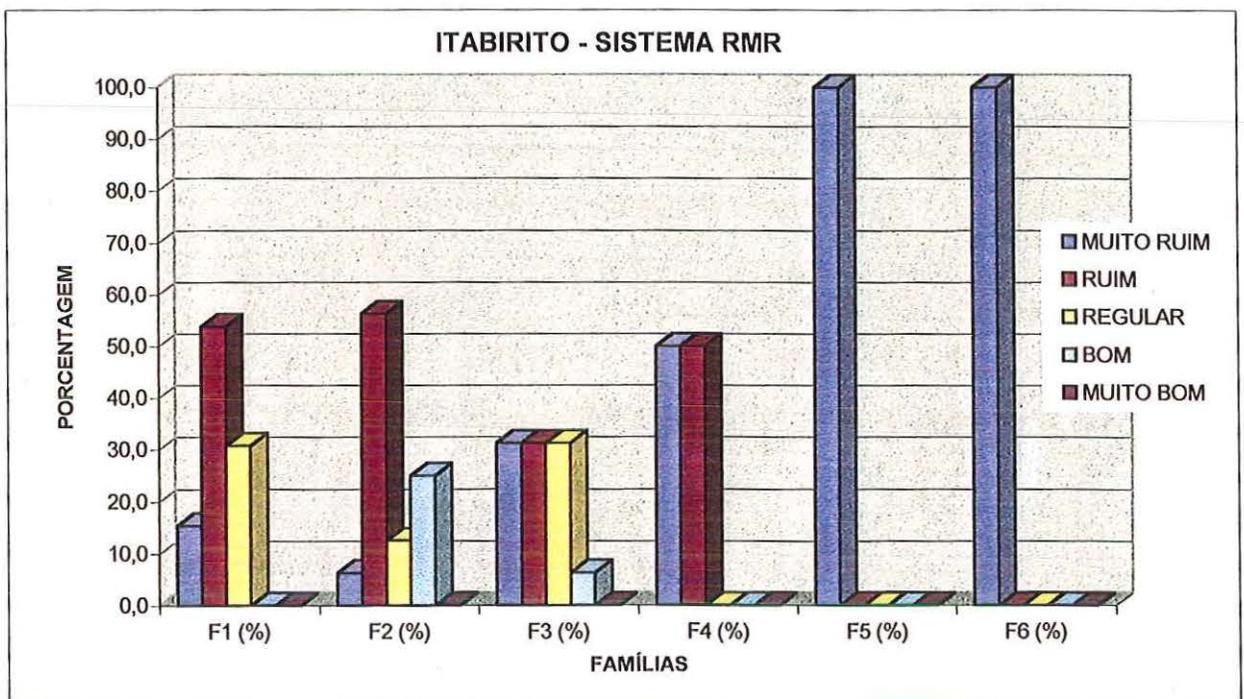


FILITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NORMAL	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BOM	50,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0

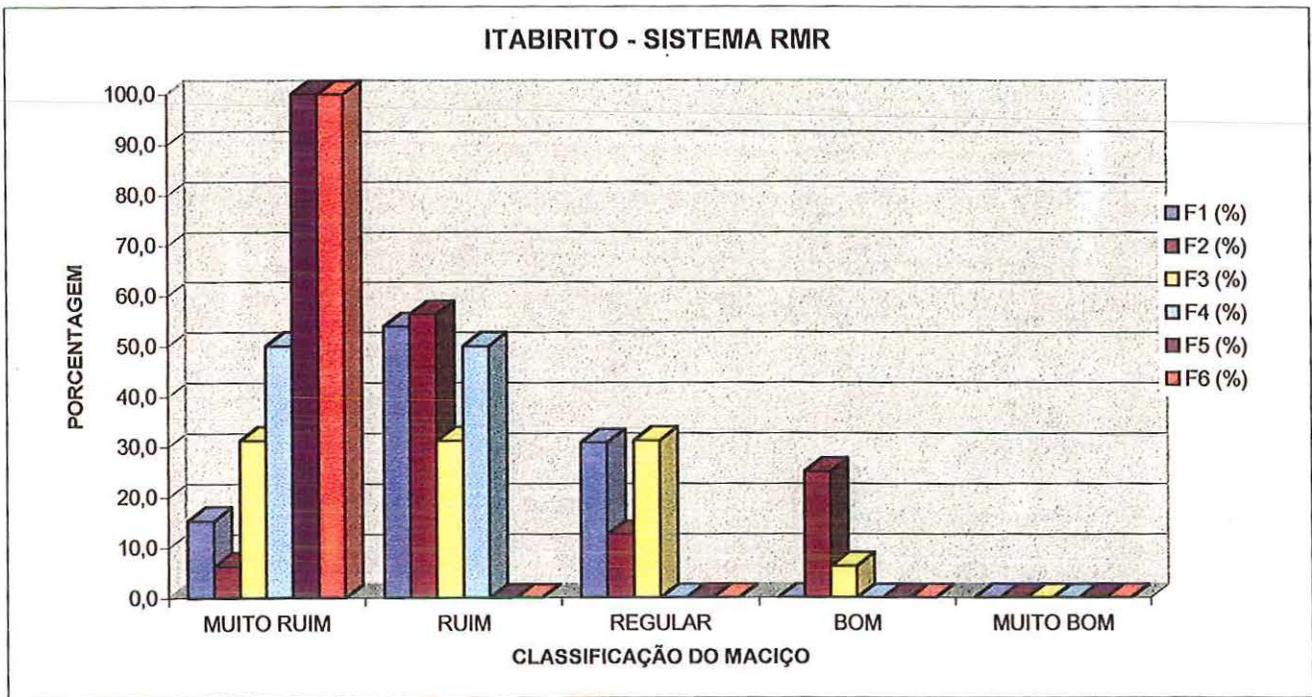


ITABIRITO

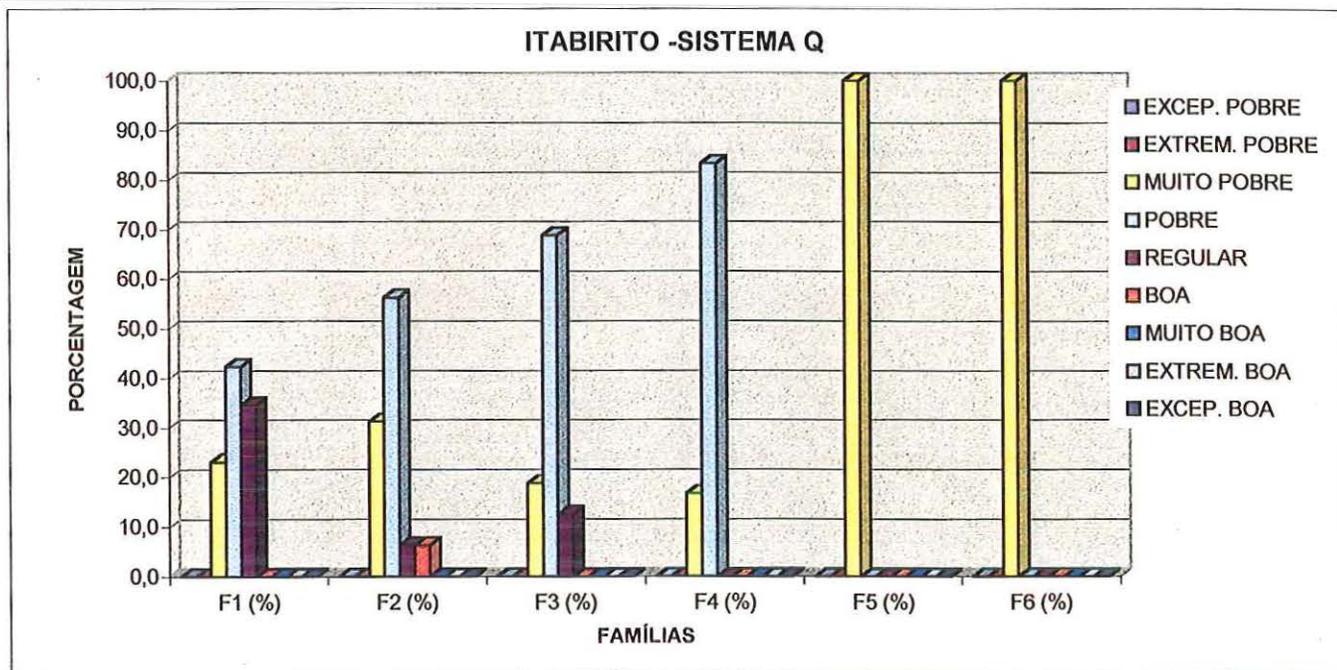
ITABIRITO - 26 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	4	1	5	3	1	1
RUIM	14	9	5	3	0	0
REGULAR	8	2	5	0	0	0
BOM	0	4	1	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	26	16	16	6	1	1



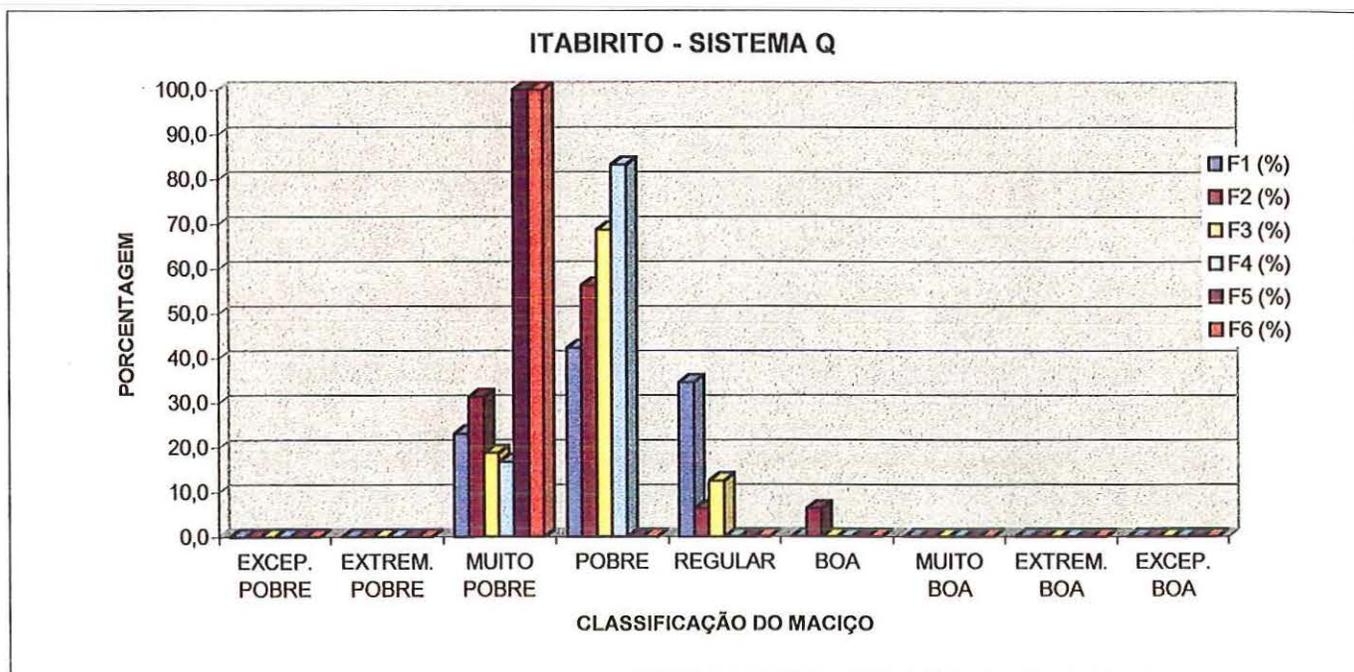
ITABIRITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	15,4	6,3	31,3	50,0	100,0	100,0
RUIM	53,8	56,3	31,3	50,0	0,0	0,0
REGULAR	30,8	12,5	31,3	0,0	0,0	0,0
BOM	0,0	25,0	6,3	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	100	100



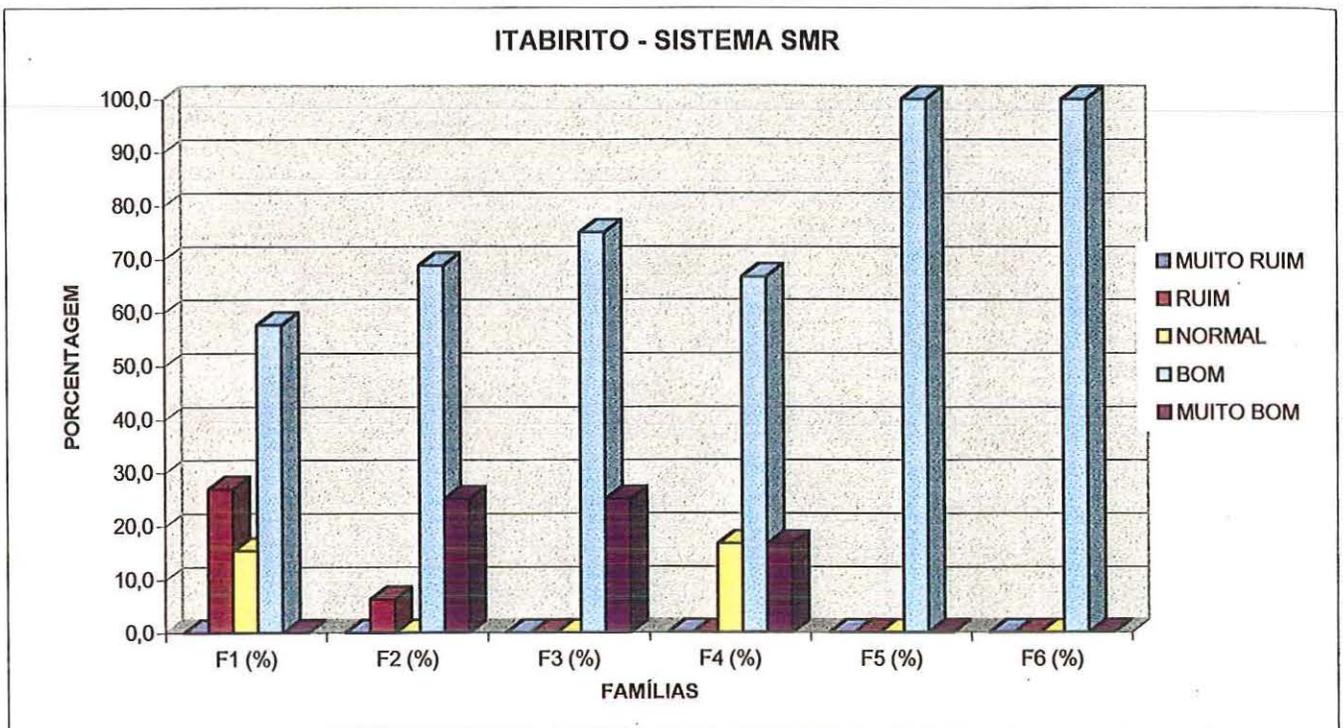
ITABIRITO - 26 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
EXCEP. POBRE	0	0	0	0	0	0
EXTREM. POBRE	0	0	0	0	0	0
MUITO POBRE	6	5	3	1	1	1
POBRE	11	9	11	5	0	0
REGULAR	9	1	2	0	0	0
BOA	0	1	0	0	0	0
MUITO BOA	0	0	0	0	0	0
EXTREM. BOA	0	0	0	0	0	0
EXCEP. BOA	0	0	0	0	0	0
TOTAL	26	16	16	6	1	1



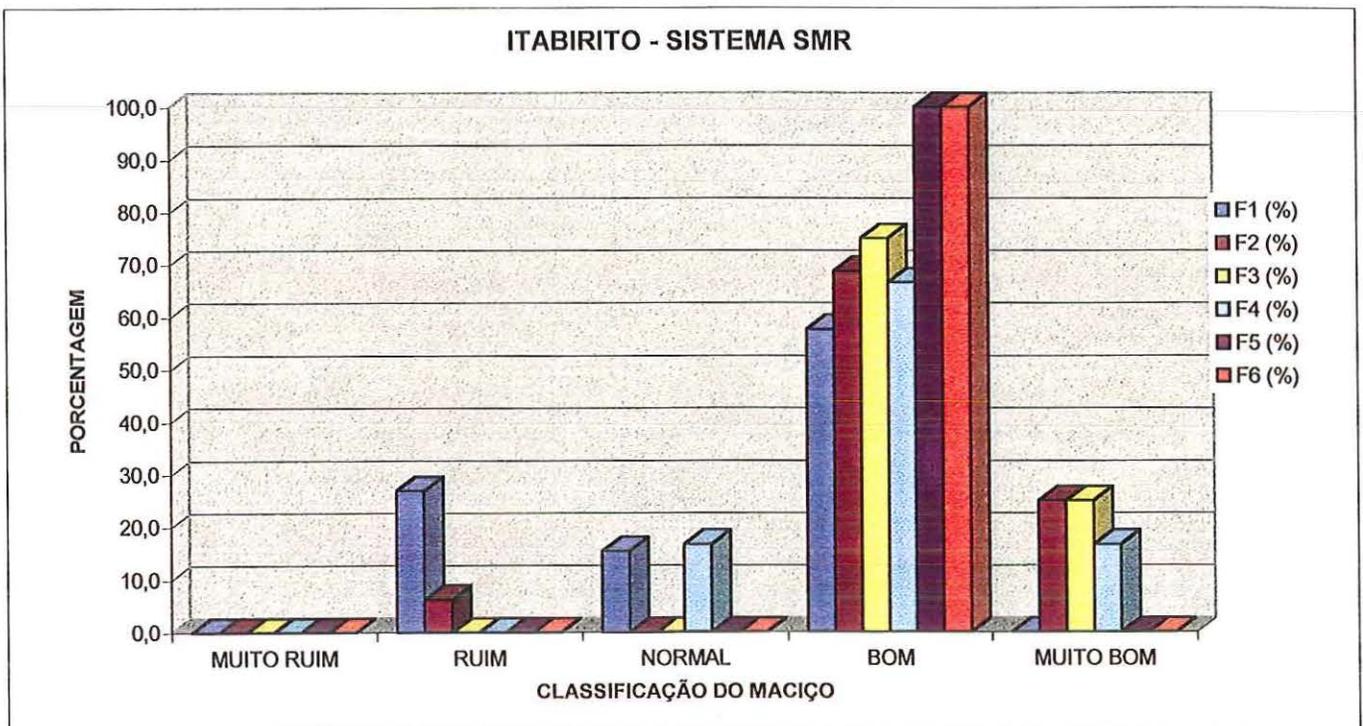
ITABIRITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
EXCEP. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO POBRE	23,1	31,3	18,8	16,7	100,0	100,0
POBRE	42,3	56,3	68,8	83,3	0,0	0,0
REGULAR	34,6	6,3	12,5	0,0	0,0	0,0
BOA	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXCEP. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	100	100



ITABIRITO - 26 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	0	0	0	0	0	0
RUIM	7	1	0	0	0	0
NORMAL	4	0	0	1	0	0
BOM	15	11	12	4	1	1
MUITO BOM	0	4	4	1	0	0
TOTAL	26	16	16	6	1	1



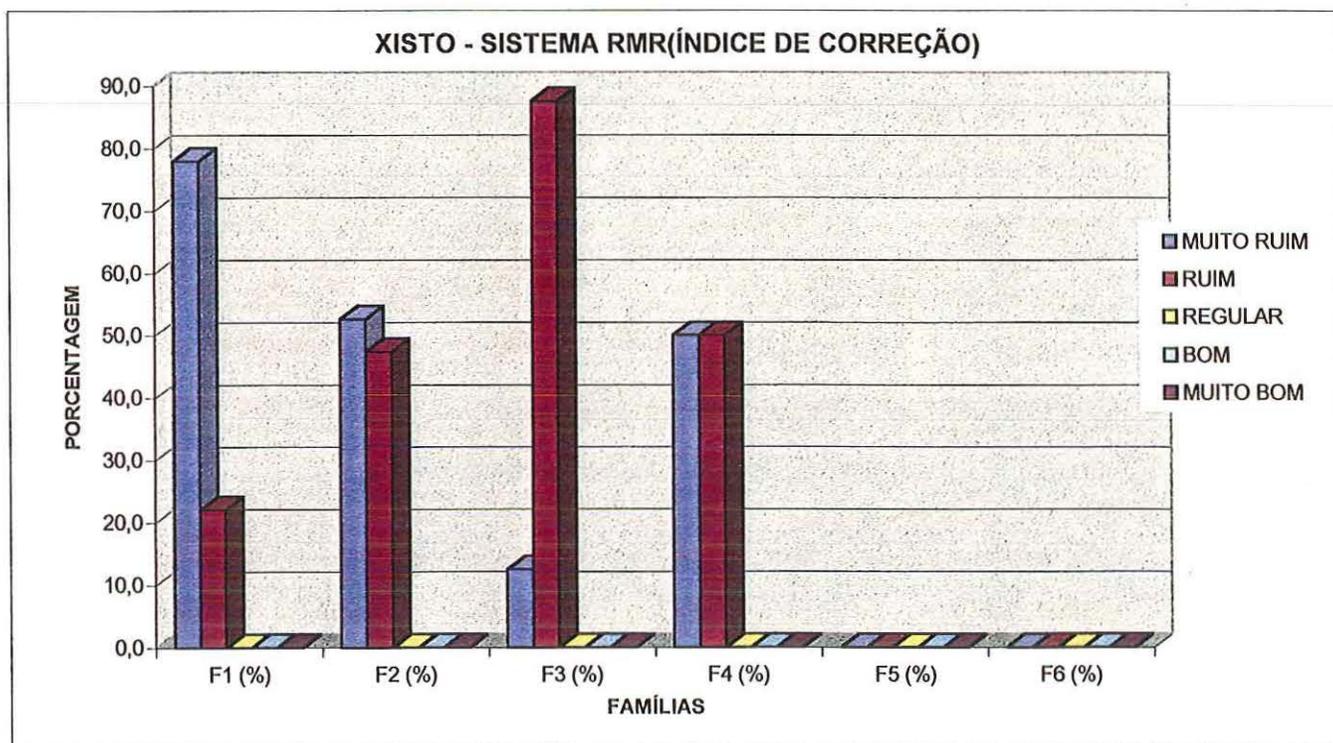
ITABIRITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	26,9	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
NORMAL	15,4	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0
BOM	57,7	68,8	75,0	66,7	100,0	100,0
MUITO BOM	0,0	25,0	25,0	16,7	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	100	100



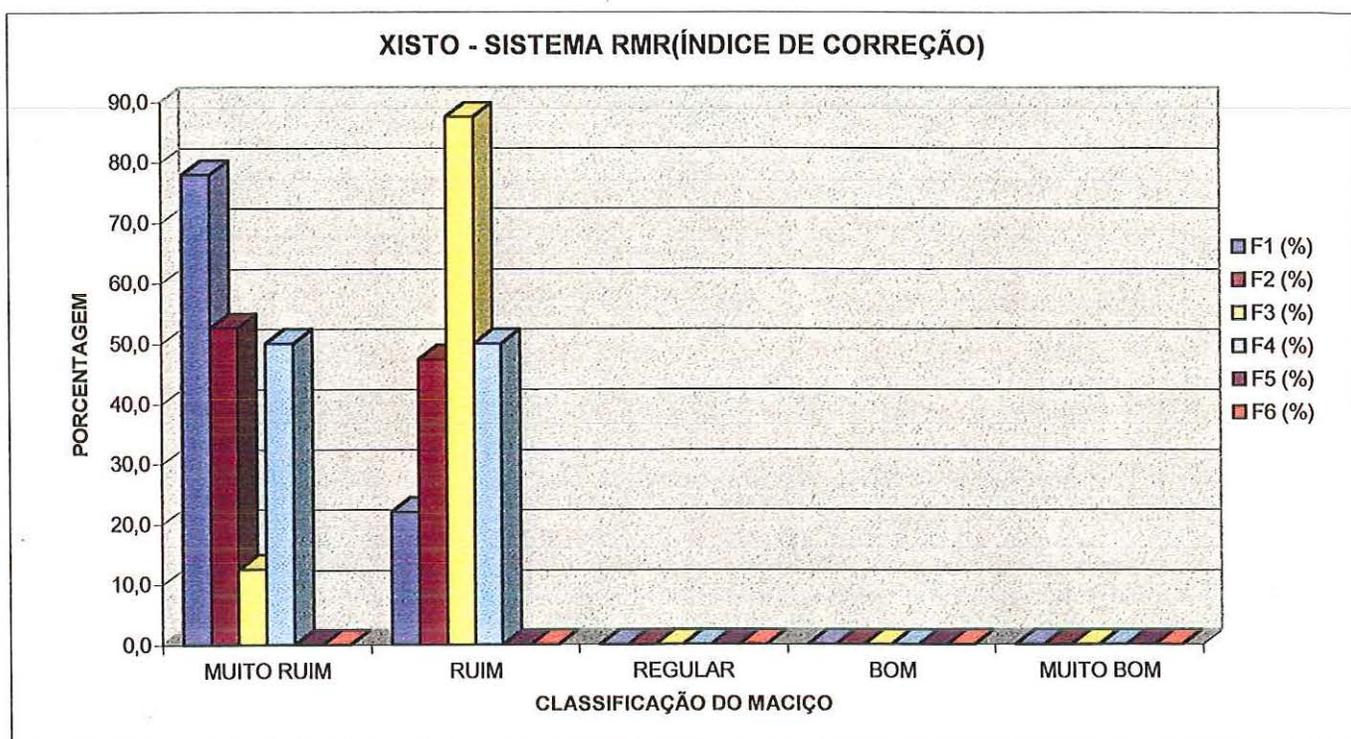
**APÊNDICE VII – TABELAS E GRÁFICOS COM OS
RESULTADOS DAS CLASSIFICAÇÕES
GEOMECÂNICAS (APÓS AS CORREÇÕES)**

XISTO

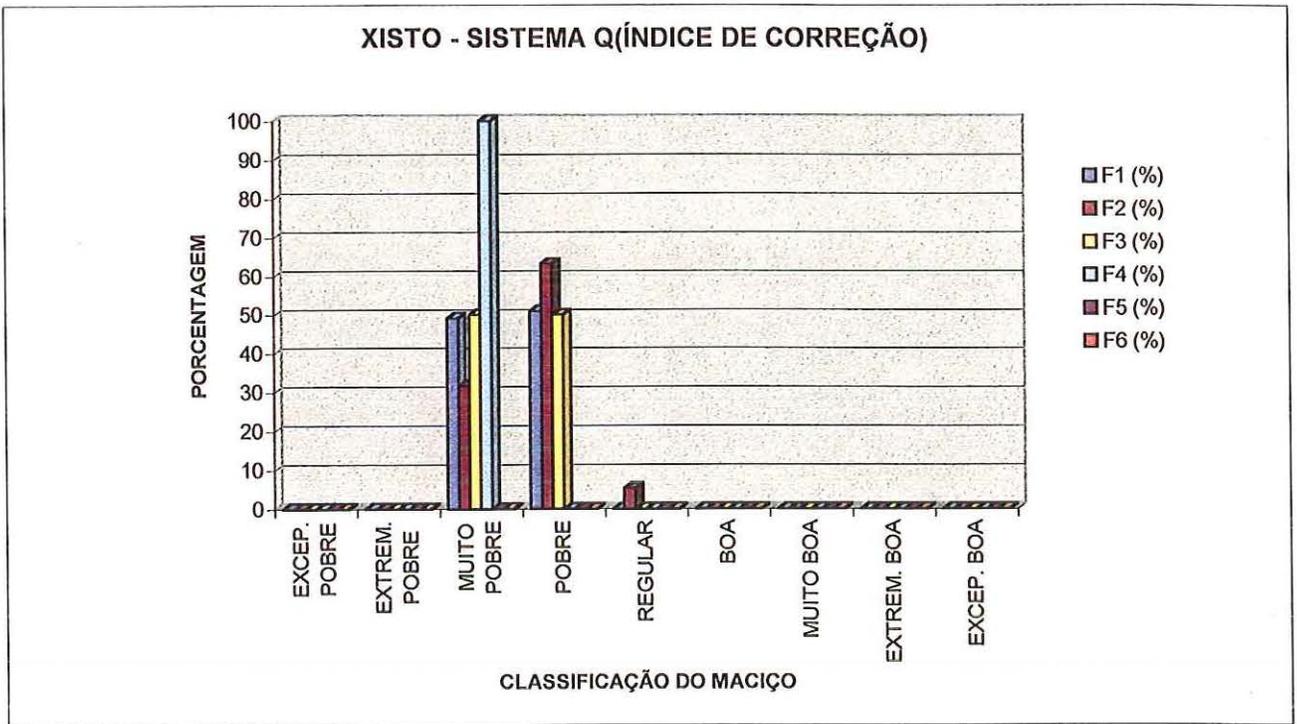
XISTO - 59 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	46	10	1	1	0	0
RUIM	13	9	7	1	0	0
REGULAR	0	0	0	0	0	0
BOM	0	0	0	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	59	19	8	2	0	0



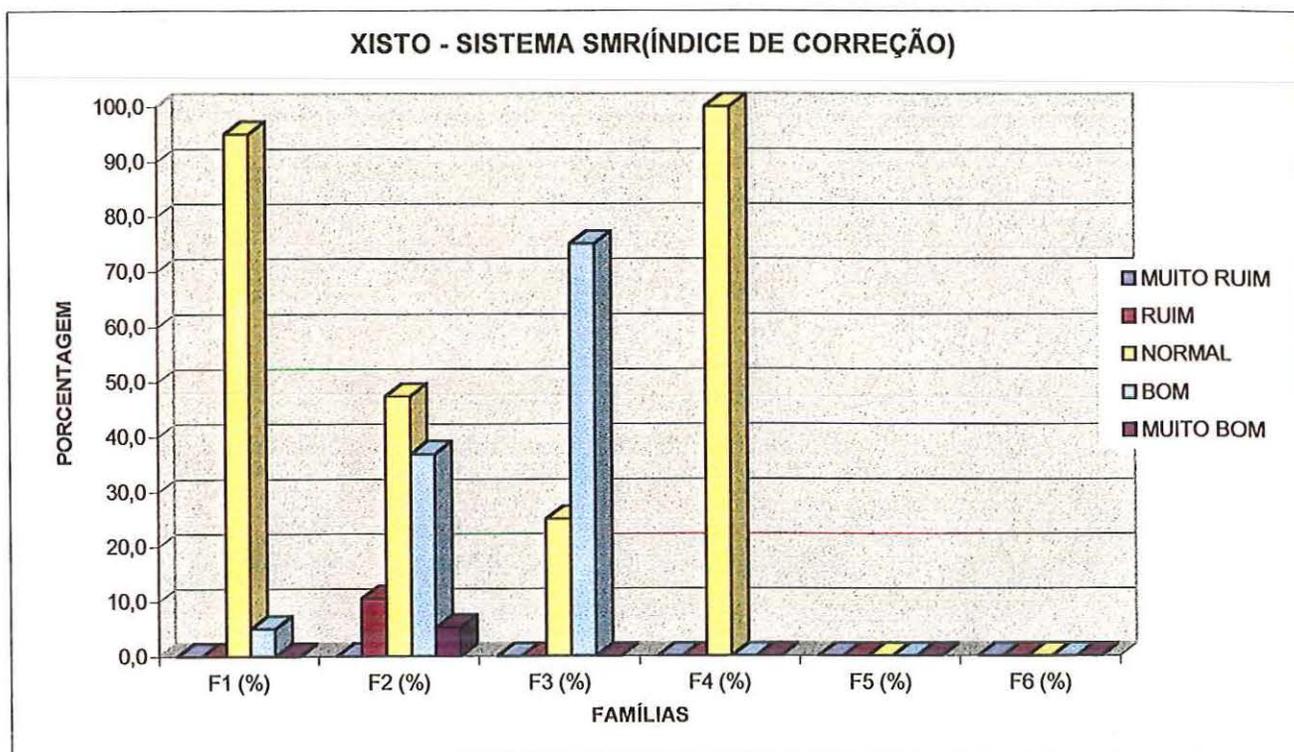
XISTO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	78,0	52,6	12,5	50,0	0,0	0,0
RUIM	22,0	47,4	87,5	50,0	0,0	0,0
REGULAR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



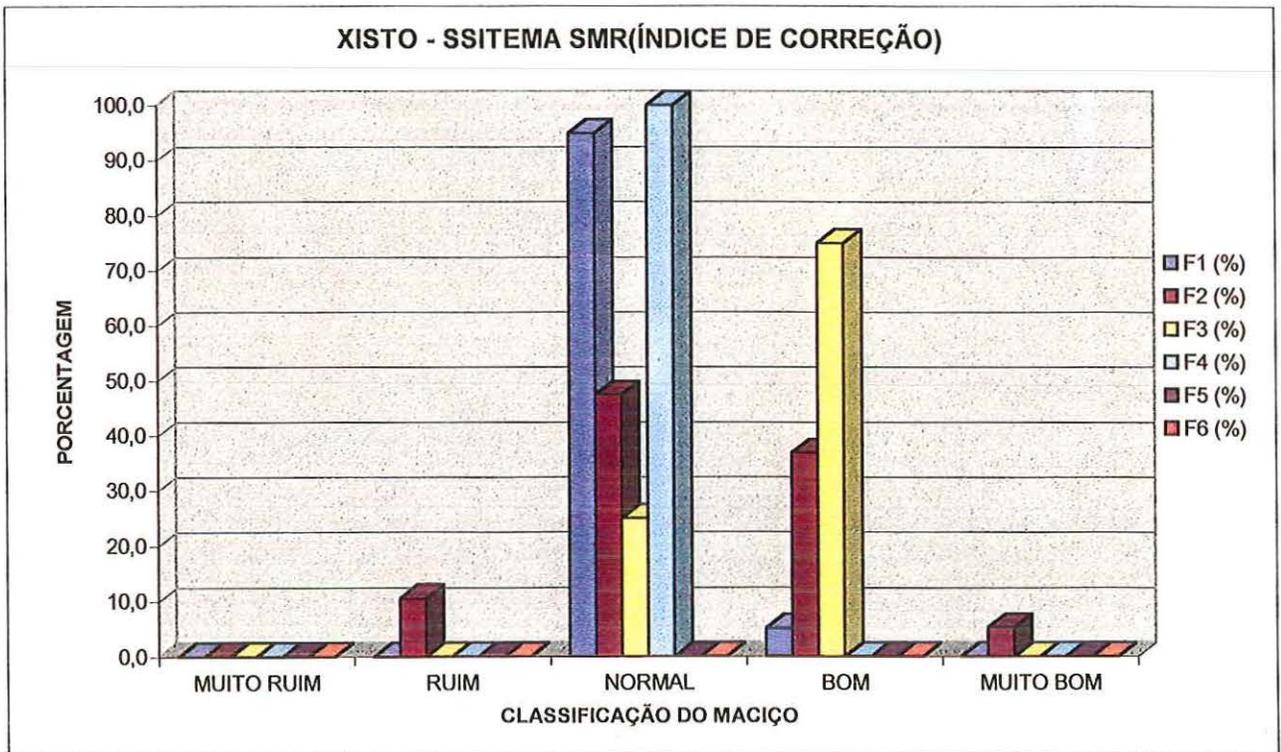
XISTO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
EXCEP. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO POBRE	49,2	31,6	50,0	100,0	0,0	0,0
POBRE	50,8	63,2	50,0	0,0	0,0	0,0
REGULAR	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXCEP. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



XISTO - 59 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	0	0	0	0	0	0
RUIM	0	2	0	0	0	0
NORMAL	56	9	2	2	0	0
BOM	3	7	6	0	0	0
MUITO BOM	0	1	0	0	0	0
TOTAL	59	19	8	2	0	0

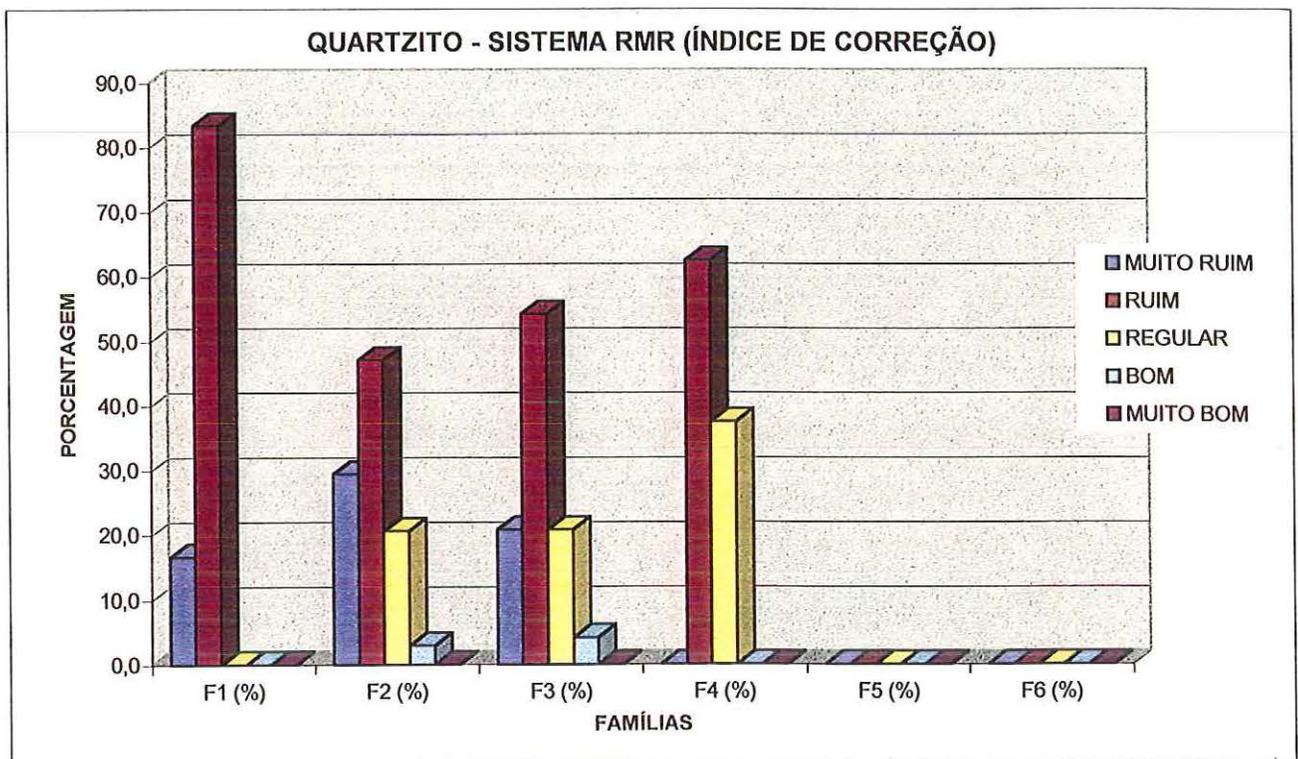


XISTO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	0,0	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0
NORMAL	94,9	47,4	25,0	100,0	0,0	0,0
BOM	5,1	36,8	75,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0

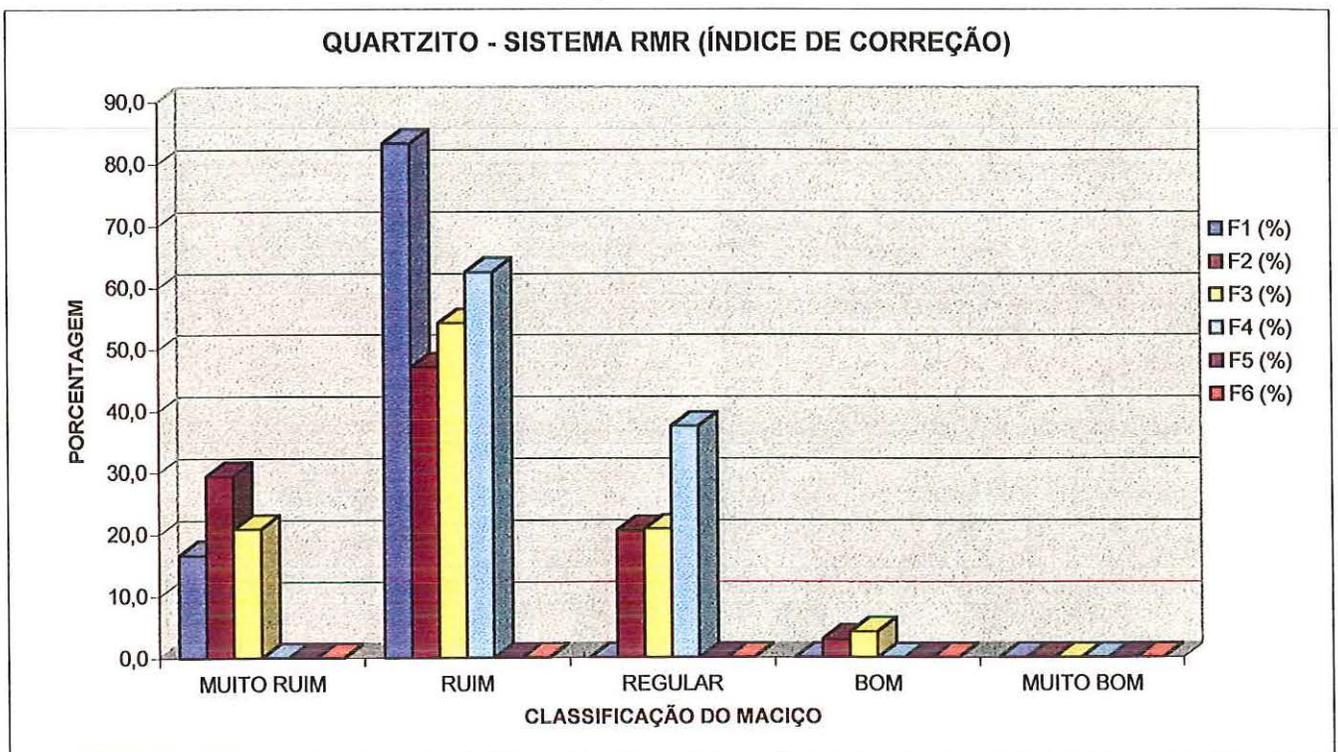


QUARTZITO SERICÍTICO

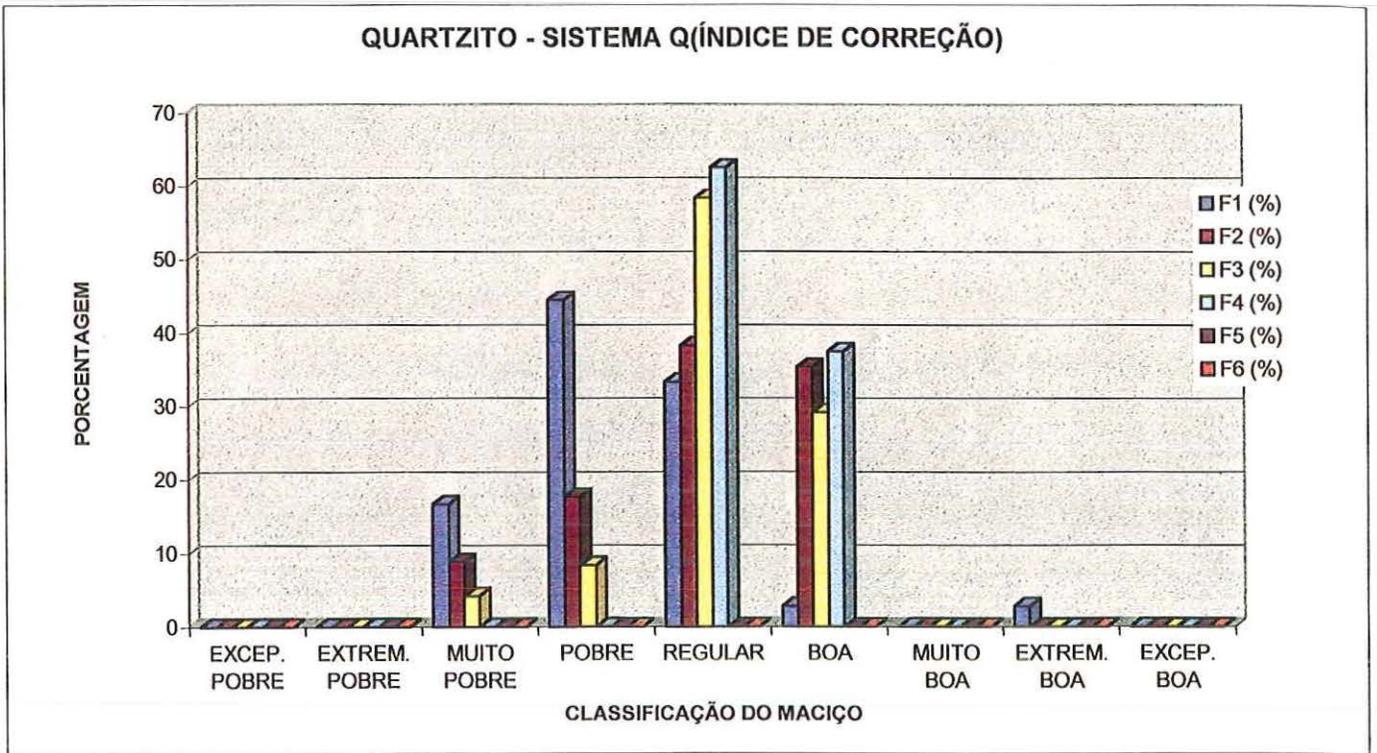
QUARTZITO - 36 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	6	10	5	0	0	0
RUIM	30	16	13	5	0	0
REGULAR	0	7	5	3	0	0
BOM	0	1	1	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	36	34	24	8	0	0



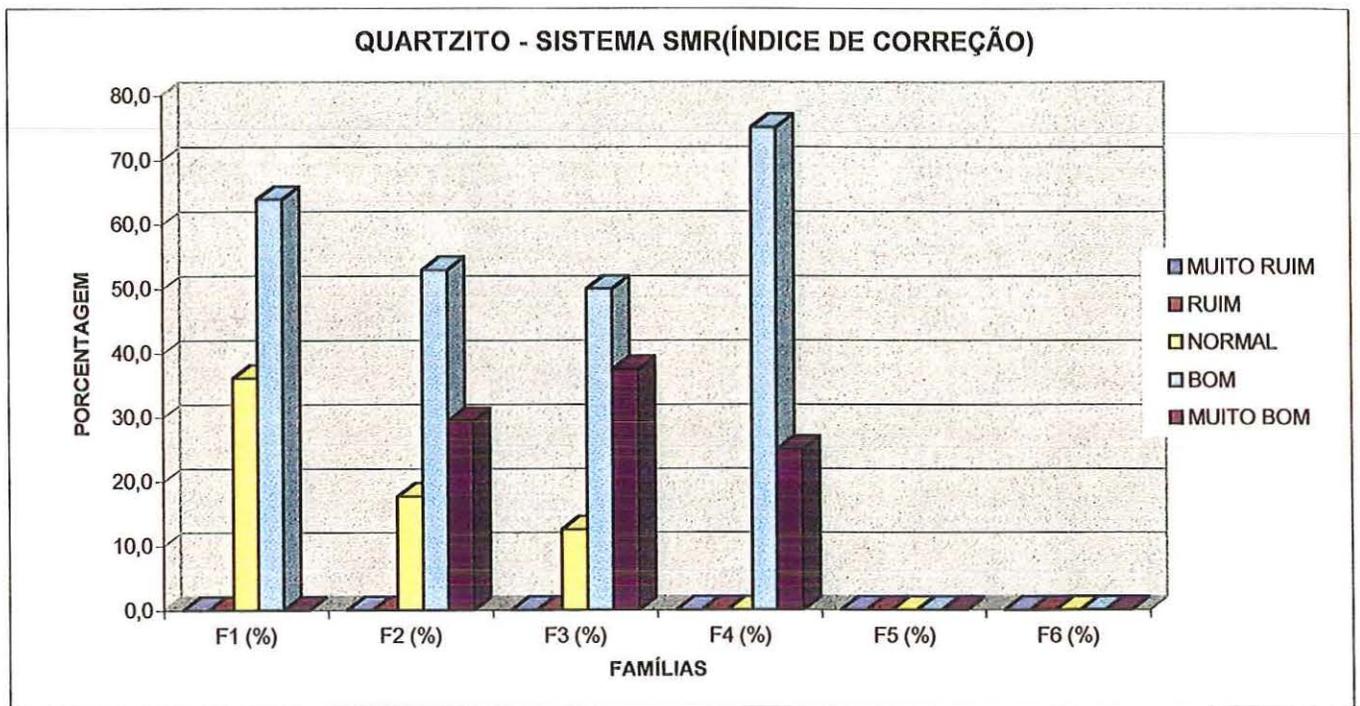
QUARTZITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	16,7	29,4	20,8	0,0	0,0	0,0
RUIM	83,3	47,1	54,2	62,5	0,0	0,0
REGULAR	0,0	20,6	20,8	37,5	0,0	0,0
BOM	0,0	2,9	4,2	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



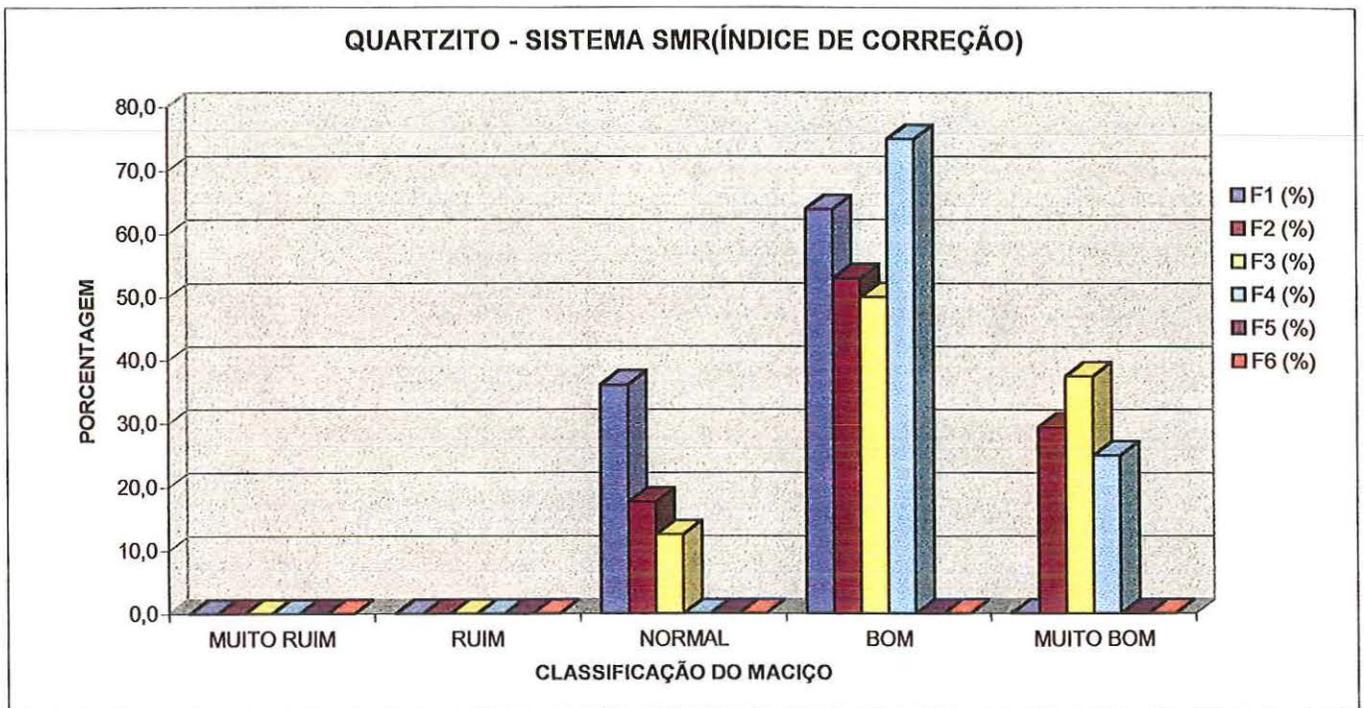
QUARTZITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
EXCEP. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO POBRE	16,7	8,8	4,2	0,0	0,0	0,0
POBRE	44,4	17,6	8,3	0,0	0,0	0,0
REGULAR	33,3	38,2	58,3	62,5	0,0	0,0
BOA	2,8	35,3	29,2	37,5	0,0	0,0
MUITO BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. BOA	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXCEP. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



QUARTZITO - 36 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	0	0	0	0	0	0
RUIM	0	0	0	0	0	0
NORMAL	13	6	3	0	0	0
BOM	23	18	12	6	0	0
MUITO BOM	0	10	9	2	0	0
TOTAL	36	34	24	8	0	0

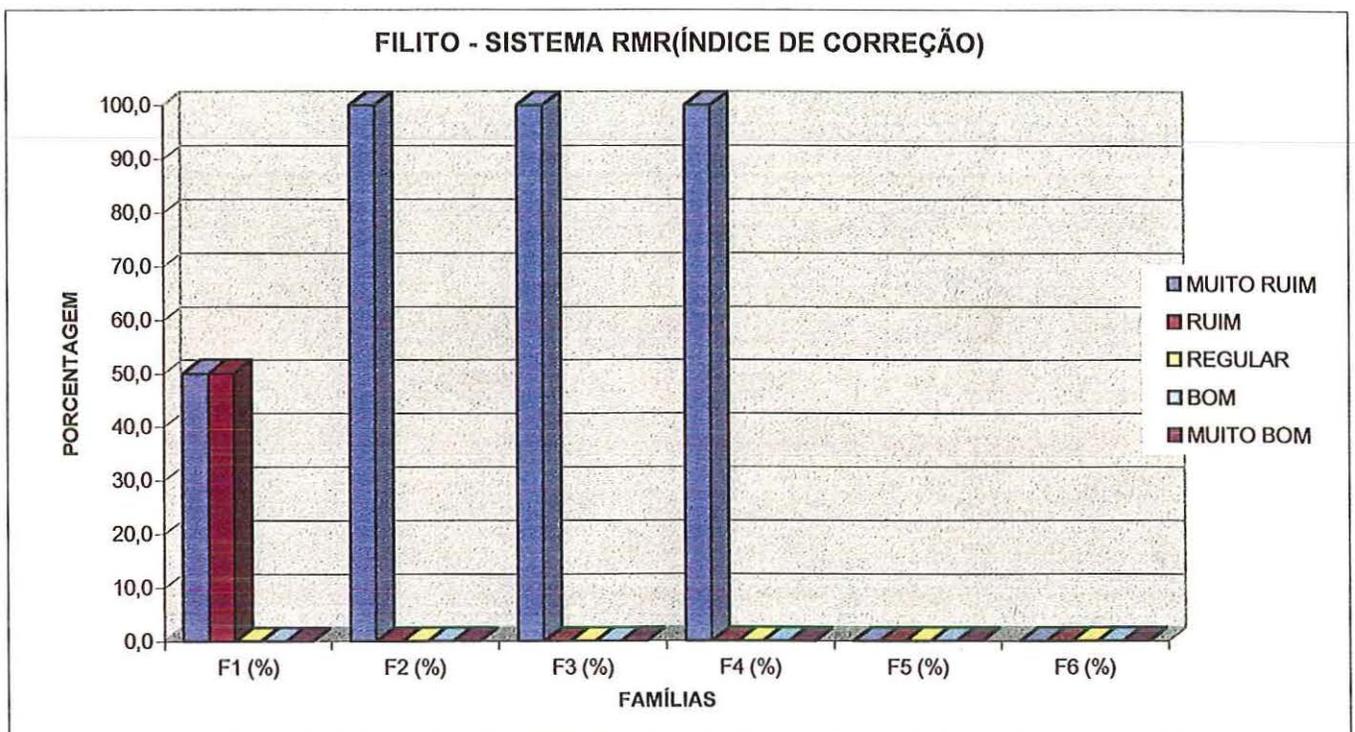


QUARTZITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NORMAL	36,1	17,6	12,5	0,0	0,0	0,0
BOM	63,9	52,9	50,0	75,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	29,4	37,5	25,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0

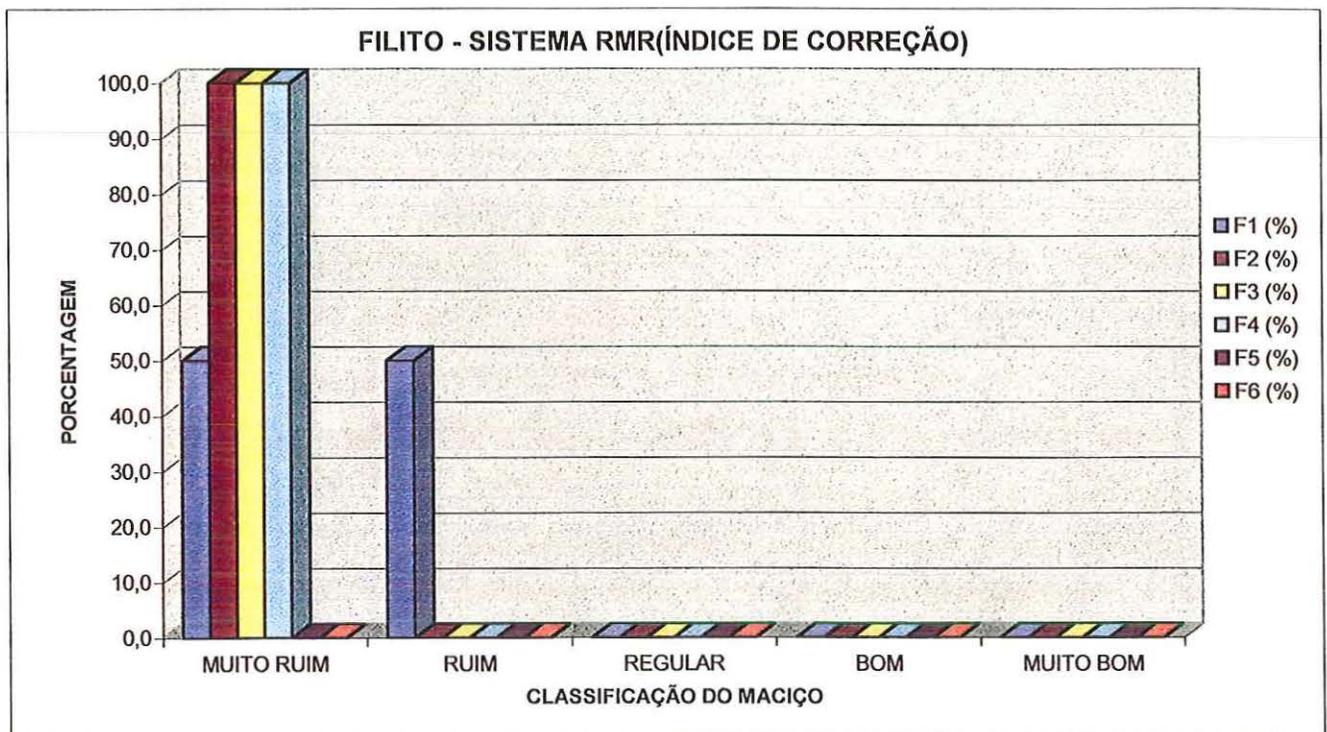


FILITO

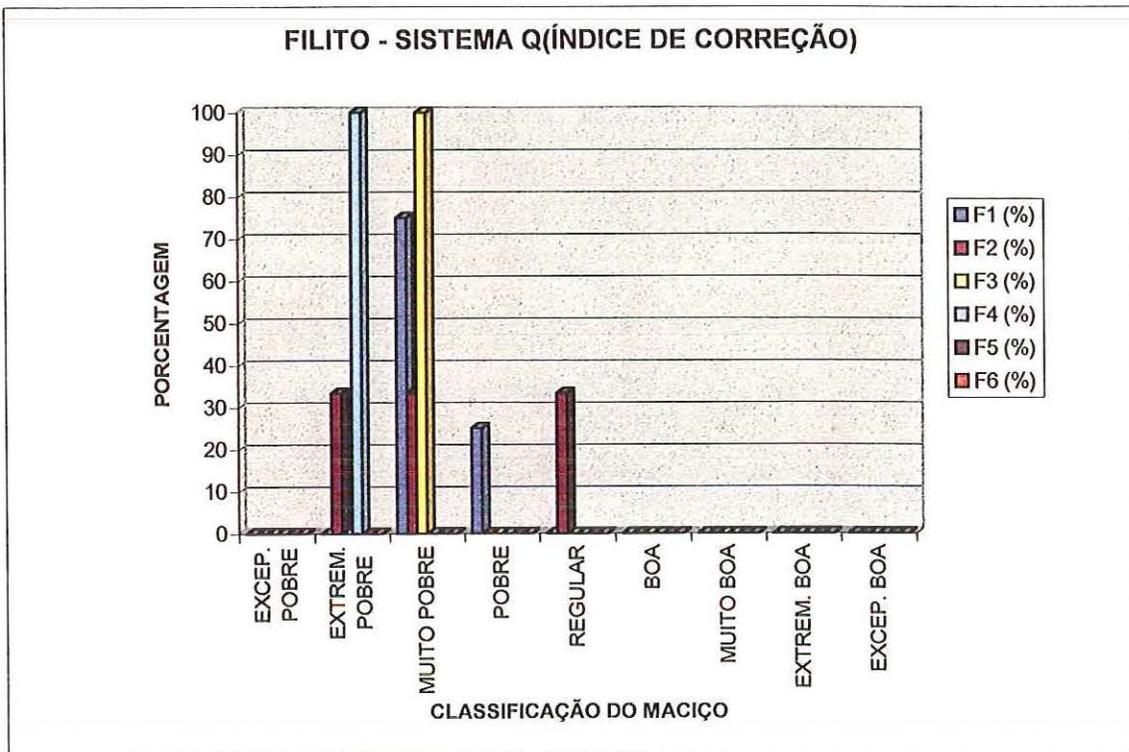
FILITO - 4 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	2	2	1	1	0	0
RUIM	2	0	0	0	0	0
REGULAR	0	0	0	0	0	0
BOM	0	0	0	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	4	2	1	1	0	0



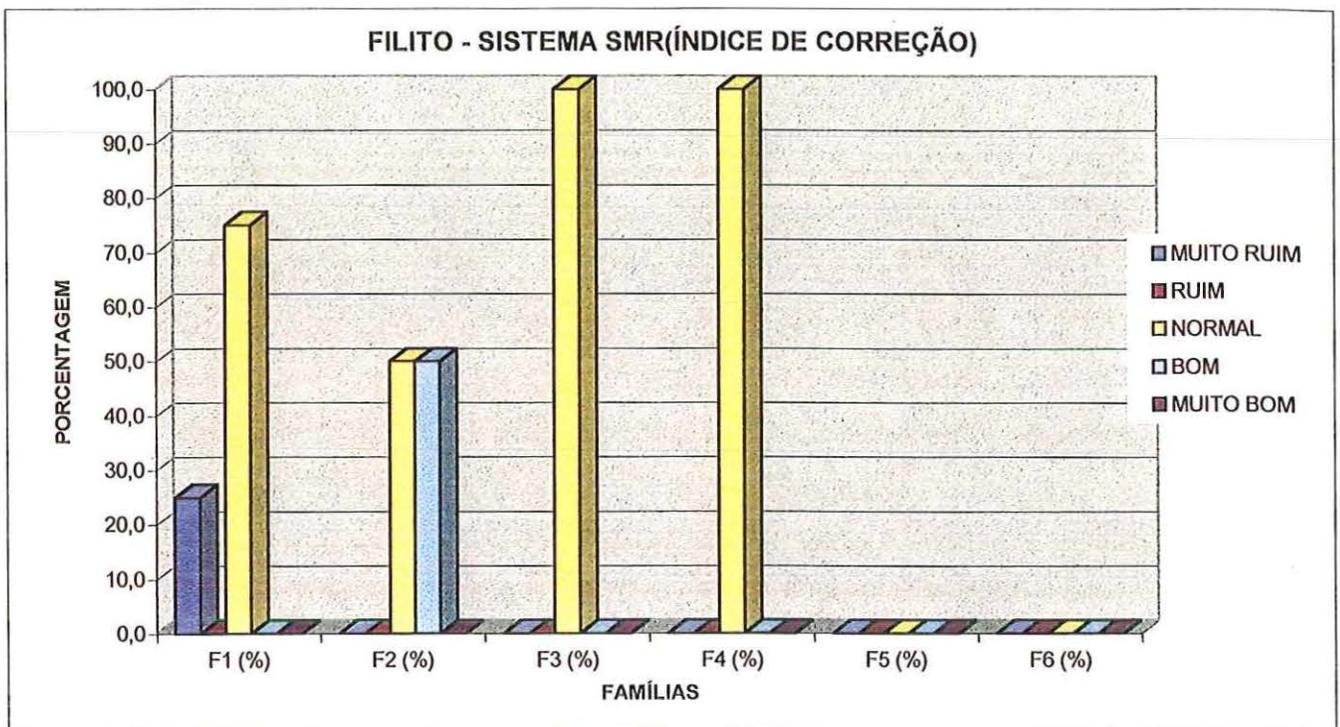
FILITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	50,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0
RUIM	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
REGULAR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



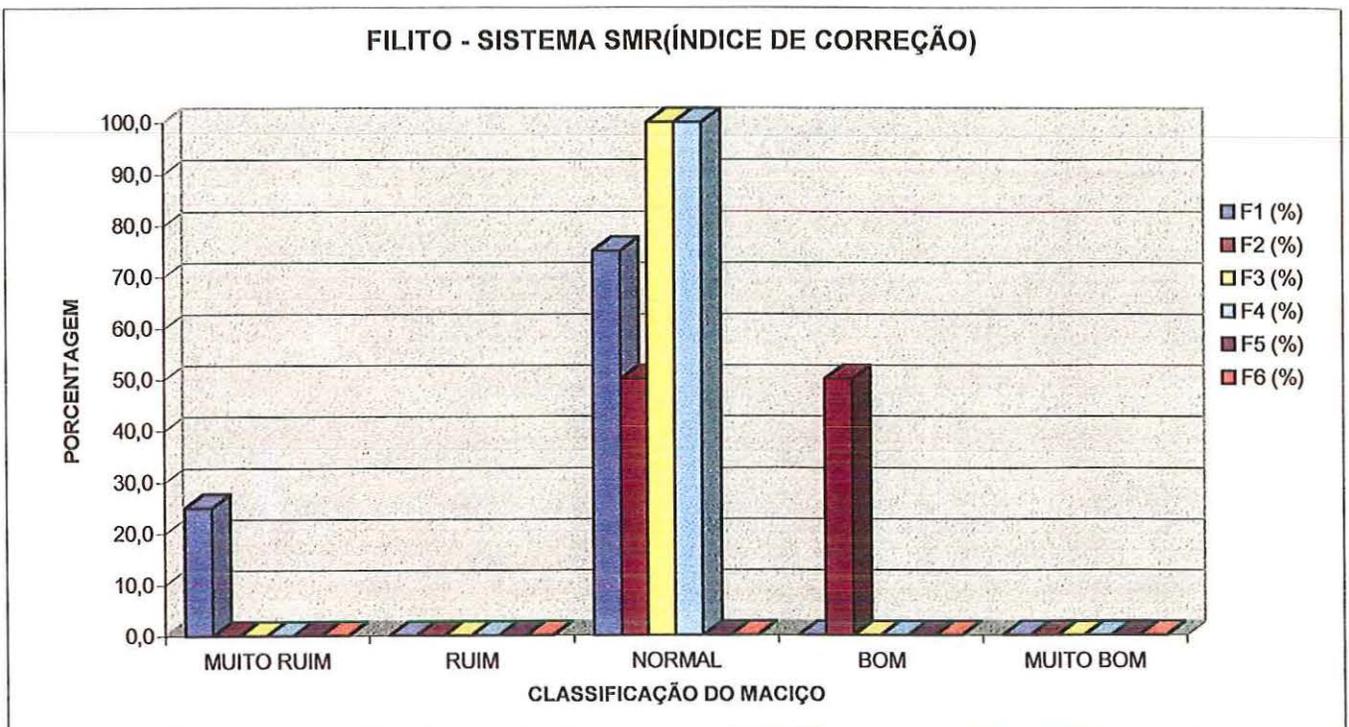
FILITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
EXCEP. POBRE	0	0	0	0	0	0
EXTREM. POBRE	0	33,3	0	100	0	0
MUITO POBRE	75,0	33,3	100,0	0,0	0,0	0,0
POBRE	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
REGULAR	0,0	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0
BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXCEP. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0



FILITO - 4 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	1	0	0	0	0	0
RUIM	0	0	0	0	0	0
NORMAL	3	1	1	1	0	0
BOM	0	1	0	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	4	2	1	1	0	0

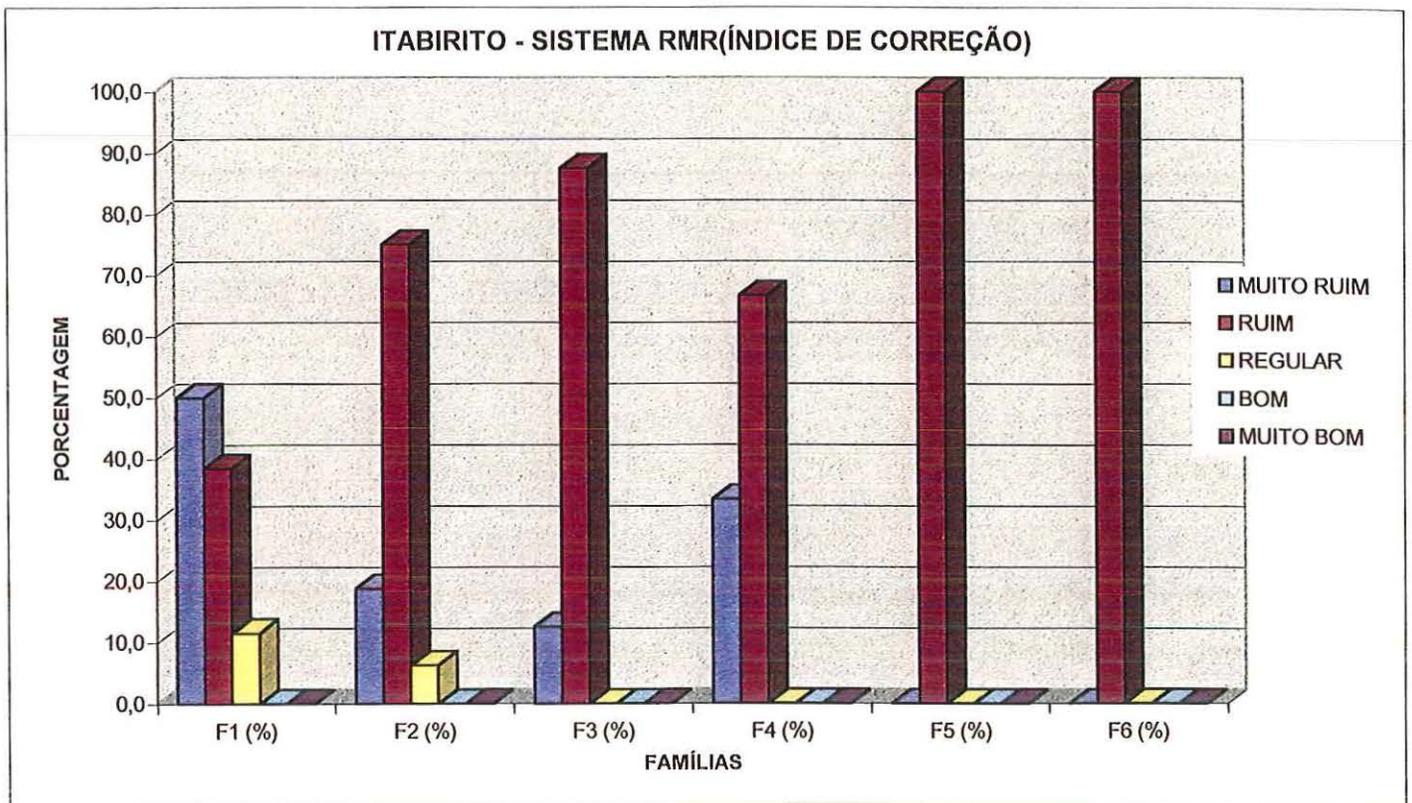


FILITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NORMAL	75,0	50,0	100,0	100,0	0,0	0,0
BOM	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	0	0

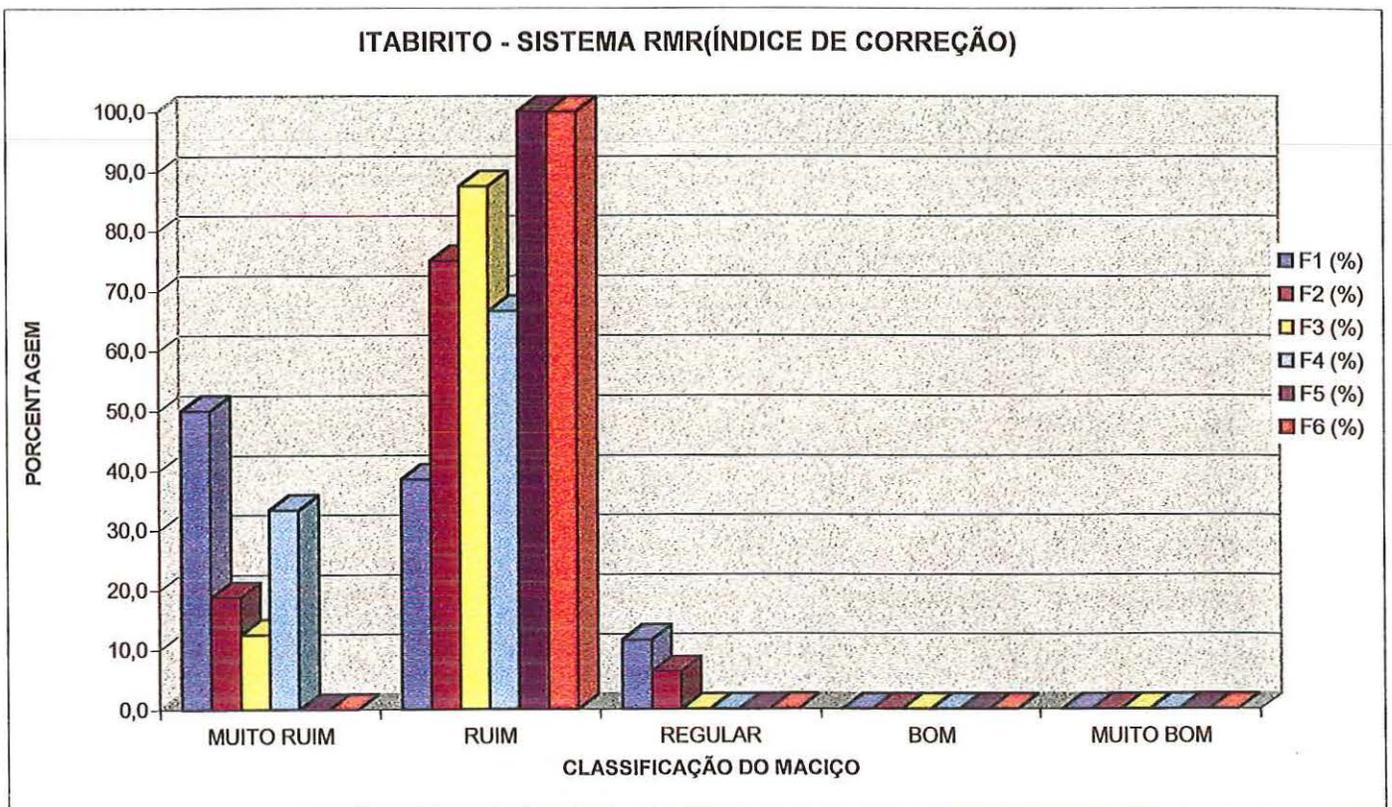


ITABIRITO

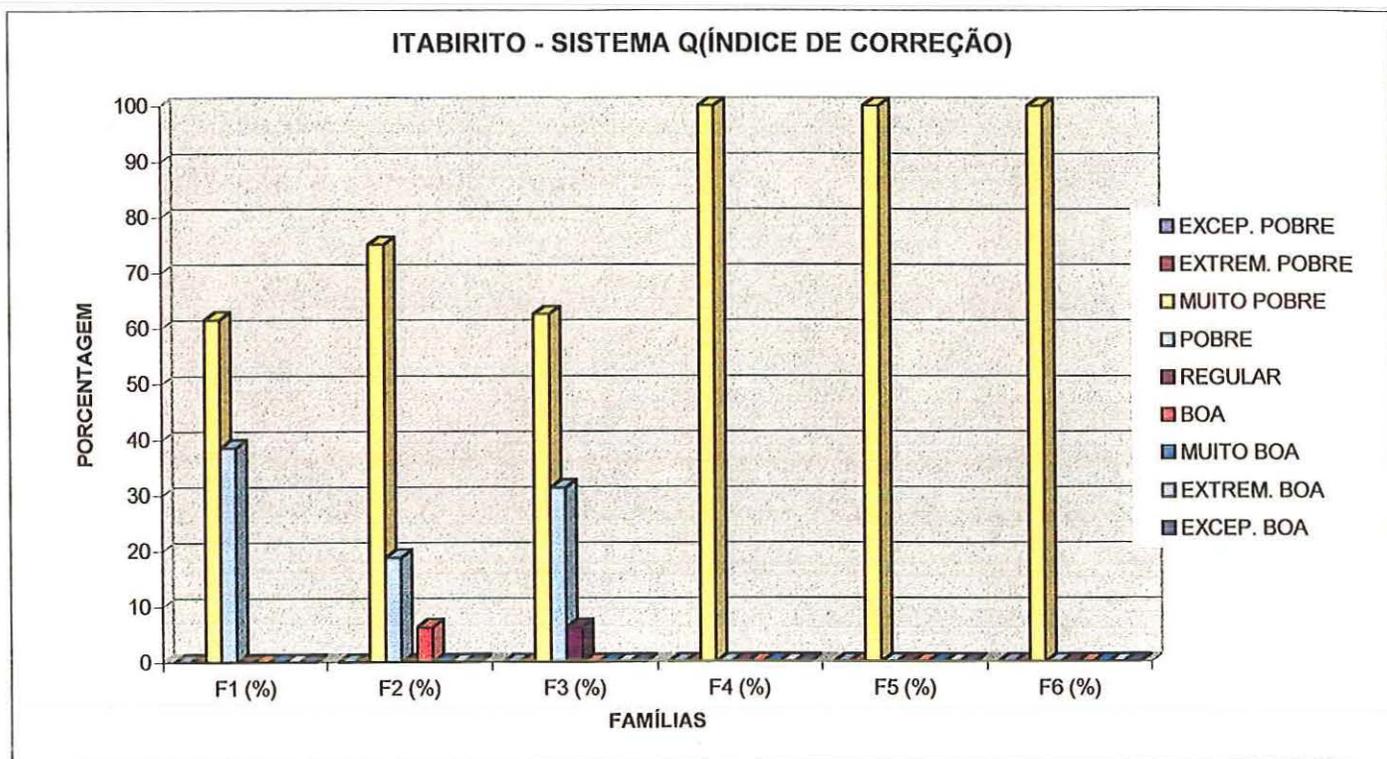
ITABIRITO - 26 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	13	3	2	2	0	0
RUIM	10	12	14	4	1	1
REGULAR	3	1	0	0	0	0
BOM	0	0	0	0	0	0
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	26	16	16	6	1	1



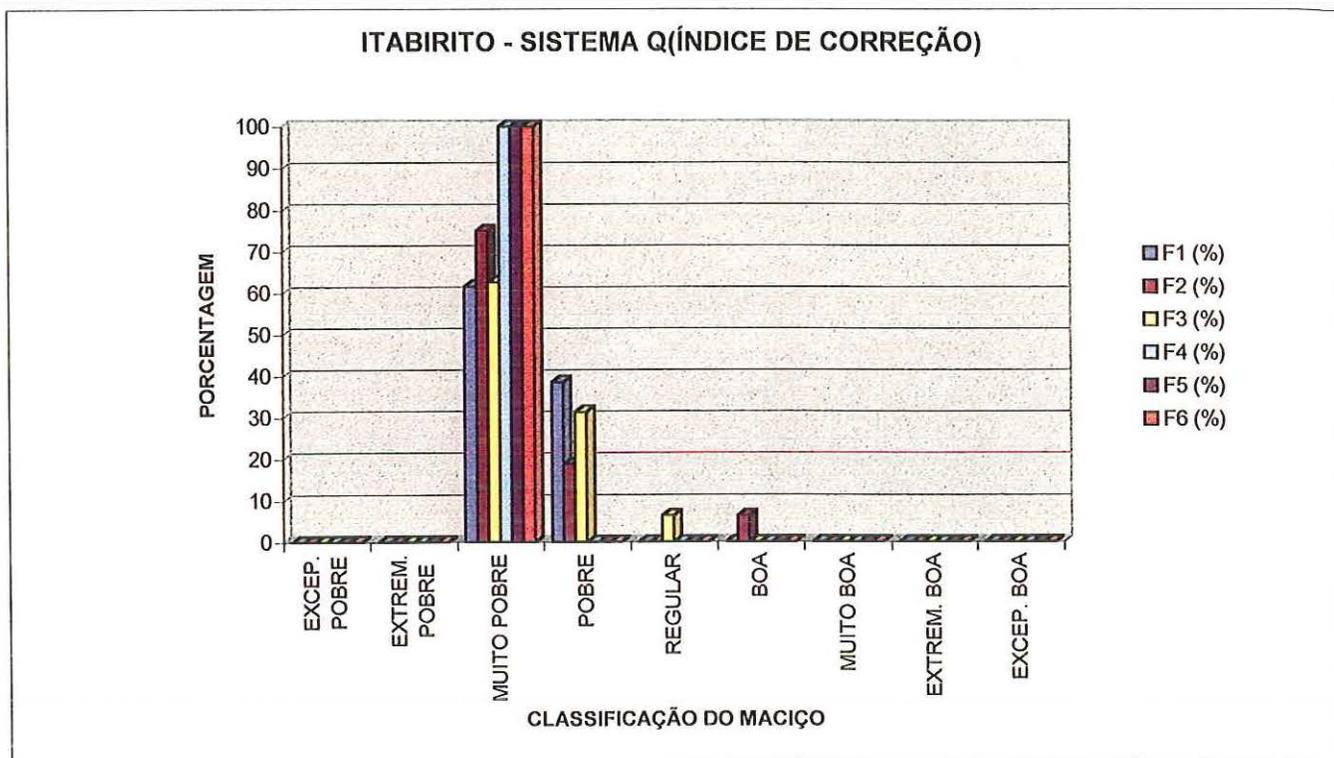
ITABIRITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	50,0	18,8	12,5	33,3	0,0	0,0
RUIM	38,5	75,0	87,5	66,7	100,0	100,0
REGULAR	11,5	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	100	100



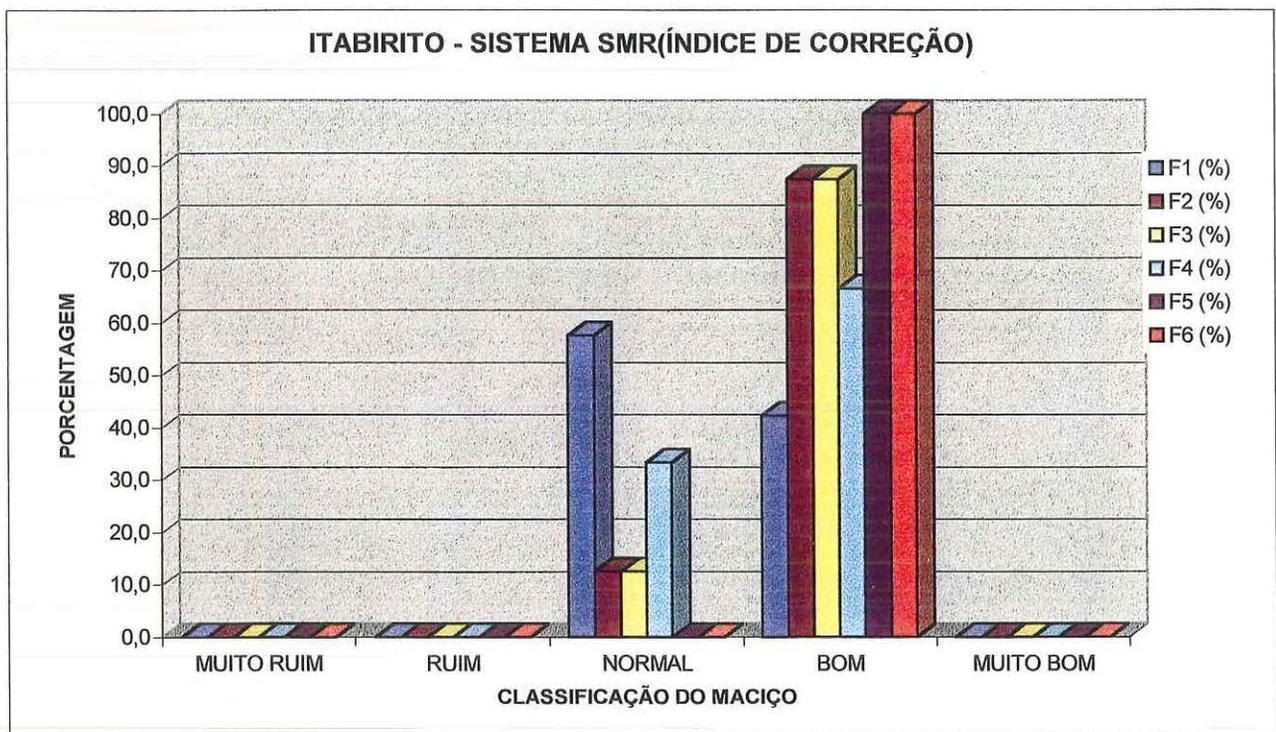
ITABIRITO - 26 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
EXCEP. POBRE	0	0	0	0	0	0
EXTREM. POBRE	0	0	0	0	0	0
MUITO POBRE	16	12	10	6	1	1
POBRE	10	3	5	0	0	0
REGULAR	0	0	1	0	0	0
BOA	0	1	0	0	0	0
MUITO BOA	0	0	0	0	0	0
EXTREM. BOA	0	0	0	0	0	0
EXCEP. BOA	0	0	0	0	0	0
TOTAL	26	16	16	6	1	1



ITABIRITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
EXCEP. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. POBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO POBRE	61,5	75,0	62,5	100,0	100,0	100,0
POBRE	38,5	18,8	31,3	0,0	0,0	0,0
REGULAR	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0
BOA	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
MUITO BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXTREM. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EXCEP. BOA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	100	100



ITABIRITO						
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)	F6 (%)
MUITO RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUIM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NORMAL	57,7	12,5	12,5	33,3	0,0	0,0
BOM	42,3	87,5	87,5	66,7	100,0	100,0
MUITO BOM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	100	100	100	100	100	100



ITABIRITO - 26 PONTOS						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MUITO RUIM	0	0	0	0	0	0
RUIM	0	0	0	0	0	0
NORMAL	15	2	2	2	0	0
BOM	11	14	14	4	1	1
MUITO BOM	0	0	0	0	0	0
TOTAL	26	16	16	6	1	1

