

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**“ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE MACIÇOS
ROCHOSOS: LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO E
CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE
DESCONTINUIDADES EM TALUDES”**

Daniela Garroux Gonçalves de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli

Co-Orientador: MSc. Paulo Roberto Costa Cella

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2000/7)

SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE MACIÇOS
ROCHOSOS: LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO E
CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE
DESCONTINUIDADES EM TALUDES**

DANIELA GARROUX GONÇALVES DE OLIVEIRA

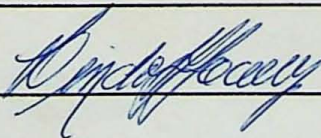
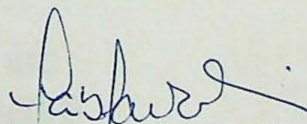
DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabio Taioli

Profa. Dra. Gianna Maria Garda

Prof. Dr. Lindolfo Soares



SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

***“ ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE MACIÇOS ROCHOSOS:
LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO E CARACTERIZAÇÃO DA
DISTRIBUIÇÃO DE DESCONTINUIDADES EM TALUDES”***

(TF/2000-07)

Daniela Garroux Gonçalves de Oliveira



Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli

Co-orientador: MSc. Paulo Roberto Costa Cella

DEDALUS - Acervo - IGC



30900006069

Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO

2000

048
DGG.e

DOAÇÃO Comissão
de Trabalho de Formatura
Data: 07.02/01

"Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Porque se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto.

É preciso, enfim, tendo em vista a realização de uma educação perfeita, desenvolver o espírito crítico na inteligência do jovem. Ora, a sobrecarga do espírito pelo sistema de notas entrava e necessariamente transforma a pesquisa em superficialidade e falta de cultura. O ensino deveria ser assim: quem o receba o recolha como um Dom inestimável, mas nunca como uma obrigação penosa."

(Albert Einstein – Como Vejo o Mundo)

AGRADECIMENTOS

Sendo esta a parte que mais me agrada em realizar, principalmente por me lembrar de todos que contribuíram para finalizar tão extenso trabalho, aproveito cada linha que me é oferecida a esta questão.

Primeiramente gostaria de agradecer a mim mesma, que sem tal pessoa este exato trabalho não seria realizado. Assim como minhas inspirações, tanto materiais quanto espirituais, ego-pensantes ou cosmo-pensadas, além, é claro, de toda e qualquer intuição que tenha atravessado meu caminho.

Gostaria de agradecer meus orientadores, Fábio Taioli e Paulo Cella, que sem eles estaria desorientada, assim como uma nau sem rumo. Não esqueço também de agradecer a todos meus professores que contribuíram de alguma forma, ou não, para meu trabalho. Agradeço, também, ao Eng. Nick Barton, pelas discussões sobre RQD.

Agradeço infinitamente a todos com quem trabalho e que me ajudaram muito no IPT, além dos estagiários com quem compartilhei grande parte de meus almoços. Dentre todos estes, em especial, Bruno Pierdona, Paulo Marcondes, Maria Lúcia Solera, Damaris R. Marins, Sergião, Ricardinho, Cláudio Goraieb, Lúcia Dozzi, Adalberto Azevedo, Wilson Iyomasa, Fábio Magalhães, Ailton Marambaia, Amarilis Gallardo, Renata Mazzetto, Affonso Novello, Alcides, Lauro Dehira, Valdir Dantas, Renato Prado, Aroldo Ribeiro da Silva e Luís Carlos Rusilo.

Agradeço especialmente ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, que ofereceu a oportunidade deste e de muitos outros trabalhos, sem contar com o estágio realizado que contribuiu imensamente para minha formação profissional, além dos almoços maravilhosos.

Agradeço a todos responsáveis pelas pedreiras que visitei, por toda atenção dispensada nos trabalhos de campo. Assim como as pedreiras em si, que sem a existência destas, tão grandes exposições rochosas seriam tão custosas de se encontrar nesta região.

Agradeço imensamente aos meus amigos, principalmente a Annamaria R. da Fonseca, pelo apoio, Carolina Michelin de Almeida e Ana Paula Pelosi, pela imensa contribuição nos levantamentos realizados, Helder Fouto, pelo tratamento *anti-stress* e Antônio Manoel dos Santos Oliveira, pelas inspirações elevadas. Agradeço, também, os estímulos de nosso grupo de estudo.

Agradeço a minha família, pelo carinho e compreensão em todos os momentos.

Agradeço, em último, porém de imensa importância, à Grande Energia que compõe o Universo, que está em tudo e toda parte e que alguns chamam de Deus.

RESUMO

Dentre as etapas de caracterização de um maciço rochoso está a descrição de descontinuidades em exposições rochosas, como taludes de pedreiras, rodovias e ferrovias, que é um método de investigação de baixo custo e simplicidade de execução.

Para tal, uma alternativa é a realização de levantamentos geológico-geotécnicos em linhas de medida (*scanlines*), que auxilia na observação das feições presentes.

Nesta técnica, são descritos alguns dos principais parâmetros utilizados para classificação do maciço rochoso, sendo que dentre estes a distribuição de descontinuidades é considerada um dos mais importantes, podendo ser descrito pelo parâmetro RQD (*Rock Quality Designation*).

O RQD, definido inicialmente para ser avaliado em testemunhos de sondagens, também pode ser obtido em linhas de medida, tanto de forma teórica como empírica, a partir de algumas relações com a densidade de fraturamento. Os valores resultantes contribuem na definição da qualidade do maciço rochoso.

O trabalho realizado aplica a sistemática de levantamento desta natureza, utilizando taludes em pedreiras localizadas no Estado de São Paulo. Ao todo foram estudadas sete pedreiras, em um total de quatro litotipos distintos, sendo estes: granito, xisto, calcário e diabásio.

Nestes levantamentos, caracterizou-se quantitativamente os maciços estudados através do tratamento estatístico dos parâmetros descritos, enfatizando a distribuição das descontinuidades a partir da análise dos valores de RQD's obtidos conforme três relações distintas, sendo uma a distribuição exponencial negativa, outra logarítmica-normal e outra a distribuição uniforme.

A avaliação dos valores de espaçamento que descrevem a distribuição das descontinuidades, foi auxiliada por testes estatísticos de aderência.

Verificou-se que para na maioria dos casos, a distribuição que melhor se encaixa é a log-normal, além do fato de que o desvio padrão contribui para uma melhor descrição da distribuição das descontinuidades no maciço. Para uma rocha muito fraturada, por exemplo, um desvio padrão alto ocasionará maior RQD médio que no caso de um desvio padrão baixo, e vice-versa.

De um modo geral, a prática deste tipo de levantamento mostrou-se eficiente para caracterização de um maciço, apresentando pequenas dificuldades, essencialmente se o maciço encontrar-se alterado tanto pelo intemperismo como pelo desmonte.

ABSTRACT

Among all of the rock mass characterization possibilities the discontinuity description in rock exposures, as stone pits, road and railroad slopes, has the advantage to be an easy and economical investigation method.

The best way to do this is to carry out a geological-geotechnical survey scanline, making a description of the features present.

This technique describes some of the principal parameters used to rock mass classification, and the discontinuity distribution can be considered one of the most important. It can be described using the RQD parameter (Rock Quality Designation).

The RQD, defined initially for the core samples, can also be used in scanline surveys, in a theoretical or empirical form, through some relationship with the discontinuity density. The resulting values contribute to the rock mass quality definition.

This work applied the scanline description technique in several pit slopes located in different areas in São Paulo State. Seven pits were investigated, with four different lithological types: granite, schist, limestone and diabase.

The massifs were quantitatively characterized through a statistical analysis of the described parameters. The patterns of discontinuity distributions were characterized through a negative exponential, a log-normal and a uniform distribution with the RQD values.

The spacing evaluation, which describes the discontinuity distribution, was supported by adherence statistical tests.

The log-normal distribution fits better in most of the cases, and its standard deviation contributes to a better description of the discontinuity distribution of the rock mass.

For an intensely fractured rock, a high standard deviation will lead to a high RQD medium value; on the other hand a low standard deviation will lead to a low RQD medium value.

The scanline technique has shown a good efficiency in massif characterization, with little difficulties, when the massif is disturbed by weathering or blasting.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1.Considerações Iniciais.....	1
1.2.Objetivos.....	2
1.3.Justificativa.....	2
1.4.Trabalhos Prévios.....	3
 2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	 10
2.1.Localização das Pedreiras Amostradas	10
2.2.Síntese Geológica Regional.....	12
2.2.1. Geologia Regional.....	12
2.2.2. Maciço Cantareira.....	15
2.2.3. Grupo São Roque.....	16
2.2.4. Formação Irati.....	16
2.2.5. Formação Serra Geral.....	17
2.3.Método para levantamentos de linhas de medida (<i>scanlines</i>)	17
 3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	 18
 4. RESULTADOS OBTIDOS.....	 21
 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	 32
5.1. Sistemas de juntas e descontinuidades descritas nas pedreiras..	32
5.2. Parâmetros geológico-geotécnicos das descontinuidades	38
5.3. Cálculos de ROD's	40
 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 44
 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de distribuições teóricas de espaçamento de descontinuidades	6
Figura 2 – Mapa geológico simplificado e de localização das pedreiras amostradas	11
Figura 3 – Coluna estratigráfica simplificada das unidades geológicas do Estado de São Paulo	13
Figura 4 – Mapa de distribuição geral das unidades litoestratigráficas do Estado de São Paulo	14
Figura 5 – Estereograma da Pedreira Madeirense – Granito	34
Figura 6 – Estereograma da Pedreira Itaberaba – Granito	34
Figura 7 – Estereograma da Pedreira Construcap – Granito	35
Figura 8 – Estereograma da Pedreira Embu – Granito	35
Figura 9 – Estereograma da Pedreira Itacema – Granito	36
Figura 10 – Estereograma da Pedreira Itacema – Xisto	36
Figura 11 – Estereograma da Pedreira Cruzeiro – Calcário	37
Figura 12 – Estereograma da Pedreira Cavinato – Diabásio	37
Figura 13 - Comparação da expectativa do RQD das distribuições log- normal, exponencial negativa e uniforme, em função da quantidade média de fraturas	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do Levantamento Sistemático e Atitudes das Famílias de Descontinuidades Presentes	23
Tabela 2 - Parâmetros Geológico-Geotécnicos Representativos das Famílias Presentes	24
Tabela 3 - Zona de Fraturamento Concentrado no Granito - Parâmetros Geológico-Geotécnicos Representativos 1	25
Tabela 4 - Zona de Fraturamento Concentrado no Granito- Parâmetros Geológico-Geotécnicos Representativos 2	25
Tabela 5 - Dados Geológico-Geotécnicos Relevantes das Principais Famílias de Falhas e Planos Estriados no Granito	26
Tabela 6 – Testes Estatísticos de Aderência	26
Tabela 7 - Valores de RQD para Pedreira Construcap - Granito	27
Tabela 8 - Valores de RQD para Pedreira Embu - Granito	27
Tabela 9 - Valores de RQD para Pedreira Itaberaba - Granito	28
Tabela 10 - Valores de RQD para Pedreira Madeirense - Granito	28
Tabela 11 - Valores de RQD para Pedreira Itacema - Granito	28
Tabela 12 - Valores de RQD para Pedreira Itacema - Xisto	29
Tabela 13 - Valores de RQD para Pedreira Cruzeiro - Calcário	29
Tabela 14 - Valores de RQD para Pedreira Cavinato - Diabásio	29
Tabela 15 – RQD de trechos para Pedreira Embu – Granito	30
Tabela 16 – RQD de trechos para Pedreira Construcap – Granito	31
Tabela 17 – RQD de trechos para Pedreira Cruzeiro – Calcário	31
Tabela 18 – RQD de trechos para Pedreira Cavinato – Diabásio	32

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 – Pedreira Construcap – Granito – vista panorâmica

Foto 2 – Trecho de fraturamento concentrado 1 – Pedreira Construcap – Granito

Foto 3 – Trecho de fraturamento concentrado 2 – Pedreira Construcap – Granito

Foto 4 – Detalhe de plano sub-vertical, bastante persistente, cortando vários taludes – Pedreira Construcap – Granito

Foto 5 – Vista geral de um talude na Pedreira Embu – Granito

Foto 6 – Detalhe do sistema de juntas na Pedreira Embu – Granito

Foto 7 – Detalhe de sistema de juntas, apresentando percolação d'água – Pedreira Embu – Granito

Foto 8 – Detalhe no centro da foto de zona de fraturamento concentrado – Pedreira Embu – Granito

Foto 9 – Vista geral do talude maior da Pedreira Itacema. Notar descontinuidades bastante persistentes e com percolação d'água-Granito

Foto 10 – Contato xisto-granito, estando a lente de xisto na parte inferior da foto – Pedreira Itacema

Foto 11 – Detalhe do contato xisto– Granito – Pedreira Itacema

Foto 12 – Exemplo de levantamento de linha vertical – Pedreira Itacema – Xisto

Foto 13 – Vista geral da Pedreira Cavinato – Diabásio. Notar fraturamento vertical menos espaçado e horizontal bastante espaçado

Foto 14 – Detalhe do talude na Pedreira Cavinato – Diabásio

Foto 15 – Colocação de trena em linha de varredura na Pedreira Cavinato – Diabásio

Foto 16 – Detalhe do sistema de juntas na Pedreira Cavinato - Diabásio

ANEXOS

Anexo A – Histogramas dos principais parâmetros classificatórios das descontinuidades

Anexo B – Histogramas com valores de RQD's obtidos para cada pedreira

Anexo C – Tabelas com parâmetros descritos para aplicação em classificações geomecânicas

Anexo D – Exemplo de tabela de anotação de dados no campo

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A apropriada caracterização de um maciço rochoso, principalmente em relação às descontinuidades presentes, constitui um passo essencial para a definição dos problemas de sua estabilidade, assim como de outras propriedades intrínsecas da rocha fraturada. Esta importância já é percebida há tempos pelos profissionais da área, o que levou ao desenvolvimento de diversas técnicas de investigação.

No Brasil, há uma tendência dessas investigações se concentrarem apenas na realização de sondagens rotativas, o que possui um caráter extremamente pontual, principalmente em obras lineares, representando, por exemplo, o volume irrisório de 0,000001% do volume total de escavação de um túnel, Franciss & Rocha (1998).

Uma das possibilidades para se remediar este problema é a descrição das descontinuidades em exposições rochosas, tais como taludes de rodovias, ferrovias e pedreiras. Ressalta-se, ainda, que esta técnica, devido ao seu baixo custo e simplicidade, apresenta-se como alternativa vantajosa, enquanto sondagens rotativas não são realizadas, ou como complemento às informações obtidas através destas.

A utilização desta técnica de investigação pode ser feita por meio de levantamentos em linhas de medida, citadas por Priest (1993) como *scanlines*. A realização deste levantamento é um método no qual a grande exposição rochosa permite uma boa avaliação das características presentes no maciço rochoso. Este tipo de técnica, se realizada nos arredores da área de construção de uma obra, pode revelar o padrão de variação das características geológicas e geotécnicas no local, tendo, porém, como desvantagens o fato de que nem sempre estas exposições rochosas estão próximas do local de interesse, além de sofrerem modificações devido ao desmonte, no caso de pedreiras, e estarem, por vezes, bastante alteradas e com cobertura de vegetação (Priest, op.cit.).

Dentre os parâmetros utilizados para se caracterizar um maciço rochoso, o estudo de distribuição das descontinuidades presentes é, sem dúvida, um dos mais importantes, sendo essencial nos diversos sistemas classificatórios de maciços rochosos. A distribuição das descontinuidades pode ser descrita, por exemplo, através do parâmetro RQD (*Rock Quality Designation*), definido por Deere (1964).

1.2 Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é a avaliação da aplicação da sistemática de levantamento geológico-geotécnico em maciços rochosos, a partir de observações em grandes exposições rochosas, com ênfase no estudo de distribuição das descontinuidades e aplicação dos diversos métodos de cálculo de RQD. Para tal, as etapas cumpridas foram:

- ⇒ **Pesquisa bibliográfica** e leitura crítica das sugestões de levantamentos geológico-geotécnicos, assim como dos métodos de cálculo de RQD;
- ⇒ **Levantamentos geológico-geotécnicos** em taludes de diversas pedreiras;
- ⇒ **Tratamento dos dados** obtidos a partir do Programa *DIPS* (Diederichs & Hoek, 1989-96), com realização de projeções estereográficas em diagrama Schmidt-Lambert e histogramas dos parâmetros levantados;
- ⇒ **Estudo estatístico** das descontinuidades presentes nos maciços;
- ⇒ **Aplicação dos diversos métodos de cálculo do parâmetro RQD teórico**;
- ⇒ **Comparação entre o RQD teórico médio e os valores de RQD obtidos em trechos** dentro das linhas de medidas;
- ⇒ **Caracterização e comparação entre os maciços estudados e análise do comportamento da distribuição de descontinuidades para cada litotipo distinto.**

1.3 Justificativa

O trabalho em questão contribuirá para avaliar a sistemática realizada em levantamentos através de linhas de medidas, localizadas em taludes. Considerando que no país não há método padronizado para investigações desta natureza, contando apenas com a tradução do ISRM (1978), onde são apresentados métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos, não sendo específico para esta técnica citada. Não se pretende chegar a um método para tal, mas apenas avaliar a necessidade de maior atenção neste âmbito, principalmente através da exposição das dificuldades e dúvidas encontradas na prática.

O tratamento estatístico da distribuição das descontinuidades, utilizando-se os dados obtidos em distintos litotipos, fornecerá inferências sobre o comportamento de fraturamento em maciços rochosos de diferentes naturezas. Assim como os padrões de distribuições para cada caso, sendo essencial na escolha de determinado RQD teórico e para classificar o maciço corretamente.

1.4 Trabalhos Prévios

O termo descontinuidade, no âmbito da geotecnia, foi aplicado há mais de trinta anos por diversos autores (Fookes & Parrish, 1969; Attewell & Woodman, 1971; Bieniawski, 1973; Cording et al., 1975; *in* Priest, 1993) no intuito de caracterizar qualquer quebra mecânica significativa, sem considerar origens, idades ou geometrias. O termo junta foi definido por Price (1966, *in* Priest, op.cit.), como sendo quebra e fratura em rocha onde houve movimentação nula ou insignificante.

Piteau (1970, *in* Priest, op.cit.) listou as propriedades relevantes em descontinuidades que podem influenciar a qualidade de um maciço rochoso, sendo estas:

- ⇒ orientação;
- ⇒ tamanho (persistência);
- ⇒ frequência (espaçamento);
- ⇒ geometria da superfície (rugosidade);
- ⇒ tipo genético (origem);
- ⇒ material de preenchimento.

A estes parâmetros, a ISRM (1978) acrescentou resistência das paredes (relacionado ao estado de alteração), abertura, percolação d'água, número de famílias e tamanho de blocos, sendo os dois últimos relativos à distribuição das descontinuidades no maciço rochoso. Essa sociedade buscou a sugestão de um método padronizado para descrição de descontinuidades em maciços rochosos de forma semi-quantitativa, onde cada parâmetro é definido da forma menos subjetiva possível, partindo de observações e adotando valores para cada característica atribuída ao item descrito.

Com relação aos métodos de levantamento sistemático de descontinuidades em taludes, segundo Priest (op. cit.), entre os primeiros registros desta prática estão Muller (1959), Pacher (1959), Weaver & Call (1965), Halstead et al. (1968), Da Silveira et al. (1966), Fookes & Denness (1969) e Attewell & Farmer (1976). Piteau (1970) (*in* Priest & Hudson, 1976), Robertson (1970) e Broadbent & Rippere (1970) (*in* ISRM, 1978) para mapeamento das descontinuidades em taludes utilizaram método de amostragem por linhas de varredura, *scanlines*, onde a tomada de dados deixou de ser subjetiva, não utilizando apenas técnicas de mapeamento geológico, incluindo cálculo de espaçamento das descontinuidades. A estas técnicas foram acrescentados estudos sobre correção das linhas de varredura, para que devido à orientação das linhas escolhidas, um sistema de fraturas pudesse ser medido mais vezes que outro, evitando enviesamento de dados (Terzaghi, 1965 e Robertson, 1971, *in* ISRM, 1978).

Em 1964, o Prof. Deere introduziu o parâmetro RQD (*Rock Quality Designation*) com o intuito de fornecer uma avaliação quantitativa da qualidade do maciço rochoso, a partir de testemunhos de sondagens. É definido como o percentual de segmentos intactos de rocha competente com comprimento superior a 10 cm, em relação ao comprimento total da perfuração ou trecho considerado.

Na época, os métodos tradicionais para classificar e projetar túneis em rocha eram os métodos empíricos de Terzaghi e Laufer, então, o RQD apresentado como índice de qualidade não subjetivo e quantitativo teve uma grande aceitação no meio técnico, sendo utilizado por muito tempo como índice para nortear projetos de revestimento de túneis em rocha. Posteriormente, a utilização do RQD em conjunto com outros índices, como a resistência da rocha intacta, o grau de fraturamento, as características das paredes das fraturas e a condição de água subterrânea deu origem aos sistemas de classificação propostos por Bieniawski (1973), o RMR (Rock Mass Rating) e Barton et al. (1974), o Sistema Q.

Deere et al. (1967, *in* Priest, 1976) sugere que uma *scanline* pode ser considerada diretamente análoga a um furo de sondagem desde que o parâmetro RQD possa ser obtido em ambos os casos. Ou seja, acreditam que o parâmetro RQD também pode ser obtido em linhas de medidas.

Bridges (1975) demonstra que as fraturas em um maciço rochoso podem ser descritas a partir de uma série de modelos matemáticos, desde que alguns procedimentos na coleta, a partir de linhas de medida, na análise e apresentação dos dados, sejam seguidos. Sugere que as tomadas de dados em linhas podem ser tanto realizadas em testemunhos de sondagem ou em exposições rochosas, descrevendo métodos para tal. Utiliza coeficiente de dispersão para os pólos de cada família definida. Trabalha com a plotagem da distribuição de probabilidade de espaçamento em histogramas, acreditando que segue uma distribuição log-normal.

Priest & Hudson (1976) apresentam um estudo teórico para espaçamento de descontinuidades e o parâmetro RQD baseado em distribuição estatística dos valores de espaçamento a partir de dados obtidos em *scanlines*. Acreditam que no caso de rochas basálticas com disjunções colunares e em rochas areníticas com acamamento regular os valores de espaçamento de descontinuidades possuem distribuição normal. Mas no caso da distribuição do espaçamento ser ao acaso, o que normalmente ocorre na maioria dos maciços rochosos, será atribuída uma distribuição exponencial negativa. A partir deste estudo da variação dos valores de espaçamento, os autores obtiveram um método para a determinação do RQD teórico (RQD*) a partir do valor médio de espaçamento (λ - número de descontinuidades por metro), utilizando uma função exponencial negativa, da seguinte forma:

$$RQD^* = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Segundo os autores, utilizando-se dados experimentais, o RQD* foi comparado com o RQD medido, sendo obtido um erro máximo de 5% do valor. Ressaltam que para a distribuição exponencial negativa tornar-se clara em um histograma é requerido o mínimo de 200 medidas, ou então 50 vezes o espaçamento médio. Sugerem que este método deveria ser aplicado em uma variedade de tipos rochosos para se determinar sua aplicabilidade.

Baecher & Einstein (1977) consideram de grande importância o tratamento estatístico na descrição das propriedades de um maciço rochoso. Obtiveram, também, uma distribuição exponencial negativa para curvas de frequência x valores de espaçamento. Acrescentam que no levantamento de uma linha de medida as descontinuidades que a interceptarem com ângulo menor que 20° devem ser desconsideradas. Citam o problema de se perder anomalias locais no meio de uma estatística global, como por exemplo, um fraturamento mais acentuado em pequeno espaço.

Hudson & Priest (1979), completando o trabalho anterior, apresentam estudo estatístico da geometria de blocos, para avaliar a distribuição das descontinuidades, baseando-se que a geometria em um maciço rochoso é uma função tanto da orientação destas descontinuidades como do espaçamento entre estas. Na Figura 1 ilustram as possibilidades de três funções de distribuição dos valores de espaçamento.

A primeira mostra uma função exponencial negativa, onde os espaçamentos são distribuídos aleatoriamente, independentes. A segunda ilustra uma distribuição uniforme, onde todos os valores maiores que um valor limite possuem probabilidade igual de ocorrência, no caso da linha A os espaçamentos não estão ordenados e na linha B são observados ciclos repetidos de zonas fraturadas. O último caso é uma distribuição normal, onde a mediana equivale ao espaçamento médio.

Consideram que desde que haja uma combinação de fatores mecânicos e geológicos durante as várias fases de fraturamento, a distribuição das descontinuidades em um maciço rochoso resultará da sobreposição de duas ou mais distribuições. E, neste caso, a função que melhor se adaptaria a este comportamento é a exponencial negativa, já que esta sobreposição levaria a uma aleatoriedade de distribuições.

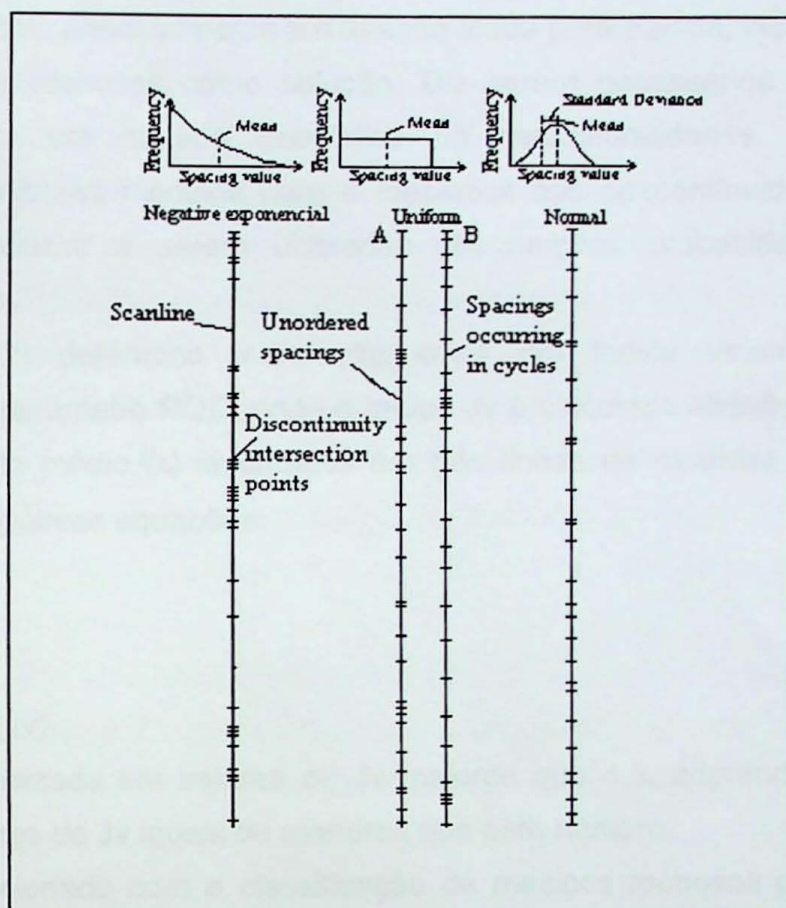


Figura 1. Exemplos de distribuições teóricas de espaçamento de descontinuidades (Hudson & Priest, 1979).

Wallis & King (1980) consideram o parâmetro espaçamento, dentre os onze parâmetros levantados pela ISRM (1978), o mais relevante. A partir de realização de levantamento geológico-geotécnico em pedreiras em rocha cristalina e descrição de testemunhos de sondagens, obtiveram valores de RQD medido e teóricos, utilizando para o primeiro a definição de Deere (1964) e para o segundo a relação apresentada por Priest & Hudson (1976), onde a maior diferença entre os valores é de 6%, demonstrando uma boa correlação.

La Pointe (1980) utiliza a geoestatística no estudo de distribuição de descontinuidades, afirmando que cada família de juntas pode ser representada por uma função semi-variograma espacial juntamente com componente aleatório local, correspondente ao espaçamento médio das juntas mais persistentes. Entretanto, em testemunhos de sondagem, no caso de maciços rochosos não homogêneos, o uso de valores médios assim como distribuição de frequências, pode não ser realista, super ou subestimando valores de algumas áreas. Porém todos os dados necessários para determinação de variabilidade espacial podem ser obtidos em linhas de medida.

Warburton (1980) ressalta que testemunhos de sondagem nem sempre fornecem dados suficientes sobre as juntas, principalmente em relação à sua persistência, cita, então, a utilidade de grandes exposições rochosas como solução. Diz serem necessários muito dados para adequar com precisão um modelo estatístico de descontinuidades, sendo preciso o desenvolvimento de melhores modelos para a mecânica das descontinuidades, assim como novas formulações teóricas a serem utilizadas em funções probabilísticas, englobando informações estatísticas.

Palmström (1982) determina a relação entre um índice volumétrico de juntas, denominado de J_v e o parâmetro RQD, onde o índice J_v é calculado através da somatória dos valores de espaçamento médio (λ) levantados em três linhas de medidas (1,2,3), ortogonais entre si, através das seguintes equações:

$$J_v = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$$

e

$$RQD = 115 - 3.3 (J_v)$$

Esta relação é utilizada em valores de J_v maiores que 4,5, adotando-se sempre RQD igual a 100% para valores de J_v iguais ou menores que este número.

Em trabalho relacionado com a classificação de maciços rochosos para construção de túneis, Ojima (1982) declara que as técnicas de caracterização de um maciço quase sempre apresentam limitações e, em muitos casos, principalmente se tratarem de obras lineares, apenas fornecem informações pontuais bastante espaçadas, que depois são extrapoladas ao resto do maciço. Na prática, existem grandes dificuldades em estabelecer valores para os parâmetros que retratem fielmente as características do maciço.

Vaz (1982) analisa a aplicabilidade dos diferentes métodos de investigação para obras subterrâneas, enfatizando o papel dos mapeamentos geológicos. Cita que no Brasil a investigação para obras subterrâneas é ainda muito dependente de sondagens rotativas, fazendo com que o maciço rochoso somente se torne realmente conhecido durante a escavação. Então, o acompanhamento de construção, com o mapeamento geológico sistemático das paredes de escavação, é essencial na construção de obras subterrâneas. Relaciona os parâmetros utilizados na maioria das classificações de maciços rochosos para obras subterrâneas, sendo que entre todos estão os relativos às descontinuidades: orientação, espaçamento, rugosidade, estado de alteração das paredes, abertura, preenchimento e número de famílias. O RQD, inicialmente concebido como sistema de classificação, passou a ser utilizado como parâmetro representativo do maciço.

Einstein & Baecher (1983) citam que por muitas décadas a obtenção de dados de descontinuidades é reconhecidamente um problema de amostragem estatística, como por

exemplo, no caso das descontinuidades de maior persistência, que possuem maior probabilidade de serem amostradas do que as demais. Uma de suas conclusões é que em apenas 8% das distribuições do espaçamento analisadas colocadas no modelo exponencial, falharam em satisfazer o critério de 5% de nível de confiança.

Rouleau & Gale (1985) realizaram levantamento geotécnico em um granito, correlacionando dados de 1500m de sondagens com dados de 50m de mapeamento das paredes e do piso de obra de escavação para disposição de resíduo nuclear. Citam que os dados de orientação das descontinuidades são geralmente afetados por um resultado enviesado devido a amostragem preferencial das fraturas orientadas ortogonalmente à linha de medida. A partir dos valores de espaçamento obtidos construíram histogramas, onde as distribuições empíricas obtidas foram comparadas aos modelos de distribuições teóricas, como a exponencial, log-normal e Weibull, sendo que foi o modelo log-normal que melhor se encaixou no caso.

Barla *et al.* (1987) apresentam a aplicação da análise geoestatística para uma caracterização do maciço rochoso, exemplificando um caso estudado na Itália. Os parâmetros que descrevem as descontinuidades da rocha são tratados como variáveis regionalizadas em termos estatísticos. Utilizam histogramas de frequência de distribuição de RQD e média de descontinuidades por metro. Apresentam variogramas com os valores de RQD.

La Pointe (1988) apresenta um método para determinação de um índice para densidade de fraturamento utilizando a geometria fractal. O trabalho estuda a densidade de fraturação e estabelece que ela pode ser modelada por uma formulação fractal. O método utilizado começa por determinar o número de fraturas dentro de cada célula de uma malha de lado r colocada sobre a área de estudo. Em seguida, pode-se determinar o histograma de densidades, do qual se vai determinar a dimensão fractal. A densidade de fraturação aparece, neste caso, associada a uma dimensão fractal entre 2 e 3.

Kulatilake & Wathugala (1990) apresentam um modelamento tridimensional da geometria de juntas para a área de uma mina na Suécia, onde sugerem o tratamento separado de todas descontinuidades, sendo divididas em dois grupos, um englobando as falhas, zonas de cisalhamento e diques e outro considerando as juntas, planos de acamamento e fissuras. O primeiro grupo deve ter a sua geometria representada deterministicamente e o outro estatisticamente. No levantamento destas descontinuidades aplicaram uma correção para a orientação de cada set, evitando o enviesamento dos dados, para cada linha medida.

Xing & Guohua (1990) em estudo aprofundado sobre a quantificação da persistência de descontinuidades, a partir da determinação de semi-traços, ressaltam os principais erros em amostragens de *scanlines*, que podem implicar em enviesamento dos dados. Entre estes problemas está o enviesamento pelo tamanho das descontinuidades, onde as juntas maiores

terão maior probabilidade de serem amostradas, assim como enviesamento dos dados de persistência, onde a altura da parede de amostragem pode mascarar o tamanho real de uma descontinuidade.

Villaescusa & Brown (1990) apresentam uma análise de caracterização de descontinuidades em três distintas localizações, obtendo o resultado de correlação espacial entre as juntas amostradas, determinando-se isto a partir de variogramas. Os variogramas sugerem que a localização das juntas em um maciço rochoso não é puramente aleatória, em intervalos de influência até maiores que 30 metros.

Muralha (1991) apresenta extenso estudo sobre a aplicação da teoria fractal à geotecnia, inclusive sobre descontinuidades. Afirma que a possibilidade de a compartimentação de maciços rochosos ser um fenômeno que pode ser melhor entendido à luz da teoria fractal já foi anteriormente referida por muitos autores, tal como razões físicas que suportam essa hipótese. Essa opinião encontra-se em confronto com a idéia de a existência de descontinuidades ser um processo de Poisson. Cita Chilés (1988, in Muralha, 1991), que além de apresentar resultados que evidenciam o caráter fractal do fraturamento, passa para a geração de conjuntos de descontinuidades com base em modelos fractais, do tipo poeiras de Cantor.

Sen & Eissa (1992) através de modelos conceituais e com base em medidas obtidas em *scanlines* relacionam os parâmetros RQD e J_v com a média e desvio padrão, a partir de uma distribuição log-normal, ajustada pela frequência x valores de espaçamento de descontinuidades, através da seguinte relação, que determina a esperança do RQD:

$$E(RQD) = 100 \left\{ 1 - F \left[\frac{\ln(0.1\lambda)}{\sigma_{\ln x}} - \sigma_{\ln x} + 1 \right] \right\}$$

onde λ é o número médio de descontinuidades, $\sigma_{\ln x}$ é o desvio padrão dos valores logaritmizados de espaçamento e o valor resultante dentro dos colchetes denota a área sobre a função de distribuição de probabilidade normal padronizada de $-\infty$ até o valor entre os colchetes.

Nesse trabalho, os autores ressaltam a importância do desvio padrão, modificando significativamente o valor do RQD e dessa forma caracterizando melhor a forma de distribuição do espaçamento das descontinuidades. Por exemplo, para maciços pouco fraturados um desvio padrão menor aumenta o valor médio do RQD, já em maciços muito fraturados um desvio padrão menor diminui o valor médio do RQD.

Infanti (1994) afirma que os métodos de investigação não evoluíram na mesma proporção que os sistemas de classificação de maciços rochosos. Com muita propriedade o autor critica o abandono, quase sistemático, do mapeamento geológico e a preponderância das sondagens rotativas que, embora muito úteis, são pontuais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

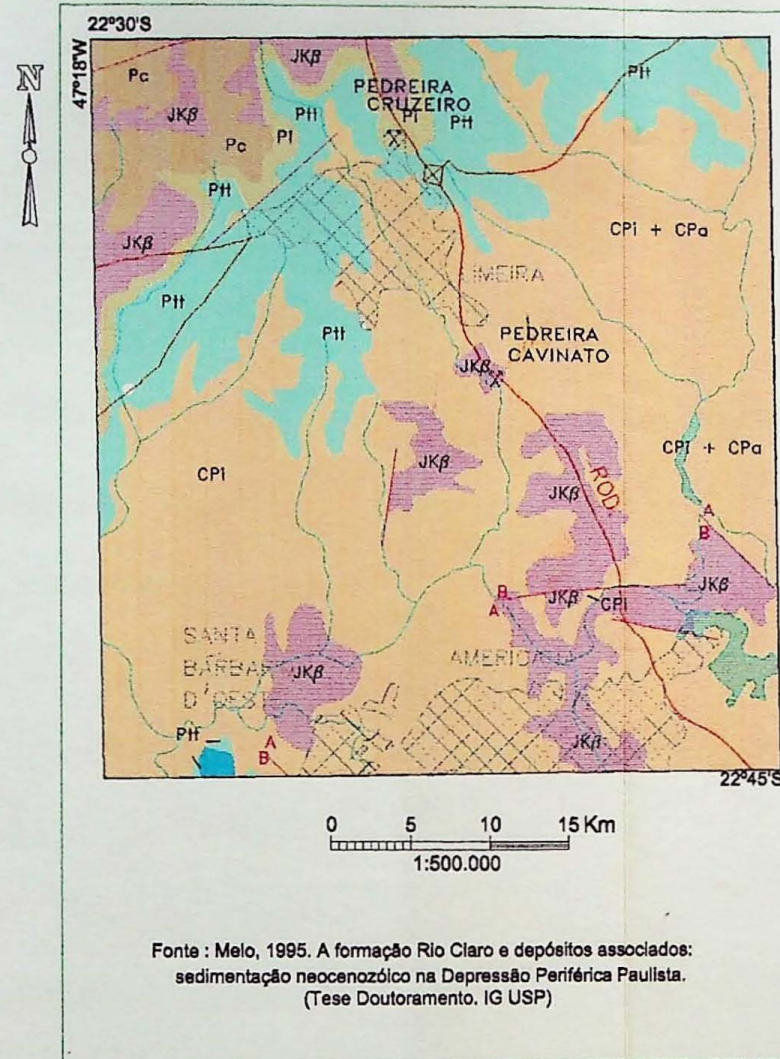
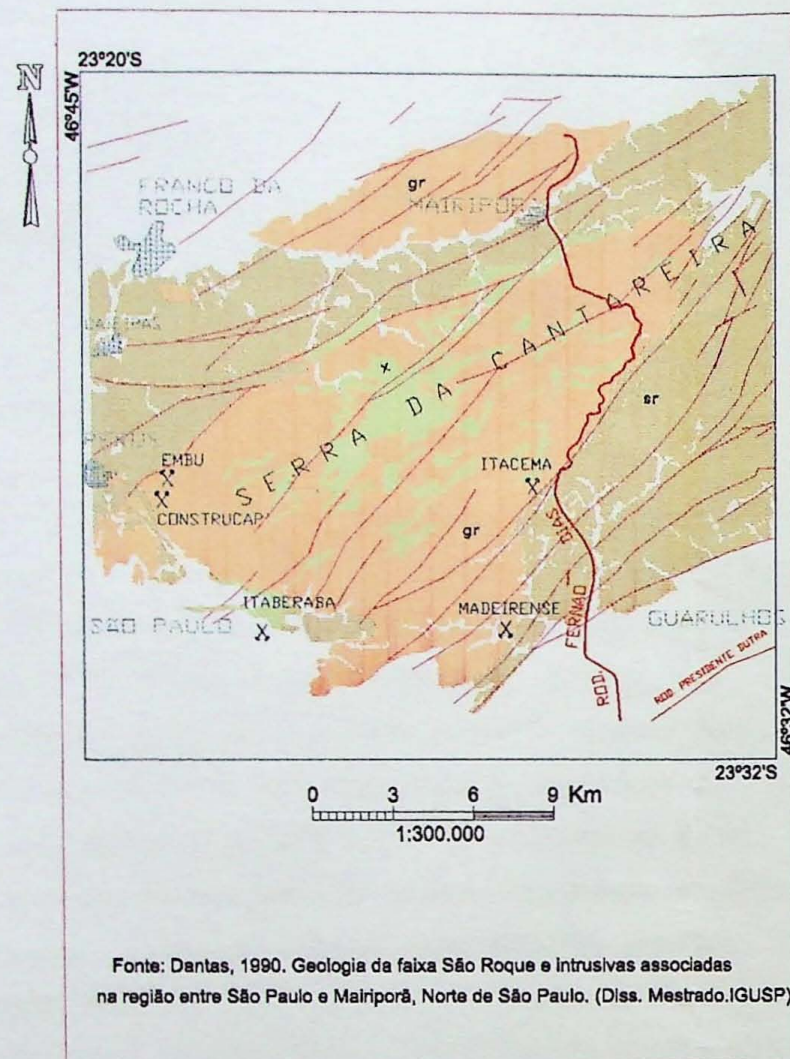
2.1 Localização das Pedreiras Amostradas

Os levantamentos foram realizados em sete pedreiras, sendo cinco delas escolhidas em trabalho realizado no IPT e as outras duas foram selecionadas a partir de seus distintos litotipos com relação as anteriores, além de sua relativa proximidade com a cidade de São Paulo. São as seguintes pedreiras: Pedreira Madeirense, Pedreira Itaberaba, Pedreira Construcap (Foto 1), Pedreira Embu (Foto 5), Pedreira Itacema (Foto 9), Pedreira Cruzeiro e Pedreira Cavinato (Foto 13). Todas estas fornecem material para brita, com exceção da Pedreira Cruzeiro, que fornece o calcário retirado para corretivo de solo. A Figura 2 mostra a localização das pedreiras citadas acima, assim como a respectiva geologia.

As pedreiras Madeirense e Itacema localizam-se no Bairro Jaçanã, Região Norte do município de São Paulo. A primeira tem como via de acesso a Avenida Nova Cantareira e a segunda a Rodovia Fernão Dias, anteriormente ao túnel da Mata Fria.

As pedreiras Construcap, Embu e Itaberaba também localizam-se na Região Norte do município de São Paulo, no Bairro de Taipas, com acesso pela Avenida Raimundo Pereira Magalhães, para as duas primeiras e no Vila Nova Cachoeirinha com acesso pela Avenida Cantídio Sampaio, no caso da Pedreira Itaberaba.

As pedreiras Cavinato e Cruzeiro localizam-se no município de Limeira, sendo a primeira localizada no Km 141 da Rodovia Anhanguera e a segunda na Avenida Cônego Manoel Alves.



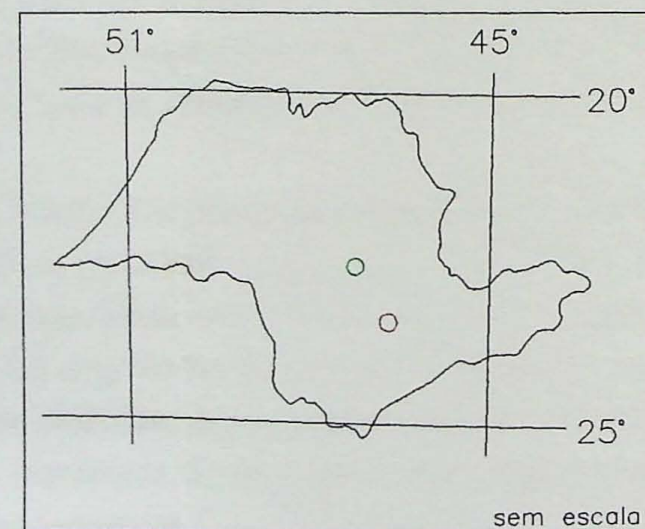
LEGENDA

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

- JKβ Intrusivas básicas (soleiras, diques)
- Pc Formação Corumbataí: argilitos, folhelhos e siltitos finos
- PI Subgrupo Irati - folhelhos silticos a argilosos e calcários dolomíticos
- PH Formação Tatuí: siltitos e arenitos finos
- CPI + CPa Formação Aquidauana: arenitos, folhelhos rítmicos e siltitos (CPa)
Subgrupo Itararé: arenitos, conglomerados e ritmitos (CPI)
- x Micaxistos, quartzo-xistos, filonitos (de granito)
- sr Grupo São Roque: anfibolito, filito, metarritmito, ortognaisses e quartzitos
- gr Granito

CONVENÇÕES

- Falha indiscriminada
- A/B Falha com movimentação vertical (A= Bloco alto; B= Bloco baixo)
- ~ Estrada
- Cidade
- ~ Rede Hidrográfica
- X Pedreira estudada, em atividade
- X Pedreira estudada, desativada



MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS

Figura 2 - Mapa geológico simplificado e de localização das pedreiras amostradas

2.2 Síntese Geológica Regional

Devido a natureza do trabalho desenvolvido, considerou-se que uma revisão muito extensa sobre toda a geologia do Estado de São Paulo seria dispensável, optou-se, então, por uma sucinta descrição dos litotipos envolvidos e sua correlação com o contexto regional. Serão apenas descritos brevemente o granito do Maciço Cantareira, os metassedimentos do Grupo São Roque, o calcário da Formação Irati e o diabásio da Formação Serra Geral.

2.2.1 Geologia Regional

A área do Estado de São Paulo abrange dois grandes domínios geológicos que incluem, cada qual, uma variedade característica de associações e tipos de rochas. Na porção sudeste, na região serrana que acompanha a faixa costeira e engloba as serras da Mantiqueira e do Mar, e a norte da capital, na região que se estende ao longo da divisa com Minas Gerais, o substrato rochoso é composto de vários tipos de rochas metamórficas, incluindo aí o Grupo São Roque, e de rochas ígneas plutônicas, inclusive o Maciço Cantareira, que são designados, em conjunto, Complexo ou Embasamento Cristalino. Para o interior do Estado, em direção à calha do Rio Paraná, a nordeste, este conjunto de rochas encontra-se encoberto pelas camadas de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, que incluem arenitos, folhelhos, argilitos, ritmitos, conglomerados, além de calcários, como é o caso da Formação Irati. Intercalados a estas rochas sedimentares ocorrem extensos derrames de basalto, além de *sills* de diabásio, todos denominados de Formação Serra Geral (Correia *et al.*, 1992).

O Pré-Cambriano do Estado de São Paulo situa-se quase que integralmente na Região de Dobramentos Sudeste (Hasui *et al.*, 1978) tendo como unidades maiores os maciços de Guaxupé e de Joinville e as faixas de dobramento São Roque e Apiaí. No extremo nordeste do Estado afloram por pequena extensão rochas da faixa de Dobramentos Brasília da Região de Dobramentos Central (Bistrichi, 1982).

A Bacia do Paraná classifica-se como uma bacia intracratônica que representa um sítio de acumulação de sedimentos no interior do cráton ou plataforma (Fúlfaro *et al.*, 1982). Campos (1993), afirma que a maior parte do Estado de São Paulo está incluída nesta bacia e que a partir do final do Jurássico, processos tectônicos e magmáticos de apreciáveis magnitudes, que consistiram em falhamentos e fraturamentos de distensão, deram vazão a grande volume de magma basáltico, formadores de espessos e numerosos diques e *sills*, bem como geraram deformações locais com dobras, flexuras e outras estruturas.

A Figura 3 ilustra a coluna estratigráfica simplificada das unidades geológicas do Estado de São Paulo e a Figura 4 apresenta em mapa a distribuição geral destas unidades.

FANEROZÓICO	CENOZÓICO	Sedimentos: marinhos e mistos (Qm); aluvionares (Qa) e continentais indiferenciadas (Ql)					
	QUATERNÁRIO	Grupo Mar Pequeno { Formação Cananéia (Qc) Formação Ilha Comprida (Qic) Formação Pariqueira-Açu (Qp)					
	TERCIÁRIO	Grupo Taubaté { Fm. Cocapava (TQc) Fm. Tremembé (Tt)	Fm. São Paulo (TQs)	Coberturas indiferenciadas correlatas à Fm. São Paulo (TQls)	Fm. Rio Claro (TQr)	Coberturas indiferenciadas correlatas à Fm. Rio Claro (TQir)	Coberturas da Serra de Santana e similares (TQl)
		Diques alcalinos de Poços de Caldas (Ta)					
MESOZÓICO	MESOZÓICO	Corpos alcalinos: Litoral Norte (Ka3a); Cananéia (Ka3b); Passa Quatro (Ka3c); Poços de Caldas (Ka3d); Ponte Nova (Ka3e) e Jaboticabal (Ka3g). Diques alcalinos de Santo Antonio do Pinhal (Ka3f)		BACIA DO PARANÁ			
		Corpos alcalinos de Itapirapuã (Ka2).	Grupo Bauru { Formação Marília (Km) Formação Adamantina (Ka) Formação Santo Anastácio (Ksa) Formação Caiuá (Kc)	Formação Itaquari (Kti) Sedimentos correlatos à Formação Itaquari (Kti)			
	Corpos alcalinos: Juquiá (Ka1a); Jacupiranga (Ka1b); Piedade (Ka1c) e Ipanema (Ka1d).	Grupo São Bento { Formação Serra Geral (JKsg) e Rochas intrusivas associadas (JKβ) Formação Botucatu (JKb) Formação Pirambóia (JKp)					
	Rochas intrusivas básicas (JKβ)						
	PERMIANO SUPERIOR	Grupo Passa Dois { Formação Rio do Rasto (Prr) Formação Teresina (Pt) Formação Serra Alta (Psa) Formação Irali (Pi)	Formação Corumbataí (Pc)				
CARBONÍFERO SUP. A PERMIANO MÉDIO	Grupo Tubarão { Formação Palermo (Pp) Formação Rio Bonito (Prb) Formação Itararé (CPI) Formação Aquidauana (CPa)	Formação Tatuí (Ptt)					
DEVONIANO	Grupo Paraná { Formação Ponta Grossa (Dpg) Formação Furnas (Df)						
EO PALEOZÓICO	Formação Eleutério (COe) Suítes graníticas postectônicas: Facies granítica (COYg); Facies Graciosa (COYa) e Facies Itu (COYi) Suítes graníticas indiferenciadas (PS COY)						
PROTEROZÓICO	SUPERIOR	Suítes graníticas sintectônicas: Facies Cantareira (PSYc) e Facies migmatítica (PSYM) Complexo Pilar do Sul: PSpX, PSpF, PSpFC, PSpC, PSpQ, PSpS, PSpR, PSpB Complexo Embu: PSeB, PSeM (PSe) Grupo São Roque: PSsX, PSsF, PSsQ, PSsC, PSsR, PSsD, PSsM (PSs)					
	MÉDIO	Grupo Canastra: PMcQ (PMc)					
	INFERIOR	Formação Setúba (Pis)	Complexo Turvo-Cajati: PitG, PitX, PitC, PitQ, PitM (Pit)	Complexo Ampara: PiaGM, PiaQ, PiaS, PiaX, PiaB, PiaHM, PiaH (Pia)	Complexo Paraíba do Sul: PIpM, PIpD, PIpH (PIp)		
ARQUEANO	Complexo Costeira: AcB, AcD, AcHM, (Ac) AcC, AcM, AcH, AcX Complexo Juiz de Fora: AJM (AJ) Complexo Varginha: AvQ, AvM, AvH, AvHM, AvC, AvB (Av)						
Obs.: Símbolos das litologias gerais: α - alcalinas; β - básicas; γ - granitos; B - metabásicas; C - calcários; D - metadioritos; F - filitos; FC - físitocalcários; G - gnaisses; H - granulitos; HM - granulitos migmatizados; M - migmatitos; Q - quartzitos; R - metaconglomerados; S - calcossilicáticas; X - xistos.							

Figura 3 – Coluna estratigráfica simplificada das unidades geológicas Estado de São Paulo (Fonte: IPT, 1981)

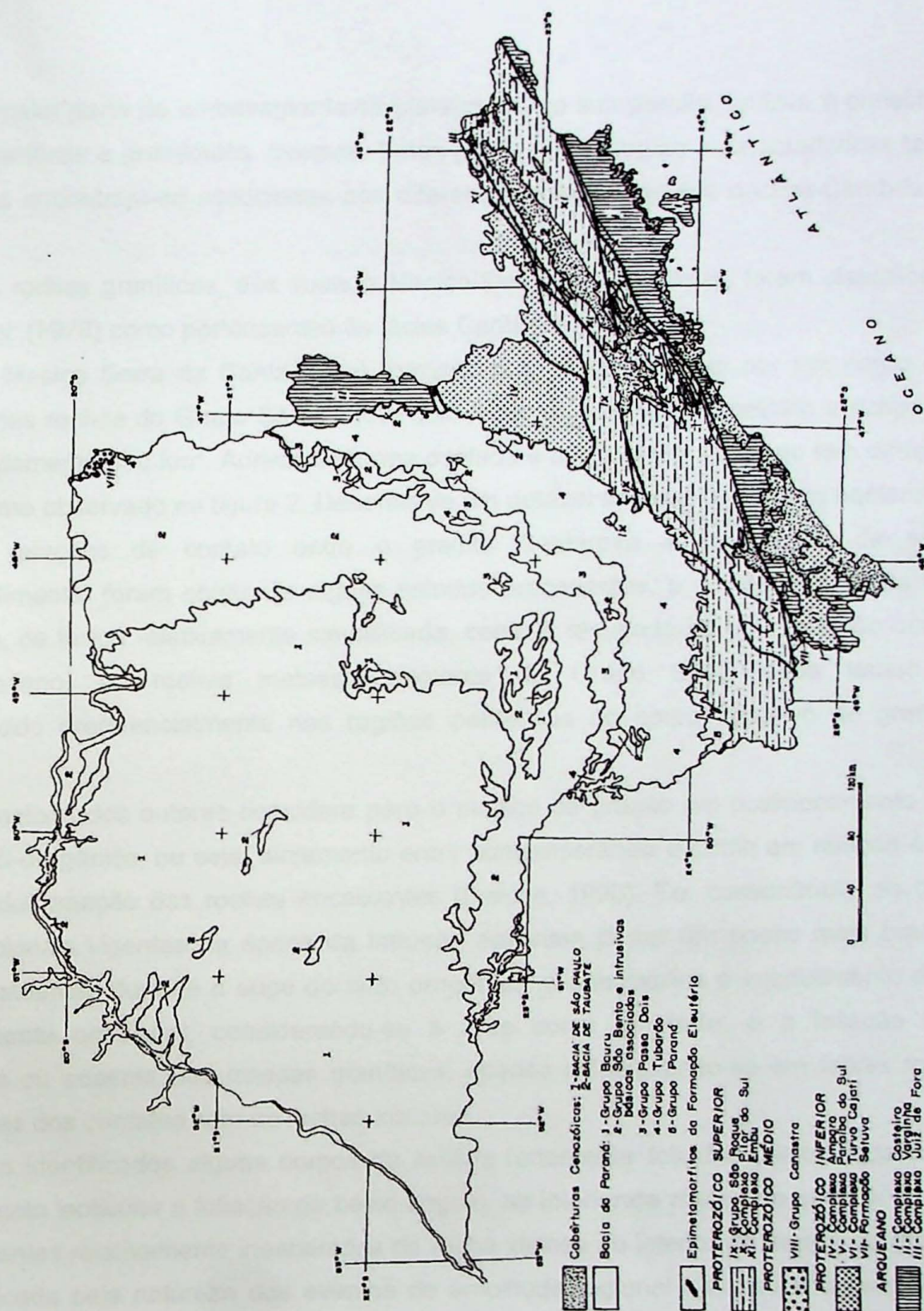


Figura 4 – Mapa de distribuição das unidades litoestratigráficas no Estado de São Paulo (Fonte: IPT, 1981)

2.2.2 Maciço Cantareira

A maior parte do embasamento da plataforma em sua porção paulista é constituída por rochas graníticas e granitóides diversos. Estas possuem tipologias e características tectônicas variadas e encontram-se associadas aos diferentes compartimentos do Pré-Cambriano (IPT, 1981).

As rochas graníticas, das quais o Maciço Cantareira faz parte, foram classificadas por Hasui *et al.* (1978) como pertencentes às fácies Cantareira ou Itu.

O Maciço Serra da Cantareira é formado predominantemente por um corpo granítico intrusivo nas rochas do Grupo São Roque, que possui dimensões de batólito e ocupa área de aproximadamente 350 km². Apresenta forma ovalada e o eixo mais alongado tem direção ENE-WSW, como observado na figura 2. Desenvolve um notável sistema de fraturas anelares.

As relações de contato entre o granito Cantareira e as rochas da seqüência metassedimentar foram objeto de alguns estudos precedentes, e a massa granítica tem sido explicada, de forma relativamente simplificada, como o resultado de uma intrusão ocorrida no Pré-cambriano. As rochas metassedimentares do Grupo São Roque teriam, assim, permanecido preferencialmente nas regiões periféricas do corpo intrusivo de granito (IPT, 2000).

A maioria dos autores considera para o maciço de granito um posicionamento tectônico sin a tardi-orogênico, ou seja, alojamento entre contemporâneo e tardio em relação à principal fase de deformação das rochas encaixantes (Dantas, 1990). Em consonância, as condições deformacionais vigentes na época da intrusão deveriam já ser um pouco mais brandas que aquelas atuantes durante o auge do ciclo orogênico, o que explica o imbricamento de caráter relativamente ocasional, considerando-se a área como um todo, e a foliação milonítica incipiente ou ausente das massas graníticas, apenas evidenciando-se em faixas restritas às superfícies dos contatos com as rochas xistosas.

São identificados alguns corpos de rochas fortemente foliadas (xistos, quartzo xistos), com formato lenticular e foliação de baixo ângulo, no interior da massa de granito. A existência dessas lentes relativamente inesperadas de rocha xistosa no interior da massa de granito pode ser explicada pela natureza dos eventos de amplitude regional que deixaram registros neste maciço rochoso. Estas lentes foram observadas e amostradas na Pedreira Itacema, formando corpos alongados de até 10 metros de espessura (Foto 10), intercalados na rocha granítica. Nas pedreiras Madeirense, Itaberaba, Embu e Construcap foi encontrada apenas a rocha granítica, sem a presença de lentes xistosas. Nas Pedreiras Construcap e Embu também foram observados planos de falha.

2.2.3 Grupo São Roque

O Grupo São Roque, tal como representado no Mapa Geológico da Figura 3, configura como uma faixa de orientação aproximadamente E-W até a região norte de São Paulo, onde sofre uma suave inflexão para nordeste (IPT, 1981). Na região próxima a Guarulhos, onde localiza-se a Pedreira Itacema, única pedreira em que ocorrem lentes xistosas, possivelmente pertencentes ao Grupo São Roque, este grupo caracteriza-se por uma seqüência metapsamítica formada por quartzitos feldspáticos com metarcósios (observado na pedreira em questão – Fotos 10 e 11) e metagrauvacas. Optou-se por diferenciar estas lentes do restante do Grupo São Roque, no mapa da Figura 2, por não se ter certeza que todas estas realmente pertençam a este grupo.

As direções estruturais predominantes no Grupo São Roque são orientadas a ENE, havendo desvios locais para NW na região de ITU (Bloco Pirapitanguí, de Hasui & Sadowski, 1976, *in* IPT, 1981) e na região do Jaraguá, bem como uma inflexão marcante para NNE na região norte de São Paulo, por efeitos de falhamentos transcorrentes.

2.2.4 Formação Irati

A Formação Irati, unidade mais baixa do Grupo Passa Dois, foi definida por White (1908, *in* IPT, 1981). Se estende do Estado do Paraná até o Estado de São Paulo, onde continua até a região de Leme. Aflora só em faixa descontinuada em zonas de falhamentos e intrusões de grande *sills* de diabásio.

Foi observada rocha calcária na Pedreira Cruzeiro (Figura 2), onde este calcário pertence ao Membro Assistência, da Formação Irati. Predomina no Membro Assistência a estratificação plano-paralela, muito regular, às vezes rítmica, com alternância de carbonato e folhelho. Nos leitos de dolomito e calcário pode-se observar marcas de ondas, estruturas convolutas, oólitos e brecha intraformacional local.

2.2.5 Formação Serra Geral

De acordo com Monteiro (1986), as rochas basálticas mesozóicas da Bacia do Paraná e vizinhanças são oriundas de um intenso vulcanismo do tipo fissural. Este vulcanismo teria se dado por um mecanismo de alívio de pressão, não havendo manifestações violentas, à exceção de casos isolados através de grandes fendas de tensão.

Monteiro (1986) afirma ainda que os *sills* representam corpos menores ocorrendo invariavelmente ao longo de toda a Bacia do Paraná, sendo a frequência com que aparecem função da proximidade das zonas de efusão do material magmático; são formas concordantes ou mesmo discordantes (*sheet*). Afirma, também, que ocorre grande quantidade de diques nas áreas vizinhas aos derrames, próximo ao fluxo de lavas, agrupados em sistemas de corpos tabulares e subparalelos, em alguns casos constituindo-se em alimentadores das atividades vulcânicas.

Os diabásios são abundantes na região da Pedreira Cavinato (Figura 2) (Foto 13), tendendo a formar corpos pequenos, alongados, de no máximo 8 Km de comprimento tendo em média 3 Km na maior dimensão. Os corpos mais alongados podem se orientar segundo as direções NE (preferencialmente), NW ou EW, podendo acompanhar regiões de fraturamento anteriores e/ou contemporâneos ao evento magmático. Estes corpos comportam-se principalmente como diques (apresentando por vezes contatos nitidamente verticais) e em parte como *sills* (concordantes com o acamamento das rochas do Subgrupo Itararé) (Instituto Geológico, 1995).

2.3 Método para levantamentos de linhas de medida (“Scanlines”)

Para levantamentos direcionalmente controlados é importante que a locação das *scanlines* seja considerada a partir de critérios geológicos, tais como a disposição de litotipos e as direções preferenciais das descontinuidades. As direções das linhas devem ser, preferencialmente, semi-ortogonais entre si, a fim de se obter uma amostragem espacial bem distribuída do maciço rochoso, reduzindo, assim, o viés (“bias”) da representação. O comprimento da “*scanline*” deverá ser, preferencialmente, igual ou superior a 50 vezes o espaçamento médio das descontinuidades, assim como sugerido por Priest & Hudson (1976).

Os registros das descontinuidades são anotados a cada intersecção destas com a "scanline", incluindo as distâncias de cada ocorrência em relação ao ponto de origem da linha de levantamento, de onde será obtido o espaçamento entre estas (Foto 15). A descrição das características das descontinuidades não se restringiram exclusivamente ao ponto de intersecção.

Para o levantamento das linhas de varredura verticais foi utilizada uma corda esticada ao longo de alguns taludes, conforme apresentado na Foto 12. Esta corda foi demarcada com fitas coloridas a cada meio metro, medindo-se, então, o espaçamento entre as descontinuidades. Tomou-se o cuidado de escolher os taludes em cotas inferiores, evitando que se medisse grande quantidade de juntas de alívio, presentes no topo de pedreiras, além de evitar um maciço em maior grau de alteração.

São observados parâmetros como orientação - rumo do mergulho/ângulo do mergulho (*dip/dip direction*), persistência (tamanho das descontinuidades), alteração das paredes, preenchimento, rugosidade e tipo de estrutura (falha, junta, foliação, etc.).

O uso de sistema numérico associado a categorias descritivas típicas para cada parâmetro, ao invés de uma descrição subjetiva, facilita e otimiza o trabalho de campo. Para tal, foram empregadas as categorias ilustradas nas TABELAS 1A a 1D, apresentadas no Anexo C, seguindo Barton et al., (1974).

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Neste capítulo são descritas todas as etapas realizadas neste trabalho.

♣ **Trabalhos prévios:**

- ⇒ Levantamento e revisão bibliográfica, incluindo sumários sobre RQD teórico, levantamento geológico-geotécnico, enviesamento de dados (*bias*), aplicação de fractais em geotecnia e geoestatística, ambos para estudo de compartimentação de maciços;
- ⇒ Escolha dos locais para levantamento geológico-geotécnico segundo litotipos;
- ⇒ Configuração das planilhas de coleta de dados (exemplo no Anexo D) adaptado de ISRM (1978), realizando tabelas com cada parâmetro, buscando simplificá-las para facilitar o levantamento propriamente dito, incluindo os parâmetros descritos para

aplicação em classificações geomecânicas, como o Jr (índice de rugosidade), o Ja (índice de alteração das paredes) e o Jn (quantidade de fraturas), segundo Barton et al. (1974) (Tabelas do Anexo C).

No levantamento bibliográfico, notou-se a escassez de referências deste tipo de trabalho no Brasil, onde as encontradas centram-se principalmente nos métodos de classificação de maciços e não tanto na caracterização destes, principalmente utilizando-se linhas de medida.

♣ Levantamento geológico- geotécnico:

- ⇒ Observação do maciço segundo sua compartimentação em blocos e escolha das linhas de medidas a serem levantadas;
- ⇒ Disposição da trena ao longo de cada *scanline* escolhida, tomando nota do rumo e mergulho desta linha de medida (Foto 15);
- ⇒ Observação e descrição de cada parâmetro a ser levantado para cada descontinuidade que intercepta a *scanline*;
- ⇒ Separação e descrição detalhada das zonas de cisalhamento e de falha ou fraturamento evidentemente diferenciado do restante do maciço;
- ⇒ Registro das linhas medidas com fotografias, assim como os aspectos relevantes do maciço observado na grande exposição rochosa.

No levantamento propriamente dito, das linhas de medida, principalmente as verticais, encontrou-se grandes dificuldades nos registros das descontinuidades exatamente na intersecção destas com a *scanline*, pois os taludes, tratando-se de pedreiras, apresentavam superfícies de corte irregulares, dificultando a retirada de medidas exatas. Além disso a medida das distâncias muitas vezes eram projetadas, o que geralmente levava a uma medida de espaçamento não muito precisa.

♣ Tratamento dos dados:

- ⇒ Inserção dos dados levantados em planilhas no banco de dados do Programa *DIPS* (Diederich &Hoek, 1989-96);
- ⇒ Processamento dos dados no Programa *DIPS* (Diederich &Hoek, 1989-96);, gerando diagramas de Schimdt-Lambert, com plotagem de pólos e contagem estatística;
- ⇒ Definição das principais famílias e suas características para cada local estudado;

- ⇒ Tratamento dos dados com testes de aderência no Programa *Best Fit* (Palisade Corporation, 1996);
- ⇒ Inserção dos dados de espaçamento de descontinuidades em Planilha do Programa Excell, para cálculo de RQD*;
- ⇒ Aplicação dos diversos métodos de cálculo de RQD teórico, segundo Palmström (1982), Priest & Hudson (1976) e Sen & Eissa (1992);
- ⇒ Tratamento dos dados de falhas e zonas de fraturamento concentrado, assim como zonas intensamente fraturas distintas do restante do maciço;
- ⇒ Tratamento separado dos trechos da linha medida, para ser comparado com a média geral, segundo método descrito em Priest (1993).

No programa *DIPS* os histogramas, assim como diagramas Schmidt-Lambert estatísticos, foram facilmente configurados. Foram selecionadas famílias a partir dos diagramas estatísticos, representados pelas Figuras 5 a 12. Nos histogramas de espaçamento foram obtidos os espaçamentos médios e desvios-padrões totais e para cada família selecionada. Os histogramas gerados encontram-se no Anexo A.

Para a determinação do parâmetro RQD, em cada pedreira, foram agrupadas as linhas de varredura com orientação aproximadamente ortogonal entre si.

O método empírico (Palmström, 1982) produz um único valor de RQD para cada agrupamento de três ou duas linhas de varredura. Uma vez que, em geral, não se pôde obter linhas verticais em toda as pedreiras, o J_v foi calculado repetindo-se o valor de uma das duas linhas horizontais.

Com o objetivo de verificar as distribuições que melhor se encaixavam para os valores de espaçamento, em algumas pedreiras, escolhidas de modo a representar litotipos distintos, aplicou-se alguns testes estatísticos de aderência, utilizando o Programa *Best Fit* (Palisade Corporation, 1996). Os testes de aderência utilizados foram o Chi-quadrado e Kolmogorov-Smirnov.

♣Análise dos dados:

- ⇒ Confecção de gráficos, diagramas e histogramas com o resultado encontrado no cálculo do RQD;
- ⇒ Análise estatística dos dados obtidos.

Todos os dados obtidos foram colocados em tabelas ou ilustrados através da confecção de figuras, como é o caso dos estereogramas que apresentam a concentração de pólos para todas as pedreiras estudadas.

♣Trabalho final:

- ⇒ Integração de todos dados obtidos nos maciços estudados;
- ⇒ Comparação entre o comportamento de distribuição de espaçamento nas distintas litologias observadas;
- ⇒ Avaliação da representatividade de cada método de cálculo de RQD para cada caso estudado, comparando, também, com resultados dos testes de aderência obtidos no Programa *Best Fit*;
- ⇒ Apresentação das dificuldades encontradas e sugestão de modelo para a realização de levantamentos geológico-geotécnicos, através de linhas de medida (*scanlines*) em grandes exposições rochosas.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Praticamente todos os dados obtidos através dos levantamentos realizados são apresentados em tabelas. Após tratados no Programa *DIPS*, os dados foram inseridos em tabelas (Tabelas 1 e 2). Nestas tabelas, colocou-se apenas as principais famílias de fraturas, para cada pedreira e para cada distinto litotipo (separou-se os dados da Pedreira Itacema, conforme o litotipo: xisto ou granito), que foram selecionadas a partir de diagrama estatístico de contagem de pólos, apresentados nas figuras 5 a 12.

Na Tabela 1 há um resumo dos dados obtidos, como o número, metragem das linhas de varredura e atitudes das principais famílias. Na Tabela 2 há um resumo dos principais parâmetros geológico-geotécnicos, organizados e separados em famílias definidos em estereogramas no Programa *DIPS*. Os parâmetros considerados foram descritos através de categorias, determinadas com bases em tabelas definidas por Barton *et al.*, (1974) (Tabelas 1A a 1D - Anexo C).

Os parâmetros de descrição semi-quantitativa considerados foram: espaçamento

médio entre juntas da mesma família, condições de alteração e rugosidade das paredes, tipos de preenchimento e persistência dos planos.

Foram descritas mais de 1600 descontinuidades, ao longo de 2 Km de linhas de levantamento sistemático, com diversas direções, localizadas nas paredes das pedreiras, de modo a interceptar as descontinuidades mais representativas.

Foi realizada a separação de zonas intensamente fraturadas que estão presentes nas pedreiras de granito (Construcap e Embu). Os dados destas zonas foram tratados juntamente com o restante e também separadamente, encontrando-se nas Tabelas 3 e 4. São apresentados os parâmetros mais representativos, além da quantidade de descontinuidades presentes em cada zona de concentração, da espessura da zona na direção transversal à linha de levantamento e do espaçamento predominante entre as descontinuidades no interior da zona.

Para a separação destas zonas, considerou-se principalmente as anotações realizadas no levantamento para cada pedreira, além de verificar um acúmulo de descontinuidades em espaço muito restrito, como, por exemplo, uma média de quinze ou mais juntas em apenas um metro.

Na Tabela 5 são apresentados os dados geológico-geotécnicos relevantes das falhas e planos estriados, tendo sido detectadas cerca de 30 ocorrências, apenas no granito. Essas falhas não exibem indícios de movimentação significativa e diferem da identificação dos planos estriados pela ocorrência de um conjunto de planos singulares associados, enquanto aqueles ocorrem de forma mais isolada no maciço. No restante das litologias não foi detectada a ocorrência de falhas ou planos estriados.

Tabela 1- Dados do Levantamento Sistemático e Atitudes das Famílias de Descontinuidades Presentes

Pedreira	Litotipo	Metragem de Scanline (m)	Total De Pólos	Número de Famílias Principais	Família	Número de Pólos por Família	Plano Médio Vetorial*	Plano de Concentração Máxima
Madeirense	Granito	273	188	2	F1	79	142/89	138/90
					F2	18	010/74	011/75
Itaberaba	Granito	200	218	4 a 5	F1	39	183/89	185/90
					F2	30	034/77	033/77
					F3	10	283/53	282/50
					F4	05	285/87	286/89
Construcap	Granito	498	310	5 a 6	F1	54	261/59	263/52
					F2	33	162/89	160/90
					F3	62	082/64	080/76
					F4	18	248/09	242/12
					F5	08	217/69	216/68
					F6	10	155/56	156/55
Embu	Granito	307	350	4 a 5	F1	99	287/40	276/39
					F2	26	112/45	112/46
					F3	49	013/85	020/89
					F4	16	206/57	204/57
Itacema	Granito	165	97	2	F1	33	062/77	066/75
					F2	16	007/56	010/57
Itacema	Xisto	407	456	5	F1	174	058/80	057/79
					F2	20	319/86	318/80
					F3	28	346/49	346/44
					F4 (foliação)	33	206/14	231/12
					F5	32	166/42	163/43
Cruzeiro	Calcário	89	275	4	F1	62	167/85	166/86
					F2	76	048/89	051/88
					F3	36	130/89	129/90
					F4 (acama.)	12	040/14	040/09
Cavinato	Diabásio	177	185	4	F1	93	146/74	135/75 e 154/68
					F2	28	046/39	042/33
					F3	27	053/75	043/73
					F4	12	168/13	167/15

* Atitude (287/39): rumo do mergulho/ ângulo de mergulho do plano.

Tabela 2 - Parâmetros Geológico-Geotécnicos Representativos das Famílias Presentes

Pedreira	Famílias	Espaçamento		Alteração (Ja*)	Rugosidade (Jr*)	Preenchimento	Persistência (m)
		Médio (m)	Desvio Padrão				
Madeirense (granito)	F1	1.30	1.28	0.75	1.5	Ausente	1 – 20
	F2	1.17	1.03	0.75	1.5-3.0	Ausente	1 – 20
Itaberaba (granito)	F1	0.90	0.66	0.75	1.5-3.0	Ausente	> 20
	F2	1.04	1.34	0.75	1.5-3.0	Ausente	1 – 20
Construcap (granito)	F1	1.02	1.07	0.75-2.0	1.5-3.0	Ausente	5 - > 20
	F2	1.55	2.36	0.75	1.5-3.0	Ausente	5 - > 20
	F3	1.31	2.21	0.75-2.0	1.5-3.0	Ausente/Óxidos	5 - > 20
Embu (granito)	F1	1.37	2.69	2.0	1.5	Ausente/Óxidos/ Argila	>20
	F2	0.51	0.82	2.0	1.5	Ausente/Argila	1 – 5 e 10 - >20
	F3	0.93	2.07	2.0	1.5	Ausente	10 – 20
Itacema (granito)	F1	1.16	1.08	0.75	1.5	Ausente/Epidoto/ Calcita	10 – 20
	F2	1.81	1.78	0.75	1.5-3.0	Ausente/Epidoto/ Sulfeto	1 – 20
Itacema (xisto)	F1	0.57	0.68	0.75	1.5	Ausente/Calcita	1- 20
	F2	0.49	0.43	0.75	1.5-3.0	Ausente/Calcita/ Sulfeto	1- 10
	F3	0.78	1.30	0.75	1.5-3.0	Ausente/Calcita	1 - >20
	F4	0.26	0.23	0.75	1.5-3.0	Ausente	>20
Cruzeiro (calcário)	F1	0.30	0.36	1.0	3.0	Ausente	<1 – 3
	F2	0.28	0.30	1.0	3.0	Ausente	1 – 10
	F3	0.32	0.34	1.0	3.0	Ausente	<1 – 3
	F4	0.21	0.27	1.0	1.0	Ausente	3 – 20
Cavinato (diabásio)	F1	0.91	0.88	1.0 – 0.75	3.0 – 2.0	Ausente	1 - > 20
	F2	1.10	1.16	1.0 – 0.75	3.0	Ausente	1 – 20
	F3	1.18	1.19	1.0 – 0.75	3.0 – 2.0	Ausente	1 – 5 e > 20
	F4	0.72	0.53	1.0 – 0.75	1.5 – 3.0	Ausente	5 - > 20

* conforme sugerido por Barton et al. (1974).

Tabela 3 - Zona de Fraturamento Concentrado
Parâmetros Geológico-Geotécnicos Representativos 1

Pedreira	Frente (scanline)	Nº de Descontinuidades por Zona	Atitude Preferencial	Espessura da Zona (m)	Espaçamento (m)
Construcap (granito)	N20E	07	157/36	0.4	0.057
	N20E	03	182/10	0.4	0.133
	N20E	03	212/37	0.2	0.067
	N20E	12	024/82	1.6	0.133
	N20E	11	162/75	2.6	0.236
	N80E	04	011/59 – 358/10	1.5	0.375
Embu (granito)	N80E	08	308/58	1.5	0.188
	N80E	09	293/36	1.5	0.167
	N80E	05	304/60	0.5	0.100
	N20W	15	207/57 – 332/65 – 126/70	2.5	0.167
	N20W	10	310/65	1.5	0.150
	N20W	14	115/68	2.0	0.143
	N40W	13	330/45	1.0	0.077
	N80W	07	052/88	0.5	0.071

Tabela 4 - Zona de Fraturamento Concentrado
Parâmetros Geológico-Geotécnicos Representativos 2

Pedreira	Frente	Alteração (Ja*)	Rugosidade (Jr*)	Preenchimento	Percolação
Construcap (granito)	N20E	0.75	3.0	Quartzo	Seco
	N20E	1.00	1.5	Ausente	Seco
	N20E	2.00	1.5	Ausente	Seco
	N20E	2.00	1.5	Óxidos	Seco
	N20E	2.00	1.5	Quartzo	Seco
	N80E	0.75	1.5	Material Brechado	Seco
Embu (granito)	N80E	2.00	1.5	Óxidos	Seco
	N80E	2.00	1.5	Ausente	Seco
	N80E	4.00	1.5	Argila	Seco
	N20W	2.00	1.5	Ausente	Seco
	N20W	2.00	1.5	Ausente	Filete
	N20W	2.00	1.5	Ausente	Filete
	N40W	2.00	1.5	Ausente	Seco
	N80W	2.00	1.5	Ausente	Seco

* conforme sugerido por Barton et al. (1974)

Tabela 5 - Dados Geológico-Geotécnicos Relevantes das Principais Famílias de Falhas e Planos Estriados - Granito

Tipo de Estrutura	Ordem de Frequência	Número de Pólos por Família	Plano de Concentração Máxima	Alteração (Ja*)	Rugosidade Predominante (Jr*)	Presença de Material Brechado	Persistência (m)
Plano Estriado	1	8	317/78	2.0	3.0 e 1.5	Ausente	> 20
Falha	2	6	345/32	4.0	3.0	Presente	> 20
Plano Estriado	3	4	357/57	2.0 e 5.0	1.5	Presente	10 – 20
Plano Estriado	4	3	358/60	< 2.0	1.5	Ausente	> 20
Falha	5	3	243/87	2.0	1.5	Ausente	< 20

* conforme sugerido por Barton et al. (1974).

A tabela a seguir apresenta os resultados dos testes de aderência para as distribuições exponencial negativa e log-normal, realizados para as pedreiras Embu, Cruzeiro e Cavinato. Para cada frente destas pedreiras, apresenta-se os testes Chi-quadrado e Kolmogorov-Smirnov. Para cada teste considerou-se um nível de confiança de 95%, definindo um valor crítico ($\alpha = 5\%$), sendo que os valores obtidos, apresentado entre parênteses, superiores ao valor crítico, a hipótese da distribuição é rejeitada (cor vermelha), enquanto valores inferiores ao valor crítico, é aceita (cor verde).

Tabela 6 – Testes Estatísticos de Aderência

Pedreira	Frente	Chi quadrado	Kolmogorov-Smirnov
Embu (granito)	1 – N38E	Lognormal (77,16) Exponencial (2452)	Lognormal (0,189) Exponencial (0,198)
	2 – N20W	Lognormal (52,02) Exponencial (84,95)	Exponencial (0,151) Lognormal (0,260)
Cruzeiro (calcário)	2 – N20W	Lognormal (8,922) Exponencial (28,23)	Lognormal (0,119) Exponencial (0,238)
	4 – N80E	Lognormal (7,905) Exponencial (77,19)	Lognormal (0,131) Exponencial (0,223)
	3 – vertical	Lognormal (12,41) Exponencial (27,58)	Lognormal (0,130) Exponencial (0,232)
Cavinato (diabásio)	1 – N70W	Exponencial (17,80) Lognormal (18,37)	Exponencial (0,147) Lognormal (0,221)
	2 – N15E	Lognormal (9,284) Exponencial (18,77)	Lognormal (0,104) Exponencial (0,112)
	3 – vertical	Lognormal (30,67) Exponencial (34,36)	Exponencial (0,163) Lognormal (0,203)

As tabelas de 7 a 14 apresentam os valores de RQD calculados a partir dos procedimentos sugeridos por Palmström (1982), Priest & Hudson (1976) e Sen & Eissa (1992), conforme citado no item 1.4.

Tabela 7 - Valores de RQD para Pedreira Construcap - Granito

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	EW+N80W	105.80	61	1.734	0.577		1.958		99.84	99.22
2	N20E	136.45	124	1.100	0.909		1.432		99.61	98.26
3	vertical	105.90	110	0.963	1.039		0.741		99.50	99.74
Total		348.15	295	1.180	0.847	2.52	1.646	100	99.66	98.64

Desvio padrão obtido a partir dos logaritmos neperianos (ln) dos valores de espaçamento entre as descontinuidades.

Tabela 8 - Valores de RQD para Pedreira Embu - Granito

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	N38E	103.1	88	1.172	0.854		1.103		99.66	98.64
2	N20W	79.2	108	0.733	1.364		0.872		99.15	96.64
3	Vertical	105.90	110	0.963	1.039		0.741		99.50	99.74
Total		288.20	306	0.942	1.062	3.2	1.350	100	99.47	97.78

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
4	N80E	74.90	82	0.913	1.095		1.084		99.44	98.3
5	N40W	42.20	55	0.767	1.303		1.373		99.22	96.86
3	Vertical	105.90	110	0.963	1.039		0.741		99.50	99.74
Total		223	247	0.903	1.108	3.4	1.236	100	99.43	97.56

Tabela 9 - Valores de RQD para Pedreira Itaberaba - Granito

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	N20E	28.00	28	1.000	1.000		1.011		99.53	98.90
2	N80W	25.20	31	0.813	1.230		1.076		99.30	97.83
3	Vertical	105.90	110	0.963	1.039		0.741		99.50	99.74
Total		159.10	169	0.941	1.062	3.3	1.048	100	99.47	98.42

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
4	N90E+N70E	75.70	69	1.097	0.911		1.273		99.61	98.42
5	N40W	75.20	83	0.906	1.104		1.012		99.43	98.57
3	vertical	105.90	110	0.963	1.039		0.741		99.50	99.74
Total		256.80	262	0.980	1.020	3.1	1.134	100	99.51	98.46

Tabela 10 - Valores de RQD para Pedreira Madeirense - Granito

Frente	Atitude	Comprimento(m)	Nº de descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	N80W+N75W+N85W	122.00	79	1.544	0.648		1.1454		99.80	99.45
2	N10E	45.20	41	1.102	0.907		0.8934		99.61	99.51
3	Vertical	105.90	110	0.963	1.039		0.7410		99.50	99.74
Total		273.10	230	1.187	0.842	2.6	1.0635	100	99.66	99.45

Tabela 11 - Valores de RQD para Pedreira Itacema - Granito

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	N10W	130.20	87	1.497	0.668		1.197		99.79	99.31
2	N40E	89.40	68	1.315	0.761		1.122		99.72	99.22
3	Vertical	105.90	110	0.963	1.039		0.741		99.50	99.74
Total		325.50	265	1.228	0.814	2.5	1.007	100	99.69	99.38

Tabela 12 - Valores de RQD para Pedreira Itacema - Xisto

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	N10E	97.40	206	0.473	2.115		1.301		98.06	93.32
2	N90E	45.90	156	0.294	3.399		0.845		95.38	86.86
3	Vertical	34.75	117	0.297	3.367		0.766		95.46	88.30
Total		178.05	479	0.372	2.690	8.9	0.923	85.69	96.97	91.15

Tabela 13 - Valores de RQD para Pedreira Cruzeiro - Calcário

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD Expneg	RQD Log
1	N38E	24.80	55	0.451	2.218		0.8186		97.88	95.15
2	N20W	33.15	55	0.603	1.659		0.6151		98.77	99.45
3	vertical	12.51	60	0.209	4.796		0.7410		91.59	76.73
Total		70.46	170	0.414	2.413	8.67	1.3500	86.38	97.52	91.92

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
4	N80E	22.42	84	0.267	3.747		1.212		94.51	84.61
5	N40W	6.41	80	0.080	12.480		1.003		64.53	41.29
3	vertical	12.51	60	0.209	4.796		0.610		91.59	79.10
Total		41.34	224	0.185	5.418	21.0	1.236	45.62	89.69	76.73

Tabela 14 - Valores de RQD para Pedreira Cavinato - Diabásio

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	N70W	55.20	46	1.200	0.833		1.162		99.67	98.93
2	N15E	55.72	60	0.962	1.04		1.14		99.50	98.34
3	vertical	12.10	19	0.637	1.570		1.02		98.89	96.71
Total		125.02	125	1.000	1.000	3.44	1.146	100	99.53	98.46

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão [#]	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
5	N60E	45.95	52	0.884	1.132		1.056		99.41	98.3
1	N70W	55.20	46	1.200	0.833		1.162		99.67	98.93
4	vertical	9.30	10	0.930	1.075		1.055		99.46	98.50
Total		110.45	108	1.023	0.978	3.04	1.100	100	99.55	98.64

As tabelas de 15 a 18 apresentam os valores obtidos de RQD para trechos menores, em torno de quinze metros cada, para algumas frentes de algumas pedreiras. As linhas em cor azul representam os valores das frentes completas, já apresentados anteriormente, tendo sido repetidos para facilitar a comparação. O RQD pelo Jv permaneceu o mesmo, optando-se por verificar como variavam os RQD's log e exponencial em pequenos trechos.

Tabela 15 – RQD de trechos para Pedreira Embu - Granito

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão*	RQD Jv	RQD Expneg	RQD Log
1	N38E	103.1	88	1.172	0.854		1.624		99.66	98.68
1/1	N38E	14.0	22	0.636	1.571		1.032		98.89	96.64
1/2	N38E	13.4	18	0.744	1.343		1.120		99.17	97.19
1/3	N38E	16.4	5	3.280	0.305		1.339		99.95	99.84
1/4	N38E	16.5	5	3.300	0.303		1.432		99.96	99.79
1/5	N38E	13.0	17	0.765	1.308		1.007		99.22	97.88
1/6	N38E	15.7	7	2.243	0.446		1.079		99.90	99.85
1/7	N38E	14.1	14	1.007	0.993		0.787		99.54	99.67
2	N20W	79.2	108	0.733	1.364		0.872		99.15	98.46
2/1	N20W	11.8	25	0.472	2.119		0.845		98.05	95.35
2/2	N20W	14.4	3	4.800	0.208		0.000		99.98	100
2/3	N20W	14.8	27	0.548	1.824		0.904		98.53	96.33
2/4	N20W	13.7	18	0.761	1.314		0.405		99.21	100
2/5	N20W	14.9	16	0.931	1.074		0.910		99.46	99.09
2/6	N20W	9.6	19	0.505	1.979		0.436		98.28	99.92
3	Vertical	105.9	110	0.963	1.039		0.741		99.50	99.74
Total		288.2	306	1.062	1.062	3.25	1.350	100	99.47	97.98

Tabela 16 - RQD de trechos para Pedreira Construcap - Granito

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão*	RQD Jv	RQD Expneg	RQD Log
1	N80W	116.8	63	1.854	0.539	2.45	1.400	100	99.86	99.36
1/1	N80W	20.6	8	2.575	0.388		1.244		99.93	99.79
1/2	N80W	16.4	5	3.280	0.305		0.473		99.95	100
1/3	N80W	18.6	4	4.650	0.215		0.677		99.98	100
1/4	N80W	14.5	12	1.208	0.828		1.307		99.68	98.64
1/5	N80W	13.4	10	1.340	0.746		1.664		99.74	98.68
1/6	N80W	17.4	13	1.338	0.747		1.234		99.73	99.04
1/7	N80W	15.9	11	1.445	0.692		1.423		99.77	98.93
2	N20E	134.4	117	1.149	0.871		1.184		99.64	98.38
2/1	N20E	15.25	17	0.897	1.115		0.888		99.42	99.09
2/2	N20E	15.4	19	0.811	1.234		1.190		99.30	97.44
2/3	N20E	15.35	18	0.853	1.173	2.45	1.113	100	99.36	97.93
2/4	N20E	14.8	15	0.987	1.014		0.745		99.52	99.76
2/5	N20E	14.9	4	3.725	0.268		0.474		99.96	100
2/6	N20E	15	23	0.652	1.533		1.268		98.94	95.99
2/7	N20E	15.2	12	1.267	0.789		0.923		99.70	99.62
2/8	N20E	13.8	5	2.760	0.362		0.786		99.94	100
2/9	N20E	14.7	4	3.675	0.272		2.447		99.96	99.82
3	Vertical	105.9	110	0.963	1.039		0.741		99.50	99.74
Total		357.10	290	1.231	0.812	2.45	1.646	100	99.69	98.64

Tabela 17 - RQD de trechos para Pedreira Cruzeiro – Calcário

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão*	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	N38E	24.80	55	0.451	2.218	8.67	0.819	86.38	97.88	95.15
1/1	N38E	13.00	22	0.591	1.692		0.937		98.72	96.64
1/2	N38E	11.80	33	0.358	2.797		0.701		96.75	93.57
2	N20W	33.15	55	0.603	1.659		0.615		98.77	99.45
2/1	N20W	15.15	22	0.639	1.452		0.657		99.04	99.52
2/2	N20W	18.00	33	0.545	1.833		0.583		98.51	99.36
3	Vertical	12.51	60	0.209	4.796	8.67	0.741	86.38	91.59	76.73
Total		70.46	170	0.414	2.413		1.35		97.52	91.92

Tabela 18 - RQD de trechos para Pedreira Cavinato – Diabásio

Frente	Atitude	Comprimento (m)	Nº de Descontinuidades	Espaçamento Médio (m)	λ (1/m)	Jv	Desvio Padrão*	RQD Jv	RQD expneg	RQD Log
1	N70W	55.20	46	1.200	0.833		1.162		99.67	98.93
1/1	N70W	14.60	12	1.217	0.822		1.158		99.68	98.98
1/2	N70W	15.35	12	1.279	0.782		1.120		99.71	99.18
1/3	N70W	11.75	11	1.068	0.936		1.260		99.59	98.38
1/4	N70W	13.50	11	1.227	0.815		1.259		99.69	98.78
2	N15E	55.72	60	0.929	1.077		1.140		99.46	98.17
2/1	N15E	14.26	15	0.951	1.052		1.244		99.48	97.98
2/2	N15E	12.90	16	0.806	1.240		0.876		99.29	98.81
2/3	N15E	14.76	15	0.984	1.016		1.291		99.52	98.03
2/4	N15E	15.80	14	1.129	0.886		1.222		99.63	98.64
3	Vertical	9.30	10	0.930	1.075		1.020		99.46	98.64
Total	Total	125.02	125	1.000	1.000	3.44	1.146	86.38	97.52	91.92

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Sistemas de juntas e descontinuidades descritas nas pedreiras

Analisando os estereogramas Schmidt-Lambert (Figuras 5 a 12), gerados a partir dos dados obtidos nos levantamentos, são realizadas considerações sobre as atitudes preferenciais e famílias existentes em cada pedreira.

Nas pedreiras Construcap e Embu, o granito tende a se apresentar mais fraturado (Fotos 4, 6 e 7). Nestas pedreiras, duas das principais famílias têm direção NNE e NNW, com mergulhos preferencialmente médios, em rumos opostos. Uma terceira família dispõe-se com direções, respectivamente ENE e WNW, e mergulho subvertical, quase ortogonais às duas primeiras famílias. Este conjunto de três famílias forma um padrão de compartimentação piramidal, praticamente idêntico nas duas pedreiras, sendo que apenas uma certa rotação das juntas ocorre de uma para outra pedreira. Isto pode ser observado nas Figuras 7 e 8. Outras duas ou três famílias ocorrem de forma complementar, com grande dispersão na orientação dos planos e presença de juntas aleatórias, perfazendo um total de quatro a seis famílias de descontinuidades em cada pedreira.

Na pedreira Itaberaba, ocorrem duas famílias principais com direções E-W e NW,

respectivamente subvertical e de alto ângulo de mergulho, além de uma terceira família complementar, com direção praticamente ortogonal às duas primeiras e ângulos de mergulho médios a altos, totalizando três famílias, acrescidas de juntas aleatórias (Figura 6).

Nas pedreiras Madeirense e Itacema, Figuras 5 e 9, o granito apresenta reduzido grau de fraturamento, com uma família principal de juntas cada, respectivamente com direções NE e NW, e mergulho de alto ângulo ou subvertical. Cada uma dessas famílias principais de cada pedreira guarda relação espacial semelhante com uma segunda família complementar, com direção aproximada E-W, de alto ângulo de mergulho para norte.

Nas pedreiras Itaberaba, Madeirense e Itacema, o maciço granítico apresenta-se menos fragmentado quando comparado com as Pedreiras Construcap e Embu, observando-se a presença de 2 famílias, localmente até 4 famílias de juntas, como na pedreira Itaberaba.

Além das juntas, foram observados, caracteristicamente nas pedreiras Construcap e Embu, a presença de intenso fraturamento concentrado em zonas do maciço com espessuras próximas a 2,6 metros e elevadas persistências (Fotos 2, 3 e 8), com a ocorrência de fraturas orientadas principalmente na direção geral de prolongamento dessas zonas. As atitudes preferenciais de desenvolvimento das zonas de fraturamento concentrado são de médio ângulo, com inclinações entre 36 e 68 graus.

A presença de algumas falhas no maciço granítico, nas Pedreiras Construcap e Embu, foi também observada e a direção preferencial dessas estruturas varia levemente em torno do eixo E-W, embora de maneira geral, elas sejam caracterizadas por planos singelos e movimentação incipiente. Algumas ocorrências secundárias com direção NW-SE foram também registradas. Os mergulhos são médios a altos.

Já nas lentes subhorizontais, mais espessas, do xisto encontrado na Pedreira Itacema, ocorre a concentração de até 3 a 5 famílias de juntas (Figura 10), incluindo a foliação, com elevado grau de fraturamento. De modo geral, a foliação de baixo ângulo de mergulho (F4) varia segundo direções NE a NW, evidenciando a presença de ondulações no bandamento tectônico. As famílias de alto ângulo de mergulho também variam nestas direções, NW e NE, porém as famílias de mergulhos inclinados concentram-se na direção E-W.

Na Pedreira Cruzeiro, o maciço apresenta descontinuidades subverticais a verticais (Figura 11), com direções variando entre W para as famílias 2 e 3, e E para a família 1. O acamamento primário, representado pela família 4, é subhorizontal, com direção NW.

A maior parte das juntas presentes na Pedreira Cavinato são subverticais (Figura 12), com mergulhos em torno de 70 a 85 graus e direções variando de NE a NW. Ocorre uma família de mergulho inclinado e direção NW, além de uma outra família, pouco representativa, subhorizontal, de direção E-W (Fotos 14 e 16).

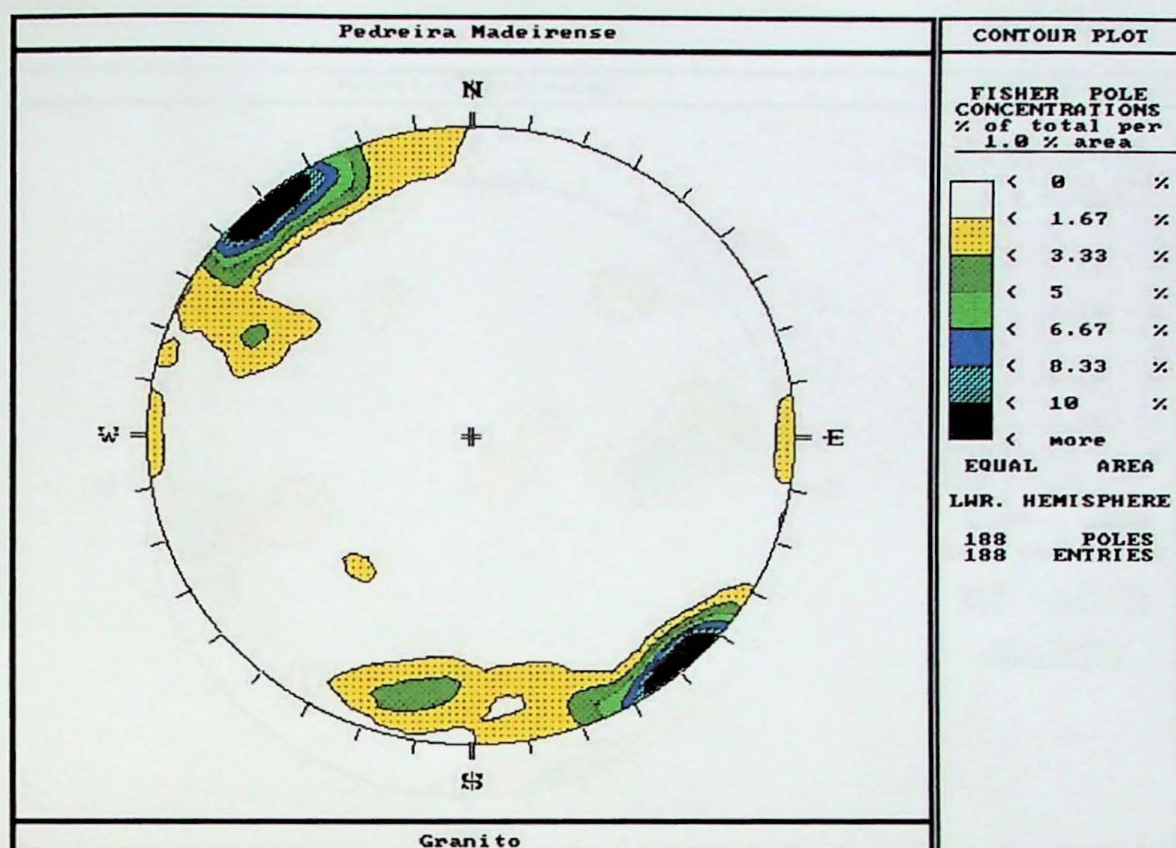


Figura 5 – Estereograma da Pedreira Madeirense – Granito

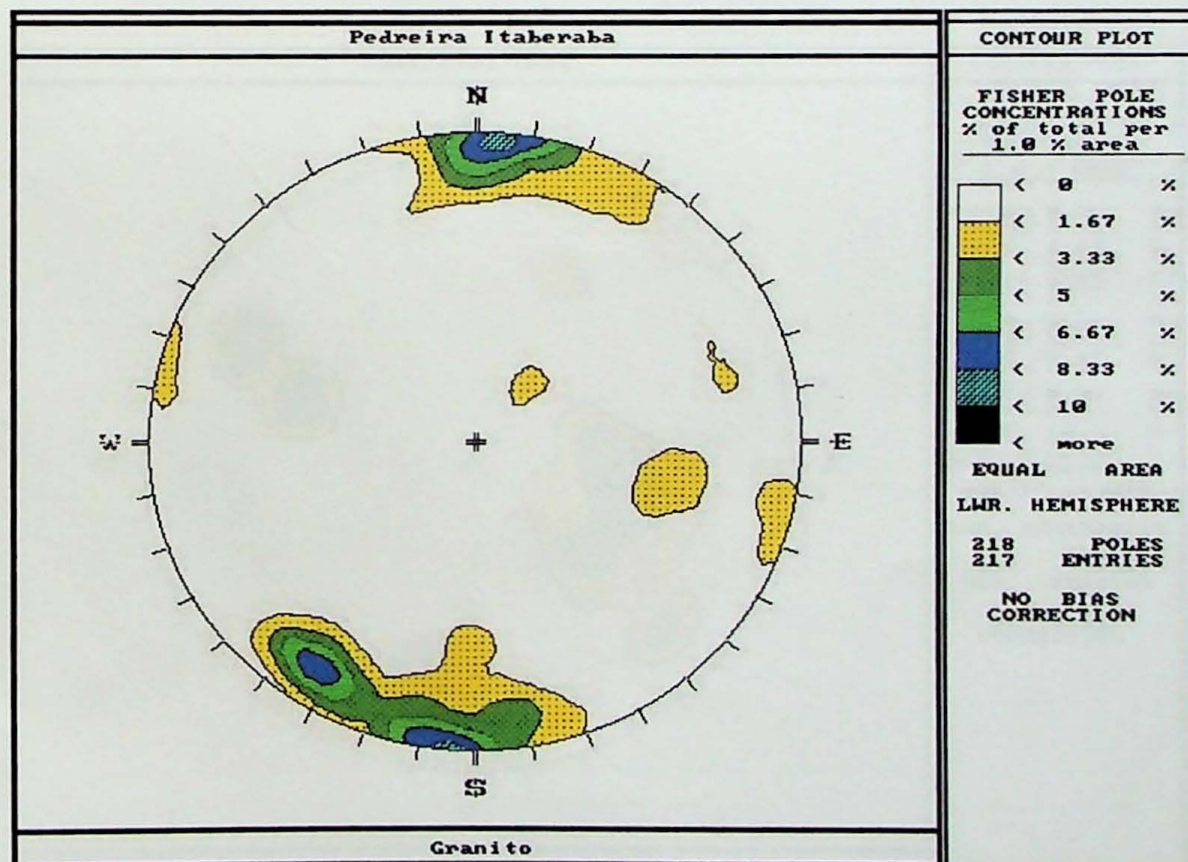


Figura 6 – Estereograma da Pedreira Itaberaba - Granito

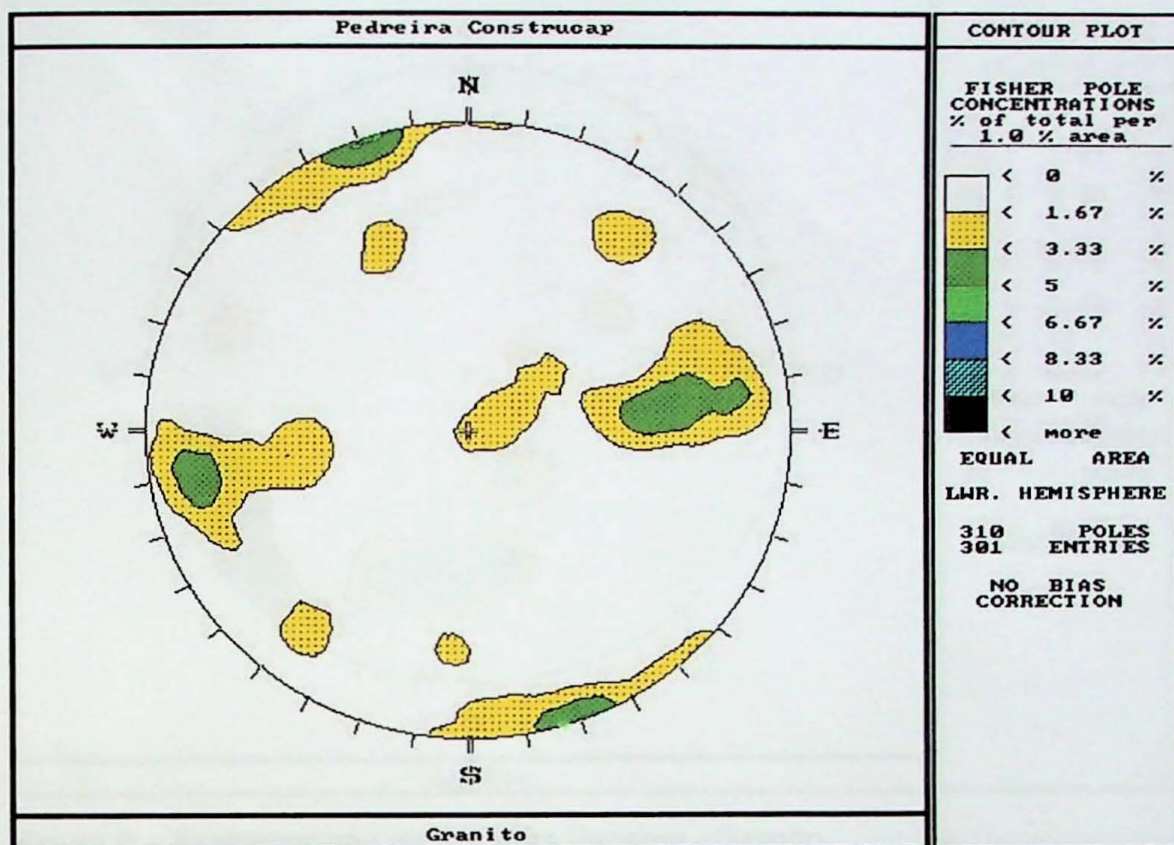


Figura 7 – Estereograma da Pedreira Construcap - Granito

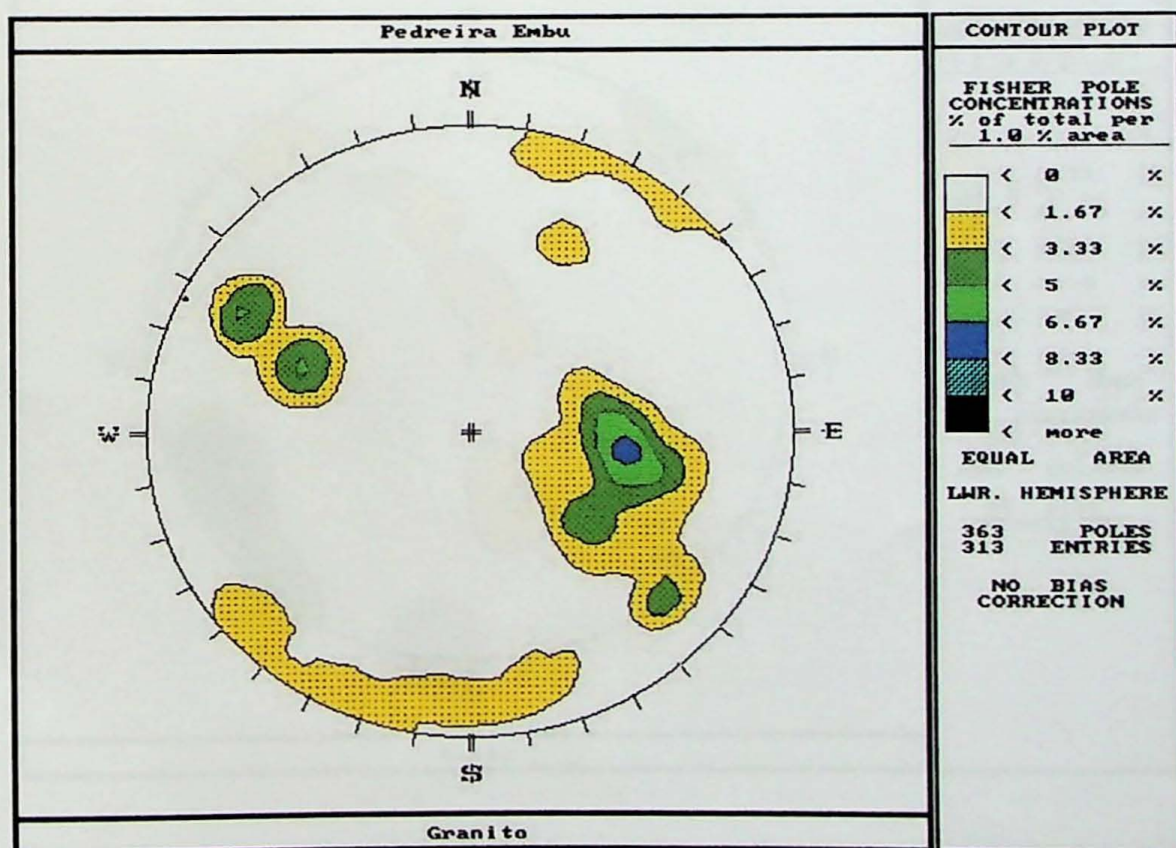


Figura 8 – Estereograma da Pedreira Embu - Granito

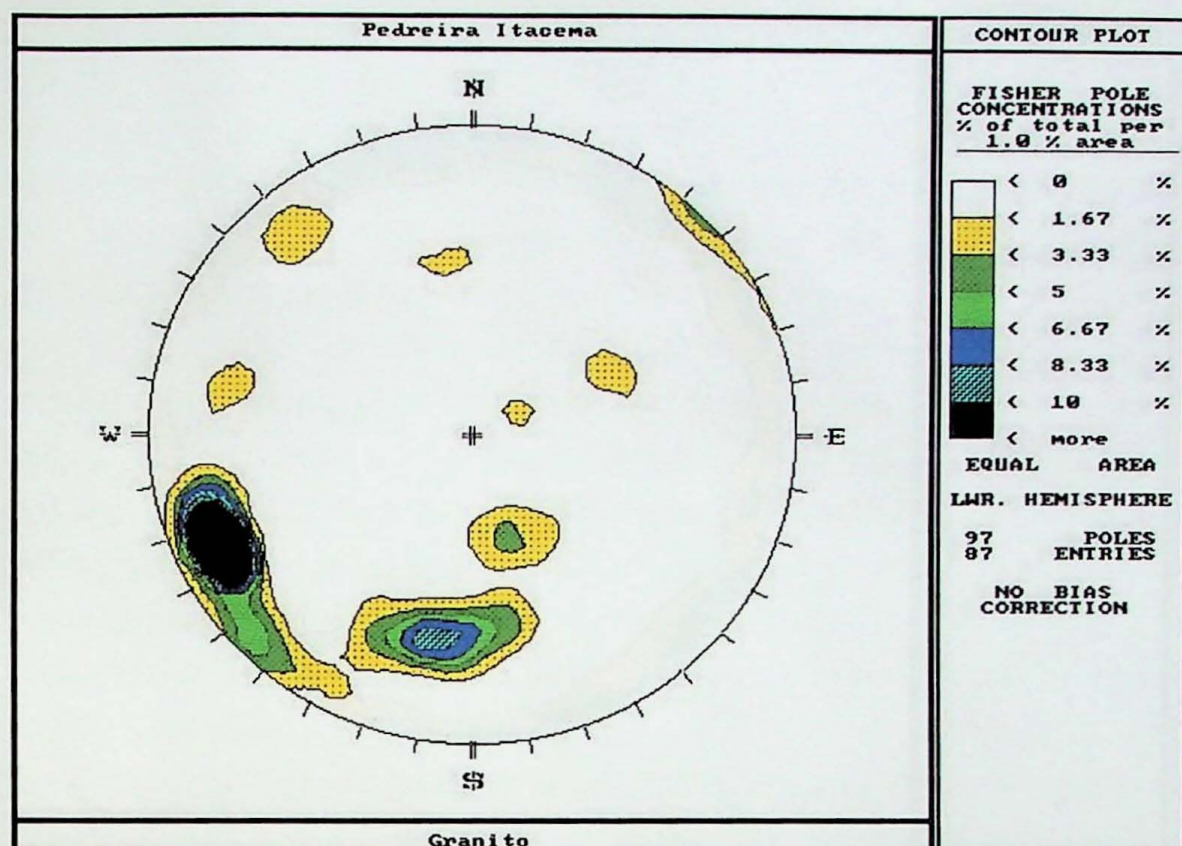


Figura 9 – Estereograma da Pedreira Itacema - Granito

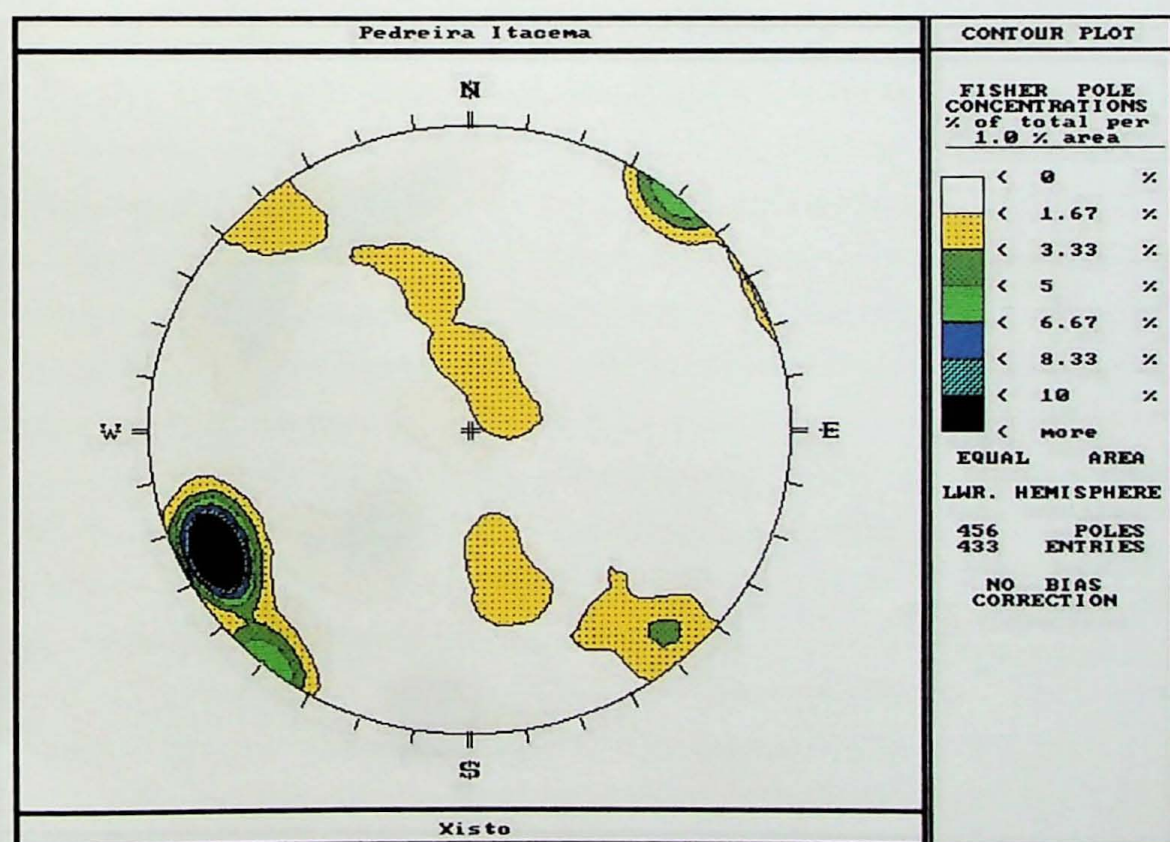


Figura 10 – Estereograma da Pedreira Itacema - Xisto

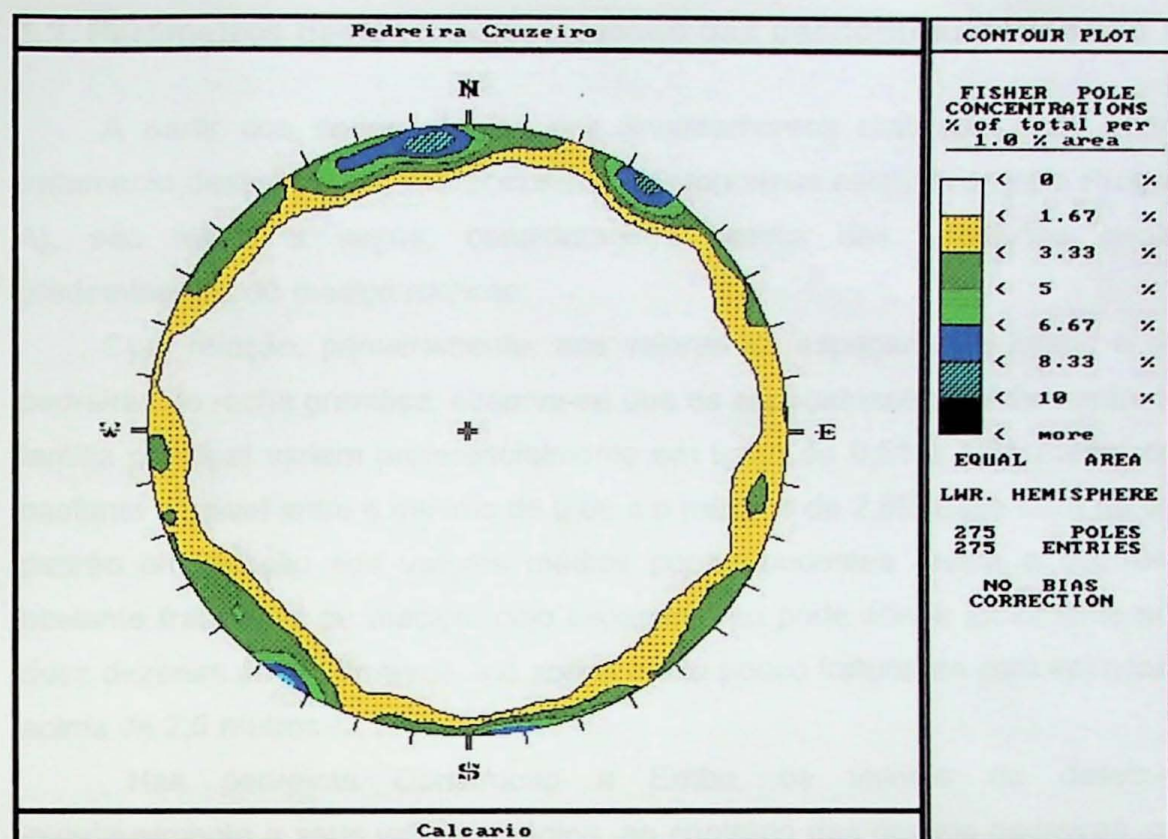


Figura 11 – Estereograma da Pedreira Cruzeiro - Calcário

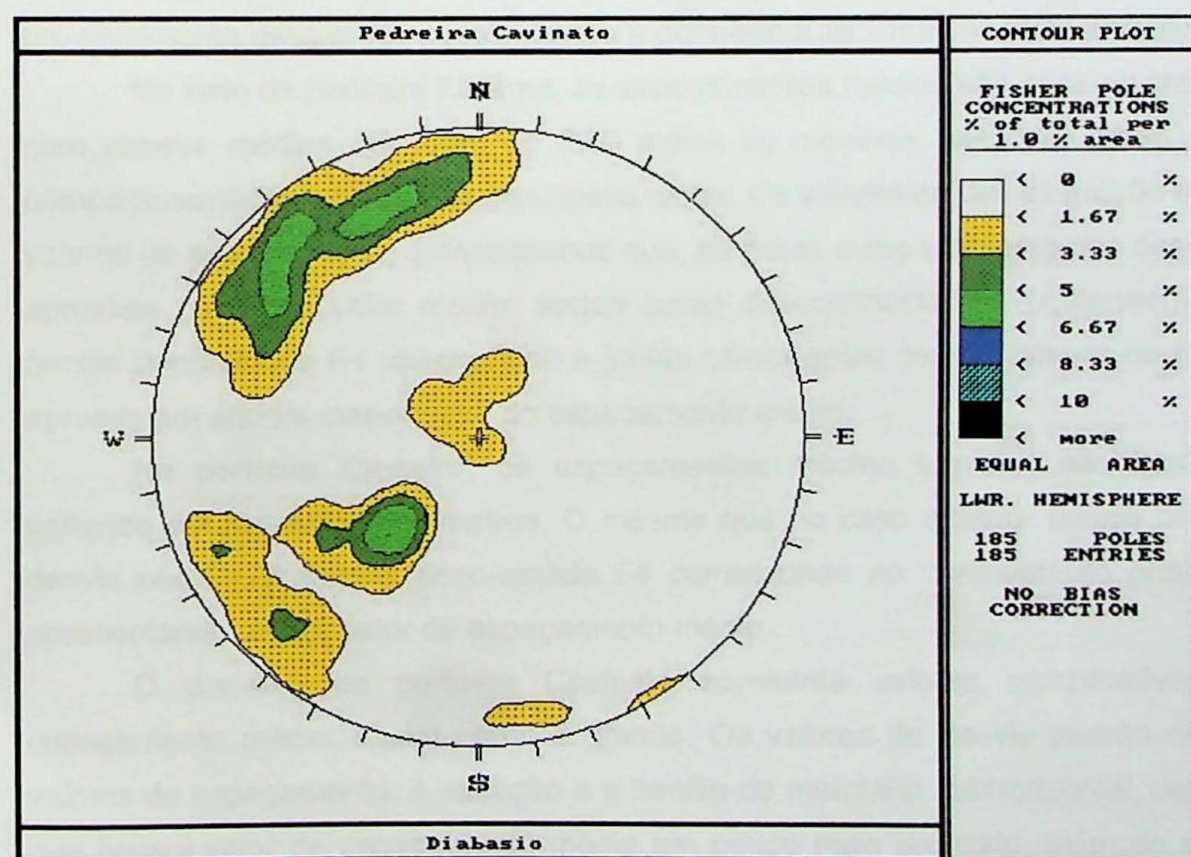


Figura 12 – Estereograma da Pedreira Cavinato - Diabásio

5.2. Parâmetros geológico-geotécnicos das discontinuidades

A partir dos dados obtidos nos levantamentos realizados nas pedreiras e posterior tratamento destes dados, confeccionando histogramas estatísticos pelo Programa *DIPS* (Anexo A), são feitas, a seguir, considerações acerca das condições geológico-geotécnicas predominantes do maciço rochoso.

Com relação, primeiramente, aos valores de espaçamento médio e desvio padrão das pedreiras de rocha granítica, observa-se que os espaçamentos médios entre as juntas em cada família principal variam preferencialmente em torno de 0,51 a 1,81 metro, com desvio-padrão bastante variável entre o mínimo de 0,66 e o máximo de 2,69. Essa faixa de variação do desvio-padrão em relação aos valores médios correspondentes revela a ocorrência desde zonas bastante fraturadas do maciço, cujo espaçamento pode atingir localmente em torno de uma a duas dezenas de centímetros, até zonas muito pouco fraturadas com espaçamento entre juntas acima de 2,5 metros.

Nas pedreiras Construcap e Embu, os valores do desvio-padrão superam invariavelmente a seus valores médios, ao contrário das demais pedreiras, o que demonstra a presença freqüente de faixas mais fraturadas intercaladas em porções do maciço menos fraturado, pois os valores de espaçamento não são considerados baixos. Ou seja, provavelmente esse efeito ocorre devido a ocorrência de zonas de fraturamento concentrado.

No xisto da pedreira Itacema, os espaçamentos médios são comumente mais reduzidos, com valores médios em torno de 0,50 metro ou menores, até 0,26 metro, comprovando a compartimentação mais acentuada dessa rocha. Os valores de desvio padrão são próximos dos valores de espaçamento, demonstrando que, no geral, o espaçamento das discontinuidades se aproxima muito do valor médio, sendo estas discontinuidades regularmente espaçadas. A família denominada F4 corresponde a juntas coincidentes com os planos de foliação, os quais apresentam aquele menor valor do espaçamento médio.

Na pedreira Cruzeiro, os espaçamentos médios também são bastante reduzidos, variando em torno de 0,27 metros. O mesmo que no caso anterior ocorre com os valores de desvio padrão. A família denominada F4 corresponde ao acamamento primário sedimentar, apresentando menor valor de espaçamento médio.

O diabásio da pedreira Cavinato apresenta valores comparativamente altos de espaçamento médio, assim como o granito. Os valores de desvio padrão são próximos dos valores de espaçamento. A exceção é a família de mergulho subhorizontal, denominada de F4, que possui valor de espaçamento médio um pouco mais reduzido, além do valor reduzido de desvio padrão, ressaltando a existência de trechos ora menos, ora mais fraturados.

A condição de alteração das paredes (Ja) das discontinuidades é mais avançada na

pedreira Construcap e sobretudo na Embu, onde predominam paredes pouco alteradas com película oxidada ($J_a = 2,0$), ao contrário das demais pedreiras, onde as discontinuidades apresentam paredes praticamente sãs, com preenchimento de mineral competente ou com pigmentação superficial ($J_a = 0,75$ e $1,0$). Em geral, as piores condições estão associadas às juntas do sistema principal (duas famílias), de médio ângulo de mergulho, com direções NNE ou NNW, ou, em menor proporção, à terceira família, de alto ângulo a subvertical, com direção em torno de E-W.

As discontinuidades apresentam o parâmetro de rugosidade (J_r), em geral, como superfícies ondulantes e rugosas ($J_r = 3,0$) ou superfícies planares ou polidas e pouco rugosas ($J_r = 1,5$ e $J_r = 2,0$). A categoria menos favorável de superfície de juntas (planares e pouco rugosas) ocorre mais frequentemente no maciço da pedreira Embu.

Em geral, os preenchimentos estão ausentes ou são constituídos de mineral competente, tais como calcita, epidoto, sulfetos, entre outros, embora nos planos de juntas com mergulhos médios, das pedreiras Embu e Construcap, seja freqüente a presença de óxidos e, em menor proporção, de películas de argila em ocorrências localizadas.

As persistências superam, em geral, 20 metros, com diversas ocorrências de juntas com mais de uma centena de metros de extensão (Foto 4). Ocorrências entre 5 ou 10 e 20 metros também são significativas. Na pedreira Cruzeiro os valores de persistência são bastante reduzidos, nunca ultrapassando 20 metros. Isto porque o fraturamento deste maciço se assemelha com uma parede de tijolinhos, onde uma junta termina em outra, geralmente esta última sendo subhorizontal (F4), que possui os maiores valores de persistência. No campo foi observado um fraturamento bastante diferenciado na Pedreira Cruzeiro do restante das pedreiras, devido a esta característica.

Com relação às zonas de fraturamento concentrado no granito observam-se espaçamentos médios entre 6 e 20 centímetros, distribuídos em faixas de 0,20 a 2,60 metros de espessura (Foto 8). As paredes das discontinuidades apresentam-se, em geral, pouco alteradas ($J_a = 2$), porém podem, localmente, ocorrer películas de argila ($J_a = 4$). Predominam superfícies planares e pouco rugosas ($J_r = 1,5$). O preenchimento varia desde ausente até a presença de argila, em vênulas descontínuas, sendo comum oxidação e, localmente, material brechado (fragmentos de rocha e areia). Tais planos encontram-se normalmente secos nas paredes das pedreiras, porém com ocorrências de gotejamento ou até filetes localizados de água de infiltração, aparentemente superficial.

Com relação às falhas observadas, o estado de alteração máximo destas corresponde a superfícies alteradas a pouco alteradas, com a presença de material brechado, constituído por fragmentos de rocha e areia. As espessuras podem atingir entre 5 e 10 centímetros, em pontos localizados, sem continuidade. As persistências superam 20 metros.

5.3. Cálculos de RQD's

Como já citado anteriormente, foram utilizados três métodos de cálculo do valor de RQD (Rock Quality Designation), utilizando os valores de espaçamento medidos nas linhas de varredura. Serão discutidos os resultados obtidos para cada pedra, além de apresentar uma comparação geral da expectativa do RQD. Histogramas comparativos destes valores de RQD, obtidos para cada pedra, encontram-se no Anexo B. Serão comentados também os testes de aderência realizados.

Com relação aos valores obtidos dos RQD's, as frentes no granito e no diabásio apresentam os maiores valores, sendo que para o RQD obtido pelo Jv, atingem 100%, para o RQD exponencial encontram-se acima de 99%, diminuindo suavemente apenas os valores de RQD log, dependendo do espaçamento médio e desvio padrão para cada caso. Já nas frentes levantadas no calcário e xisto, os valores de RQD são moderados, sendo que de um modo geral, o RQD pelo Jv apresenta os menores valores. Isto ocorre pois para a distribuição do RQD pelo Jv, há um patamar até o valor de 4,5 do Jv, decrescendo então para valores maiores de Jv.

Na pedra Construcap, os valores de espaçamento médio são relativamente altos, diminuindo um pouco apenas para a linha de medida 2, o que faz diminuir comparativamente o valor do RQD log, com relação às outras linhas. Os valores do desvio padrão ultrapassam os valores do espaçamento médio, o que pode estar refletindo a presença de trechos muito fraturados dispersos no maciço.

O mesmo ocorre na pedra Embu em algumas frentes, provavelmente relacionado à mesma razão que na pedra Construcap. Nesta pedra as frentes 2 e 5 apresentam os valores de RQD log comparativamente um pouco mais baixos que o restante, possivelmente porque as direções destas frentes (N20W e N40W) interceptam duas das famílias mais freqüentes, F1 e F2, sendo que a família F2 possui o menor valor de espaçamento médio (0,51m). Porém, no caso da frente 5, o valor do RQD log é um pouco maior que na frente 2, provavelmente porque o valor do desvio padrão é maior que na linha 2, então para um espaçamento menor e desvio padrão maior, o RQD log resultante será maior.

Na pedra Itaberaba os valores de espaçamento médio e desvio padrão, para cada frente, são similares e próximos a 1m. Os valores de RQD são altos, sendo que o menor valor é o da frente 2, devido a um menor valor de espaçamento. Situação relativamente similar ocorre nas pedras Madeirense e Itacema, no caso da rocha granítica, com diferença apenas nos valores de desvio padrão que, comparando com a pedra Itaberaba, são sempre menores que os valores de espaçamento.

Para as frentes localizadas no xisto, da pedra Itacema, os valores de espaçamento são baixos. Os valores de desvio padrão são invariavelmente mais altos, o que neste caso deve

aumentar os valores de RQD log, pois mostra que nem todos valores de espaçamento estão próximos da média, provavelmente significando a presença de trechos um pouco menos fraturados presentes no maciço. Os maiores valores de RQD são pela equação exponencial e os menores são pelo Jv. O baixo valor da linha vertical (frente 3) deve-se, essencialmente, pelo baixo espaçamento da F4, relativo à foliação inclinada.

A F4 também abaixa acentuadamente os valores de espaçamento das frentes verticais, no calcário da Pedreira Cruzeiro, reduzindo com isso principalmente os valores de RQD log e contribuindo com o baixo valor do RQD pelo Jv. Os valores de desvio padrão são bastante elevados, evidenciando a presença de algumas faixas pouco fraturadas no maciço. O valor de RQD pelo Jv é muito mais baixo, praticamente a metade, para o segundo grupo de frentes (4, 5 e 3). Isto devido ao baixíssimo valor de espaçamento da linha 5.

No caso das frentes levantadas no diabásio todas possuem valores altos para todos os RQD's obtidos, pois os valores de espaçamento médio são relativamente altos, com exceção da frente vertical (frente 3) que possui espaçamento um pouco menor que os outros (0,6m). Os valores de desvio padrão são relativamente mais altos no caso das frentes 2, 3 e 5, se aproximando dos valores de espaçamento médio para as demais frentes. No caso da frente 3 o valor de desvio padrão mais alto pode estar evidenciando uma melhor qualidade do maciço, pois estaria indicando a presença de zonas menos fraturadas.

Com relação aos testes de aderência realizados notou-se que, em muitos casos, a distribuição que melhor se ajustou foi a distribuição lognormal.

No caso da Pedreira Cruzeiro a distribuição log-normal se ajustou muito bem, quando comparado com a distribuição exponencial, o que de certa forma é um pouco duvidoso, pois no calcário as descontinuidades são na maioria pouco espaçadas e na minoria muito espaçadas, o que levaria a uma distribuição exponencial negativa. Provavelmente pode ter ocorrido uma deficiência na amostragem.

No caso da Pedreira Cavinato para uma das frentes, de orientação N70W, o melhor ajuste é a distribuição exponencial negativa e para outra frente, N15E, é a lognormal. Isto com certeza ocorreu devido à amostragem destas frentes, pois a primeira frente não corta as descontinuidades tão ortogonalmente como a segunda, o que pode ter gerado um enviesamento dos dados, modificando a distribuição ajustada.

Para o caso do granito a distribuição lognormal é a que melhor se ajusta, o que é esperado, pois numa rocha granítica ocorrem alguns trechos muito fraturados, mas não são tão freqüentes como no calcário. Este programa deve ser utilizado com muita cautela, pois se não for realizada uma boa amostragem o resultado pode fugir da realidade. Mas de um modo geral a distribuição lognormal foi mais bem ajustada que a exponencial negativa.

A figura 13 apresenta um gráfico exemplificando os três métodos de cálculo de RQD.

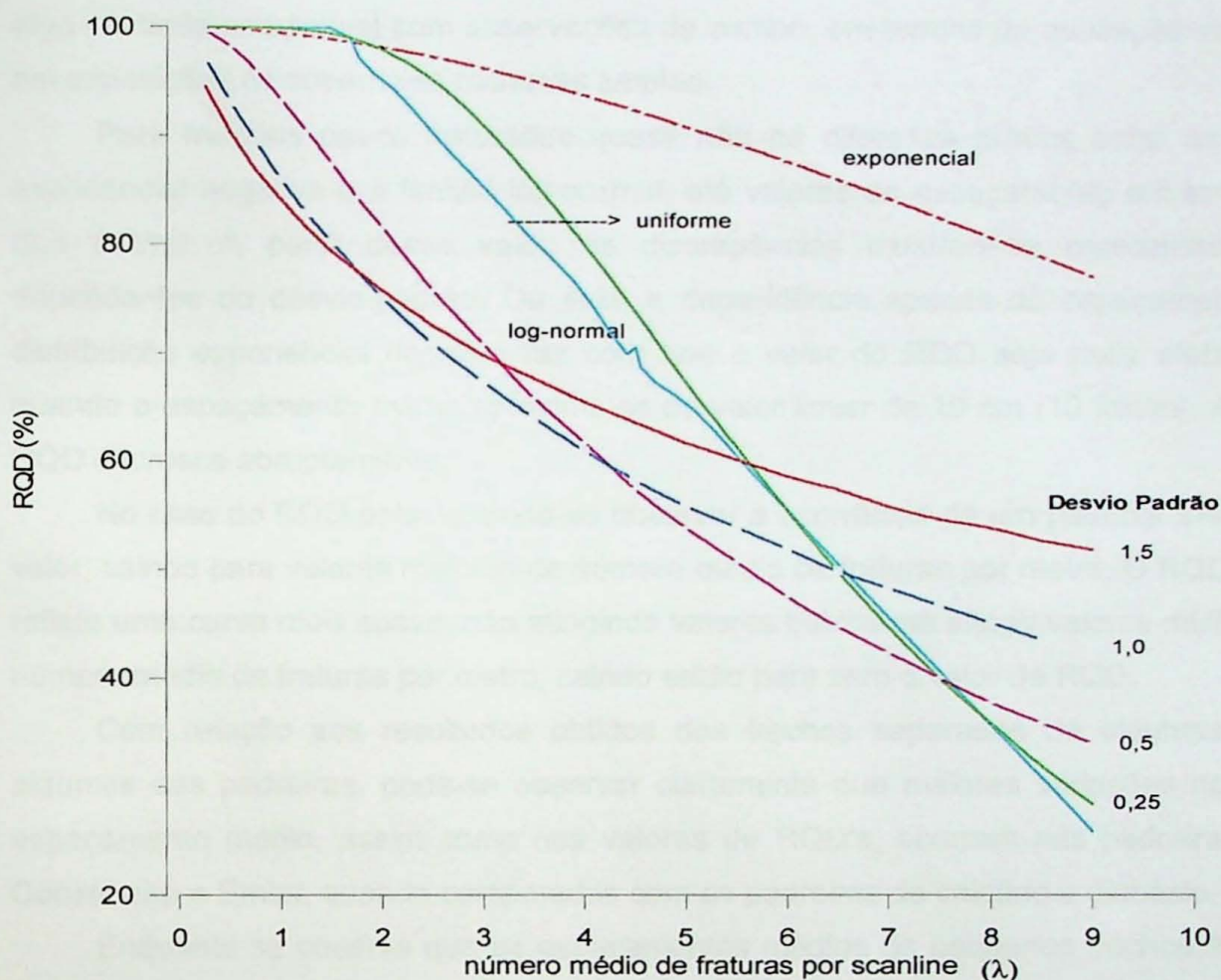


Figura 13 – Comparação da expectativa do RQD das distribuições log-normal, exponencial negativa e uniforme, em função da quantidade média de fraturas

Foram plotadas quatro curvas com diferentes valores logaritmizados de desvio-padrão (0,25; 0,50; 0,75 e 1,0), correspondentes à distribuição lognormal, uma quinta curva para a distribuição exponencial negativa e a sexta curva para a distribuição uniforme do valor de J_v . O intervalo do espaçamento abrangido no gráfico varia desde quase 10 centímetros até acima de 2 metros, e foi representado através do número médio de fraturas por metro de linha ("scanline"), ou seja o valor inverso do espaçamento ($1/\lambda$). Para o cálculo do RQD pelo J_v , atribuiu-se valores iguais de λ para as três frentes ortogonais entre si.

Verifica-se a forte influência do desvio-padrão no valor estimado do RQD, para a família de distribuição log-normal. Para maciços muito fraturados (relação elevada número de fraturas/metro), um valor de desvio-padrão mais alto (1,0) resultará em RQD médio superior, quando comparado com o valor equivalente a desvio-padrão mais reduzido (0,25). No outro extremo, a situação se inverte, para maciços pouco fraturados (reduzido número de

fraturas/metro), o desvio-padrão mais alto reduz a estimativa do RQD médio, pois reflete a ocorrência de zonas mais fraturadas, e vice-versa. Do ponto de vista físico, tal inversão sugere algo bastante compatível com observações de campo, em termos de avaliação visual do RQD, em exposições de superfícies rochosas amplas.

Para maciços pouco fraturados quase não há diferença prática entre as distribuições exponencial negativa e a família log-normal, até valores de espaçamento em torno de 40 cm (2,5 frat/m). A partir desse valor, as discrepâncias mostram-se crescentes e bastante dependentes do desvio-padrão. Ou seja, a dependência apenas do espaçamento médio da distribuição exponencial negativa faz com que o valor do RQD seja mais afetado, somente quando o espaçamento médio aproxima-se do valor limiar de 10 cm (10 frat/m). A partir daí, o RQD decresce abruptamente.

No caso do RQD pelo J_v , pode-se observar a ocorrência de um patamar até determinado valor, caindo para valores maiores de número médio de fraturas por metro. O RQD exponencial reflete uma curva mais suave, não atingindo valores baixos até atingir valores muito maiores de número médio de fraturas por metro, caindo então para zero o valor de RQD.

Com relação aos resultados obtidos dos trechos separados de algumas frentes, em algumas das pedreiras, pode-se observar claramente que maiores variações nos valores de espaçamento médio, assim como nos valores de RQD's, ocorrem nas pedreiras de granito, Construcap e Embu, quando comparadas com as pedreiras de calcário e diabásio.

Enquanto se observa que os espaçamentos médios de pequenos trechos, nas pedreiras Cavinato e Cruzeiro, diabásio e calcário, respectivamente, oscilam em torno do espaçamento médio da frente inteira, o mesmo não ocorre nas pedreiras Embu e Construcap. Nestas primeiras pedreiras, os valores de RQD não se alteram muito quando comparado com o RQD da linha completa, talvez porque nestas pedreiras as linhas não foram tão longas como nas pedreiras de granito para apresentar variações relevantes, mas, principalmente, por serem rochas que apresentam um padrão de fraturamento mais homogêneo que o granito.

No calcário, o padrão que lembra uma parede de tijolinhos, assim como no diabásio, que apresenta basicamente as juntas subverticais, principalmente relacionadas a juntas de resfriamento, seguem uma distribuição de espaçamentos mais uniforme, onde o espaçamento médio de um trecho representa bem o espaçamento médio geral, que se reflete na constância dos valores de RQD.

Porém, no caso do granito, especialmente nestas duas pedreiras, com o fraturamento talvez mais aleatório, as fraturas se concentram intensamente em alguns trechos. Um exemplo disto são os pequenos trechos 2/1 e 2/2, de orientação N20W, na Pedreira Embu, onde no primeiro trecho, ocorrem 25 descontinuidades em 11,8 metros, enquanto que, no segundo trecho, ocorrem apenas 3 descontinuidades em 14,4 metros, variando os valores de

espaçamento médio de 0,472 para 4,8 metros, respectivamente. O mesmo ocorre nos trechos menores 2/5 e 2/6, de orientação N20E, na Pedreira Construcap, onde no primeiro trecho citado ocorrem 4 fraturas em 14,9 metros e no segundo, 23 fraturas em 15 metros, variando os valores de espaçamento médio de 3,725 a 0,652 metros, respectivamente.

É interessante, também, notar como os valores de RQD exponencial e RQD log variam nestes casos anteriores. Na pedreira Construcap, para os trechos citados, o RQD exponencial varia de 99,96% (trecho de maior espaçamento) para 98,94% (trecho de menor espaçamento), enquanto que, na mesma sequência, para o RQD log, os valores variam de 100% para 95,99%, sendo que os valores de desvio padrão, respectivamente, são 0,474 e 1,268 metros. Provavelmente, o desvio padrão baixo, para o espaçamento médio alto, aumentou significativamente o valor médio do RQD log, alcançando 100%.

Na pedreira Embu, o desvio padrão muito baixo, no caso do trecho 2/2, de orientação N20W, também aumentou significativamente o valor do RQD log, comparando com o RQD exponencial. O RQD do trecho menor 2/1, N20W, também apresenta um RQD log menor que o RQD exponencial.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste trabalho algumas observações e certas conclusões foram alcançadas, principalmente com relação à sistemática e a aplicação desta técnica de levantamento através de linhas de medida (*scanlines*). Considera-se uma técnica muito útil para ser aplicada em diversas obras de engenharia, para o conhecimento e caracterização do maciço rochoso, porém havendo necessidade de padronizá-la, principalmente com relação à técnica de amostragem.

Como o intuito é o conhecimento mais aprofundado do maciço rochoso, procurando quantificar as características descritas, a amostragem é essencial. Porém, nem sempre é dada a devida atenção, ou algumas vezes o que se tem em mãos não se aproxima do ideal. Como, por exemplo, em algumas das pedreiras visitadas não haviam opções para a realização de linhas de medida ortogonais, pois as paredes das pedreiras não possuem esta geometria. Outras vezes, o levantamento de uma linha vertical era praticamente impossível devido a altura elevada dos taludes, principalmente quando se tratava de uma pedreira desativada.

Outra adversidade encontrada com a amostragem foi, também, o fato das pedreiras estarem em atividade e ocorrendo desmontes freqüentes, fazendo com que o maciço se encontrasse extremamente danificado, no qual nem todas as fraturas eram descontinuidades originais da rocha. Isto prejudicava, também, o posicionamento mais adequado das linhas de medida (*scanlines*), pois as rochas encontravam-se acumuladas irregularmente na base dos

taludes, dificultando, além da medição, a definição exata da sua intersecção com trena, ou seja, o espaçamento propriamente dito.

Acredita-se que, para sanar pelo menos parcialmente esta adversidade, deve-se dar preferência à escolha de frentes de escavação abandonadas quando possível, e a fixação de uma fita em uma altura razoável para delimitar a linha com exatidão.

Isto acarreta um problema de precisão no levantamento de espaçamentos, em especial dos situados próximos do valor limite adotado no cálculo do RQD, que se reflete na estimativa dos valores de RQD mais reduzidos.

Outra questão a ser levantada é o fato das pedreiras, assim como os taludes de rodovias ou ferrovias não tratados, se situarem preferencialmente em maciços de boa qualidade. Isto já implica em um enviesamento dos dados obtidos. Nessas condições, sugere-se a inspeção cuidadosa de afloramentos naturais situados nas proximidades das pedreiras, de forma a complementar os dados em particular nas condições mais desfavoráveis do maciço, não detectadas anteriormente.

Então, percebe-se que um dos principais problemas é o da amostragem, como já notado por outros autores. Baecher & Einstein (1977), por exemplo, citam o problema de se medir preferencialmente as juntas mais persistentes, ocorrendo um enviesamento dos dados. Já Xing & Guohua (1990), acreditam que a altura limitada dos taludes na pedreira poderia mascarar o comprimento de uma junta muito persistente.

Estes problemas foram encontrados na realização deste trabalho e como solução acredita-se que seja extremamente necessário a realização de um planejamento prévio do experimento, onde seria dada uma maior atenção ao plano de amostragem, evitando, desta forma, enviesamento de dados e aproximando-se mais da realidade.

Com relação ao tratamento destes dados o uso de *softwares* é sempre favorável, facilitando muito a análise, incluindo a utilidade para confecção de histogramas e estereogramas. Porém, deve-se ter a cautela de analisar os resultados obtidos correlacionando com o observado e anotando distinções encontradas. Como, por exemplo, no caso de zonas intensamente fraturadas, mas restritas no maciço. Estas zonas podem ser mascaradas num tratamento geral do maciço e podem causar um grande problema em uma obra de engenharia. Por isso aconselha-se o tratamento separado destas zonas, assim como de elementos específicos, tais como falhas, planos estriados ou diques.

O parâmetro RQD é extremamente útil para auxiliar na classificação do maciço, sendo por ele só uma caracterização preliminar da qualidade do maciço.

O ideal é que o RQD seja considerado, nessa fase, segundo faixas de valores resultantes da aplicação dos métodos alternativos. O RQD médio obtido por qualquer dos métodos refere-se a extensões longas do maciço e pode diferir se o cálculo é realizado para segmentos

menores, como no caso análogo de manobras de sondagem.

O RQD obtido em linhas de medida provavelmente se aproxima mais da realidade encontrada ao se realizar uma obra linear horizontal, como túneis, por exemplo, se comparado às sondagens verticais. Este fato permite uma boa avaliação do maciço, porém deve-se considerar qual a proximidade da obra a ser realizada desta linha em que foi obtido o RQD.

Estima-se que o método mais adequado de cálculo de RQD, no caso de um maciço fraturado irregularmente, apresentando extensos espaços sem descontinuidades e outros muito fraturados, é através da distribuição lognormal. Porém, no caso de tratar-se de um maciço regularmente muito fraturado, provavelmente a distribuição exponencial negativa seria mais adequada. O método através do J_v não seria muito aconselhável para maciço pouco fraturado, pois não é sensível para valores de J_v menores que 4,5, como ocorre também com a distribuição exponencial negativa (Figura 13). Sugere-se o uso de mais de uma opção para o cálculo do RQD preliminar, sempre levando-se em conta a geologia observada como guia para escolha entre o mais representativo.

Conclui-se que, o uso deste método alternativo de levantamento através de linhas de medida, é válido na fase preliminar e supre a ausência de dados de sondagens, permitindo a classificação inicial de maciços. Quando existem sondagens, este expediente de cálculo, também, é útil na complementação dos dados obtidos nos testemunhos, pois pode acrescentar ao conjunto de dados, às classificações referentes às superfícies de exposição do maciço, como taludes de corte e afloramentos de grandes dimensões.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAECHER G. B. & EINSTEIN, H.H. Statistical Description of Rock Properties and Sampling, 18th Symp. On Rock Mechanics, p 5C1-1 – 5C1-8, Londres, 1977.
- BARLA, G.; SCAVIA, C.; ANTONELLIS, M.; GUARASCIO, M. Characterization of Rock Mass by Geostatistical Analysis at the Masua Mine. In: 6° International Congress on Rock Mechanics, v. 2, p. 777-785, Montreal, Canadá, 1987.
- BARTON, N.; LIEN, R. & LUNDE, J. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock mechanical, v. 6, n. 4, p.189-236, 1974.
- BIENIAWSKI Z. T. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. The Civil Engineer in South Africa, 15, p 335 – 343, 1973.

- BRIDGES, M. C. Presentation of Fracture Data for Rock Mechanics. 2nd Australian – New Zealand Conference on Geomechanics, p 144-148, Brisbane, 1975.
- BISTRICHI, C. A. Geologia do Sinclínio de Pirapora, SP. Dissertação de Mestrado. Inst. Geoc. USP, 92p, São Paulo, 1982.
- CAMPOS, H. C. N. S. Caracterização Cartográfica das Províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Inst. Geoc. USP, 177p., São Paulo, 1993.
- CORREIA, C. T.; SZABÓ, G. A. J.; ULBRICH, H. H. G. J.; JANASI, V. A.; KIHARA, Y. GMP-205 Elementos de Mineralogia e Geologia – Aulas Teóricas: Textos Condensados. Inst. Geoc. USP, 118p, São Paulo, 1992.
- DANTAS, A. S. L. Geologia da Faixa São Roque e Intrusivas Associadas na Região entre Mairiporã e São Paulo, Norte da Grande São Paulo. Dissertação mestrado, IGUSP, 1990.
- DEERE D. U. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes. Rock Mech Eng. Geol. 1, p 17 – 22, 1964.
- DIEDERICH, M. S. & HOEK, E. DIPS – Version 4.0 – Advanced Version. Rock Engineering Group, Department of Civil Engineering, University of Toronto, 1989-96.
- EINSTEIN, H.H. & BAISCH, G.B. Probabilistic and Statistical Methods in Engineering Geology – Specific Methods and Examples- Part I: Exploration. Rock Mechanics and Rock Engineering 16, p39-72 (1983).
- FRANCISS, F.O. & ROCHA, H.C. Obras Subterrâneas Civis, Geologia de Engenharia. Ed. Antonio Manoel S. de Oliveira e Sérgio N. A. de Brito, CNPq, FAPESP, São Paulo, 1998.
- FÚLFARO, V. J.; SAAD, A. R.; SANTOS, M. V.; VIANNA, R. B. Compartimentação e Evolução Tectônica da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências. V. 12, n.4, p. 590-610, 1982.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A. Os Granitos e Granitóides da Região de Dobramentos do Sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Anais...Recife, SBG, V. 6, p. 2579-2593, Recife, 1978.
- HUDSON, J.A. & PRIEST, S.D. Discontinuities and Rock Mass Geometry. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 16, p 339-362, 1979.
- INFANTI, N. Previsão da Qualidade Geomecânica dos Maciços Rochosos em Obras Subterrâneas. 3(Simpósio Sobre Escavações Subterrâneas, ABGE, p 97 – 108, 1994.

- INTERNATIONAL SOCIETY for ROCK MECHANICS – ISRM. Suggested Methods for the Quantitative Description of Rock Masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, vol. 15, nº 6, p.319-368, 1978.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000, IPT, PROMINÉRIO, V.1, São Paulo, 1981.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Caracterização Geológica e Geomecânica Preliminar do Maciço Rochoso, na Área de Interesse ao Projeto dos Túneis na Serra da Cantareira – Relatório Nº 43548 – IPT, 146p., São Paulo, 2000.
- INSTITUTO GEOLÓGICO. Subsídios para o Planejamento Regional e Urbano do Meio Físico na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba, SP. V. 2, p. 167-210, São Paulo, 1995.
- KULATILAKE, P. H. S. W. & WATHUGALA, D. N. Stochastic three Dimensional Joint Geometry Modelling Including a Verification to na Area in Stripa Mine, Sweden. Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Rossmanith (ed.), Balkema, Rotterdam, 1990.
- LA POINTE, R. P. Analysis of the Spatial Variation in Rock Mass Properties Through Geostatistics. In: Proceedings of the 21st U. S. Symposium on Rock Mechanics, pg 570-580, Rolla, Missouri, 1980.
- LA POINTE, P. R. A Method to Characterize Fracture Density and Connectivity Through Fractal Geometry. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 25, p 421-429, 1988.
- MELO, M. S. A Formação Rio Claro e Depósitos Associados: Sedimentação Neoceno-zóica na Depressão Periférica Paulista. Tese de Doutorado, Inst. Geoc., USP, 164p., São Paulo, 1995.
- MONTEIRO, R. L. Aspectos Geológicos, Mineralógicos, Petrológicos e Geoquímicos de um Corpo Basáltico Localizado no Município de Tanquinhas, SP. Dissertação de Mestrado, Inst. Geoc., USP, 158p., São Paulo, 1986.
- MURALHA, J. Aplicações da Teoria Fractal à Geotecnia. Geotecnia nº 63, Lisboa, Portugal, 1991.
- OJIMA, L. M. A Utilização de Classificações de Maciços Rochosos para Construção de Túneis. Simpósio sobre Escavações Subterrâneas, ABGE, Rio de Janeiro, v. I, p. 23 - 32, 1982.
- PALISADE CORPORATION, BEST FIT, New York, 1996.

- PALMSTRÖM, A. The Volumetric Joint Count- a Useful and Simple Measure of the Degree of Rock Jointing. Proc. 4th Cong. Inter. Assn. Engng. Geol., 5, p 221-228, Delhi, 1982.
- PRIEST, S. D. Discontinuity Analysis For Rock Engineering, 473p, 1993.
- PRIEST, S. D. & HUDSON, J. A. Discontinuity Spacings in Rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 13, 135-148, 1976.
- ROULEAU, A. & GALE, J.E. Statistical Characterisation of the Fracture System in the Stripa Granite, Sweden. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 22, No 6, 353-367, 1985.
- SEN Z. & EISSA, E. A. Rock Quality Charts for Log-normally Distributed Block Sizes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 29, 1-12, 1992.
- VAZ, L. F. Aplicabilidade de Investigações e Sistemas de Classificação de Maciços Rochosos para Obras Subterrâneas. Simpósio sobre Escavações Subterrâneas, ABGE, Rio de Janeiro, v. I, p. 01 - 21, 1982.
- VILLAESCUSA, E. & BROWN, E. T. Characterizing Joint Spatial Correlation Using Geostatistical Methods. Rock Joints, Barton & Stephansson (eds), Balkema, Rotterdam, 1990.
- WALLIS, P.F. & KING, M.S. Discontinuity Spacings in a Crystalline Rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol. 17, p 63-66, 1980.
- WARBURTON, P.M. A Stereological Interpretation of Joint Trace Data. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol. 17, p 181-190, 1980.
- XING, Z. & GUOHUA, L. Estimation of Confidence Bounds for Mean Trace Length of Discontinuities Using Scanline Surveys. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol. 27, No 3, p 207 – 212, 1990.

FOTOS



Foto 1 – Pedreira Construcap – Granito – vista panorâmica



Foto 2 – Trecho de concentração de planos estriados – Pedreira Construcap – Granito



Foto 3 – Trecho de concentração de planos estriados 2 – Pedreira Construcap – Granito



Foto 4 – Detalhe de plano sub-vertical, bastante persistente, cortando vários taludes – Pedreira Construcap – Granito



Foto 5 – Vista geral de um talude na Pedreira Embu – Granito



Foto 6 – Detalhe do sistema de juntas na Pedreira Embu – Granito



Foto 7 – Detalhe de sistema de juntas, apresentando percolação d'água – Pedreira Embu – Granito



Foto 8 – Detalhe no centro da foto de zona de fraturamento concentrado – Pedreira Embu – Granito



Foto 9 – Vista geral do talude maior da Pedreira Itacema. Notar descontinuidades bastante persistentes e com percolação d'água. Granito

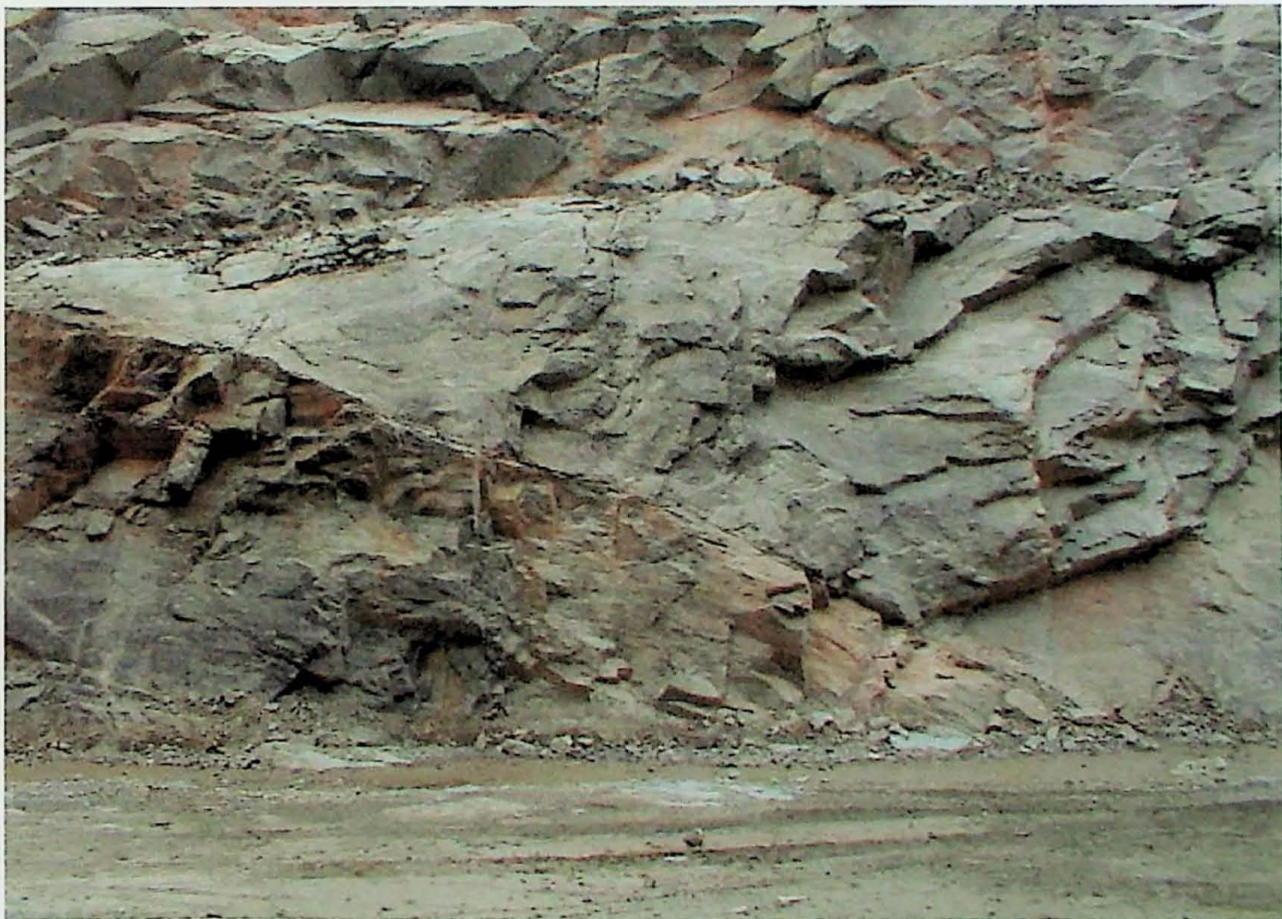


Foto 10 – Contato xisto-granito, estando a lente de xisto na parte inferior da foto – Pedreira Itacema



Foto 11 – Detalhe do contato xisto – Granito – Pedreira Itacema

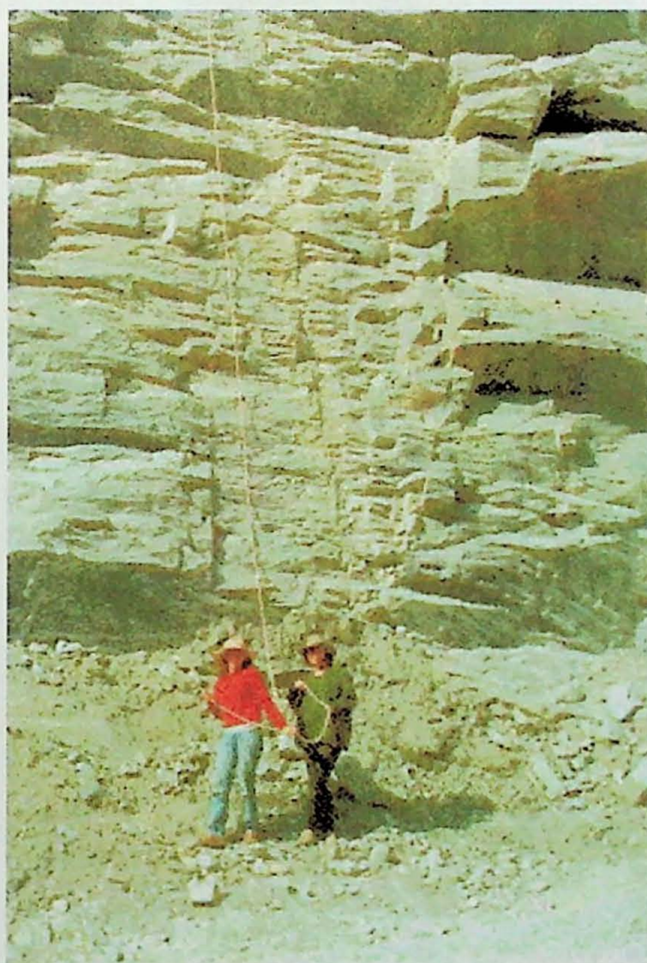


Foto 12 – Exemplo de levantamento de linha vertical – Pedreira Itacema - Xisto



Foto 13 – Vista Geral da Pedreira Cavinato – Diabásio. Notar fraturamento vertical menos espaçado e horizontal bastante espaçado.



Foto 14 – Detalhe do talude na Pedreira Cavinato – Diabásio



Foto 15 – Colocação de trena em linha de varredura na Pedreira Cavinato – Diabásio



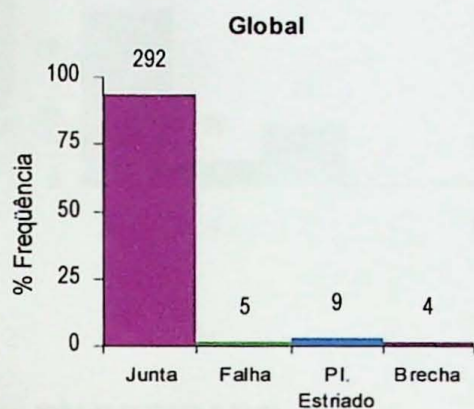
Foto 16 – Detalhe do sistema de juntas na Pedreira Cavinato - Diabásio

ANEXO A

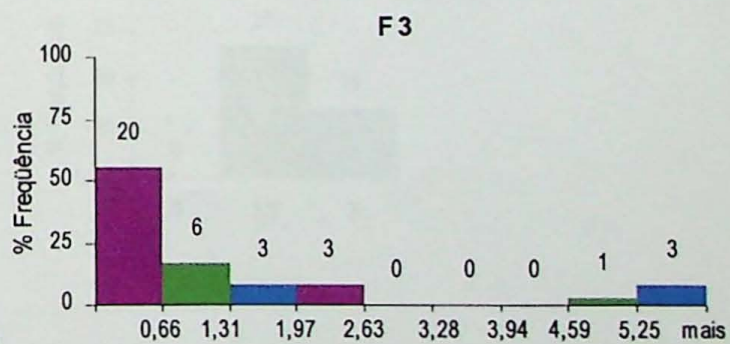
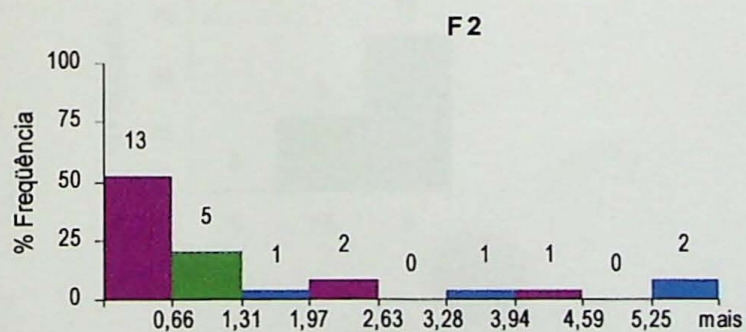
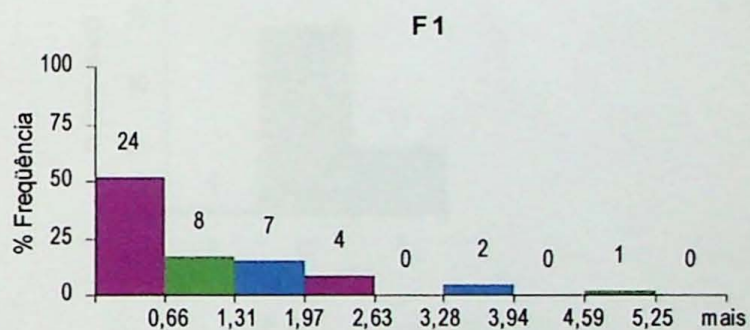
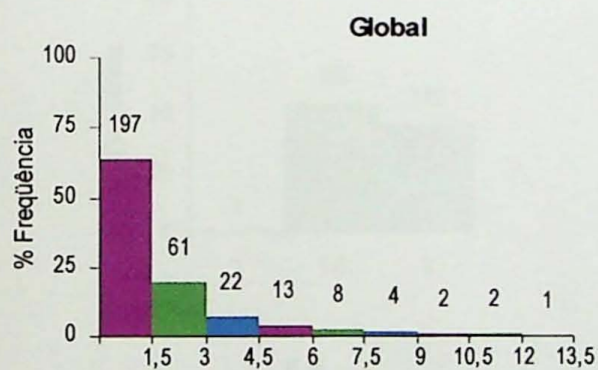
HISTOGRAMAS DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS CLASSIFICATÓRIOS DAS DESCONTINUIDADES

I. PEDREIRA CONSTRUCAP - GRANITO

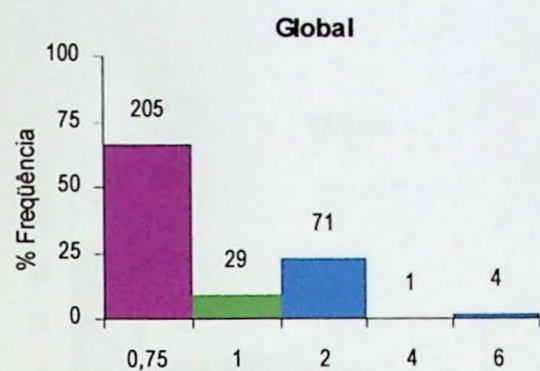
1) TIPO DE ESTRUTURA



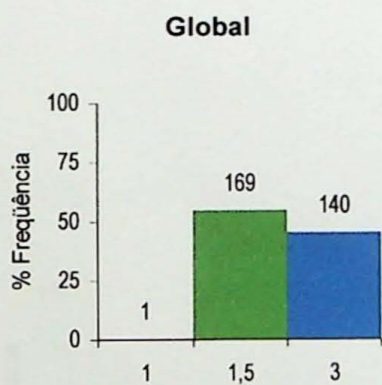
2) ESPAÇAMENTO



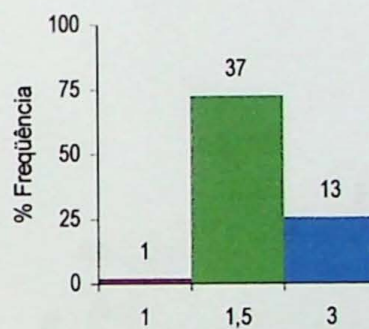
3) ALTERAÇÃO



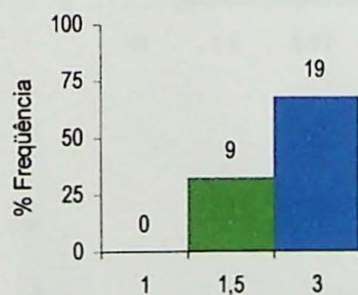
4) RUGOSIDADE



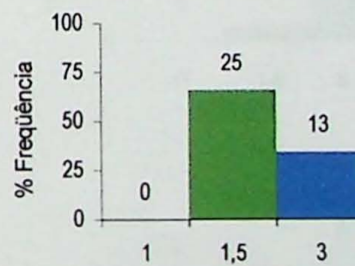
F 1



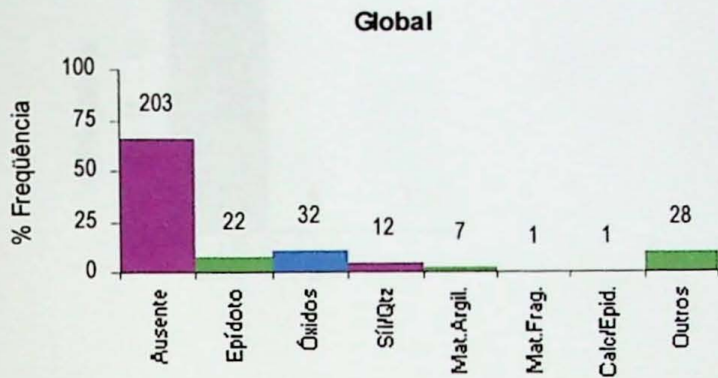
F 2



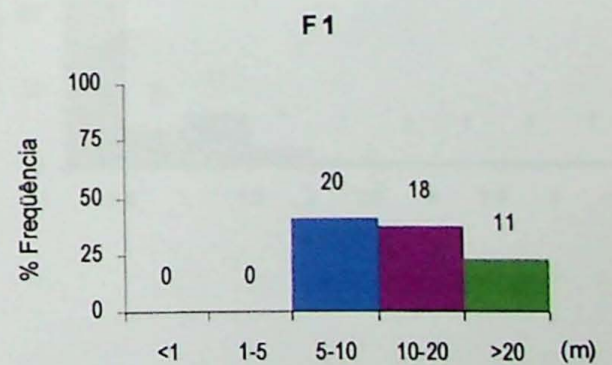
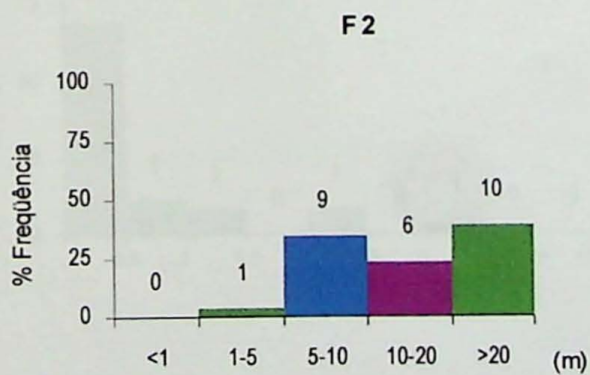
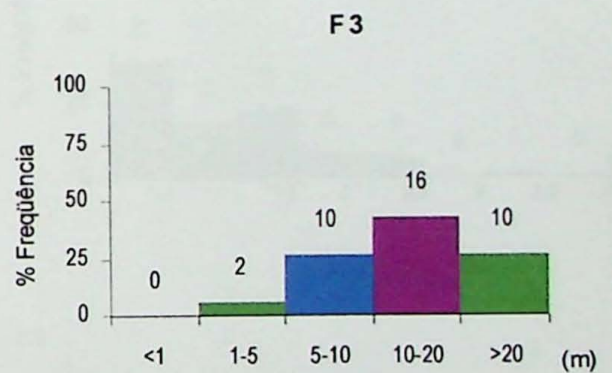
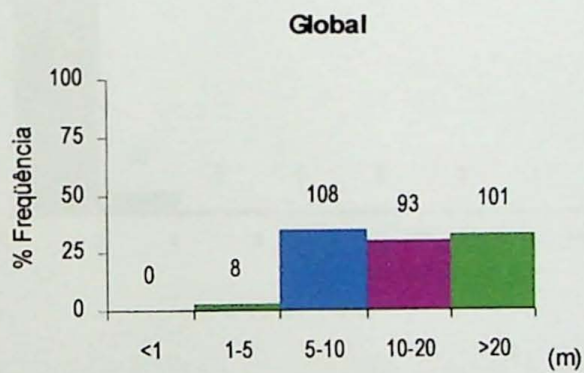
F 3



5) PREENCHIMENTO

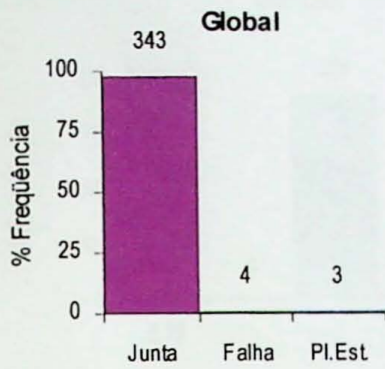


6) PERSISTÊNCIA

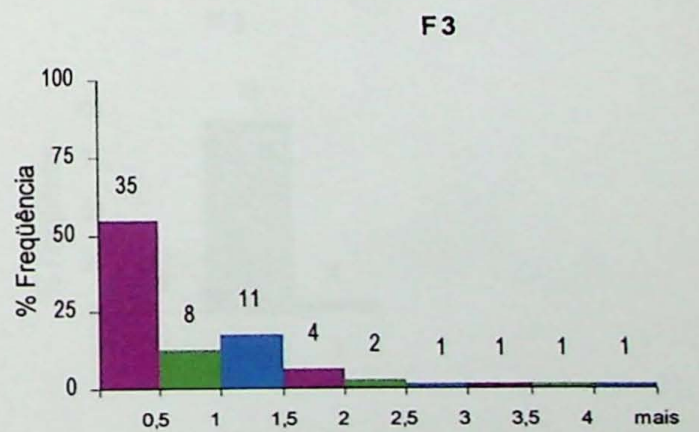
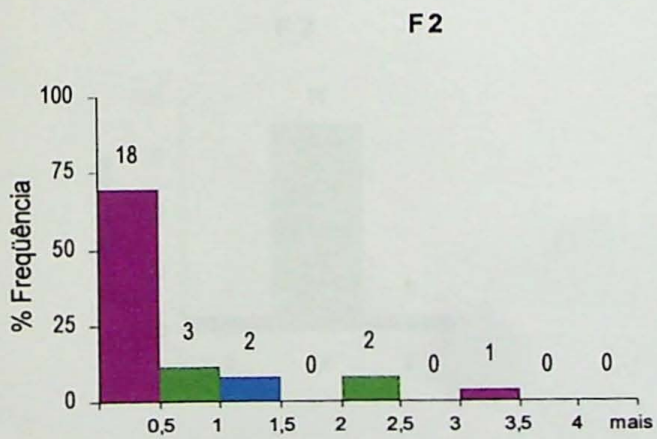
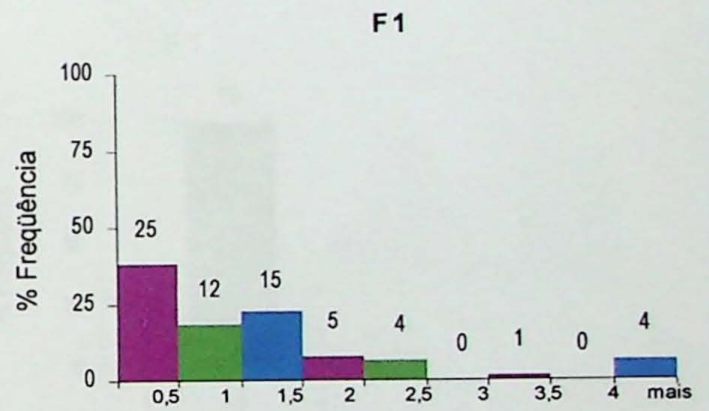
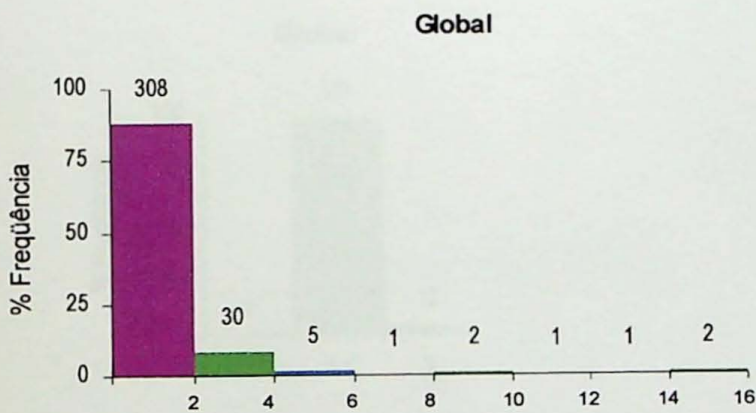


II. PEDREIRA EMBU - GRANITO

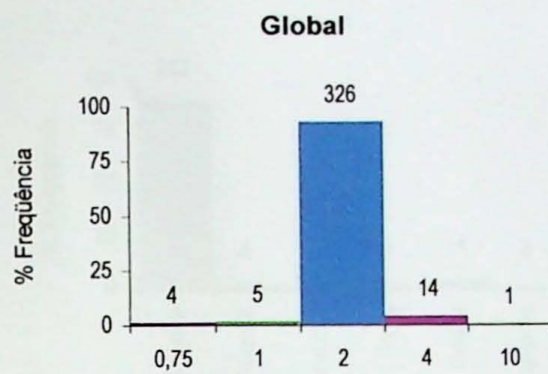
1) TIPO



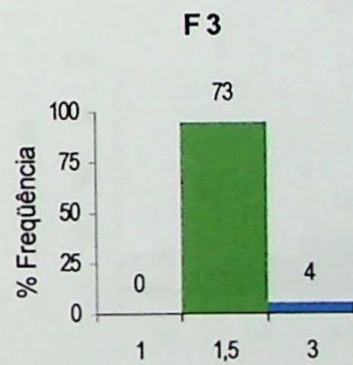
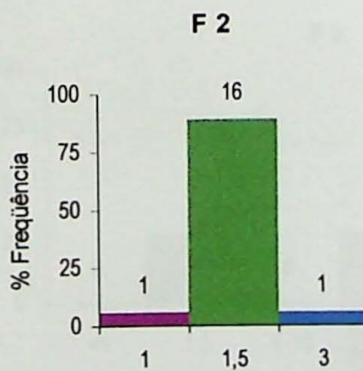
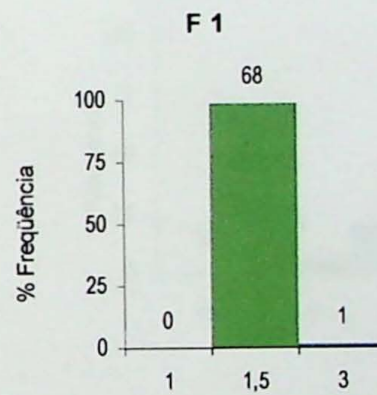
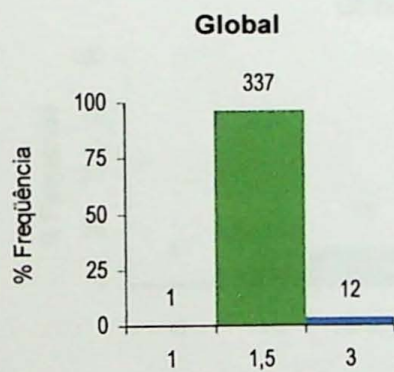
2) ESPAÇAMENTO



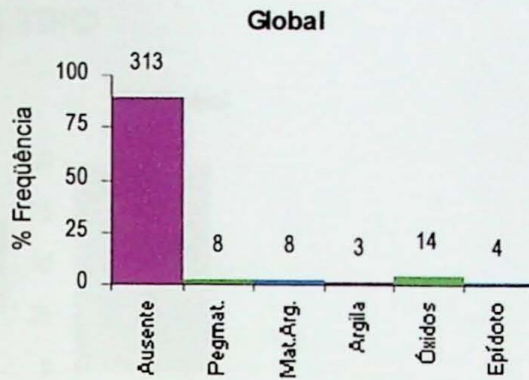
3) ALTERAÇÃO



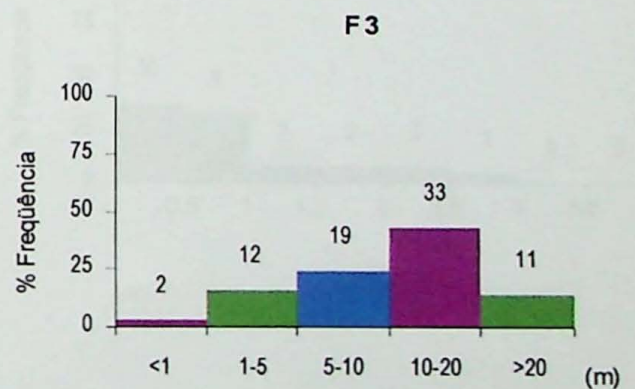
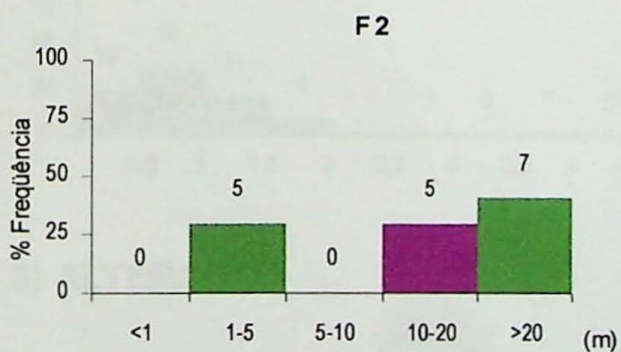
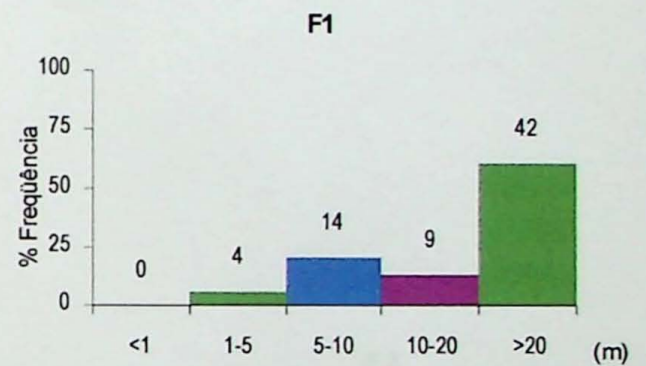
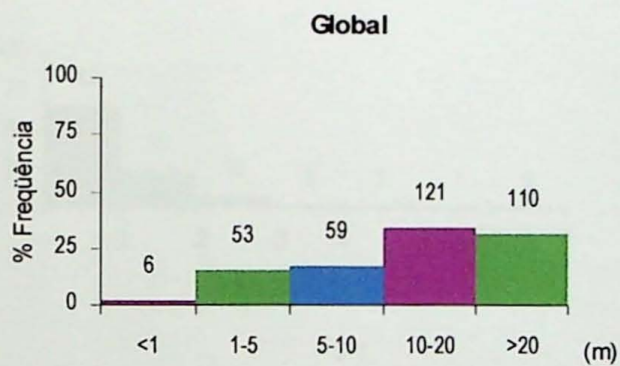
4) RUGOSIDADE



5) PREENCHIMENTO

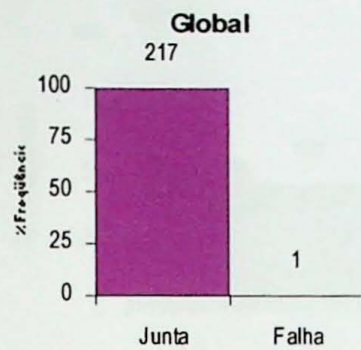


6) PERSISTÊNCIA

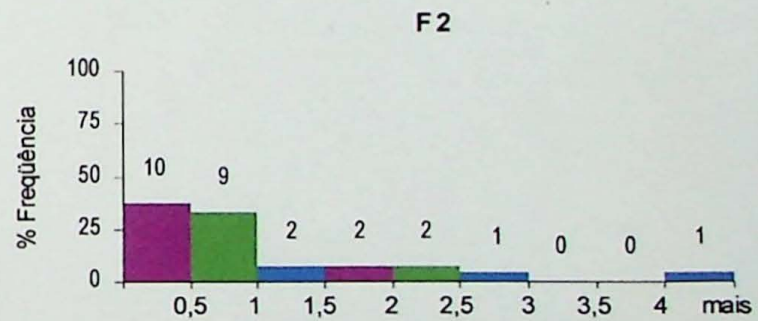
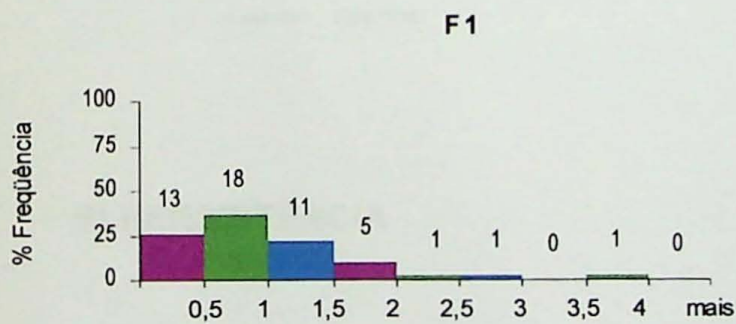
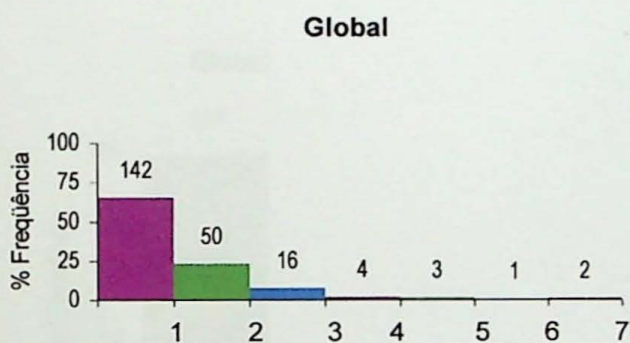


III. PEDREIRA ITABERABA - GRANITO

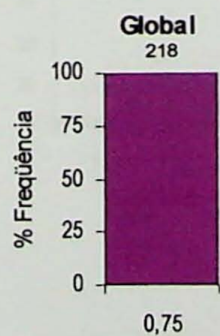
1) TIPO



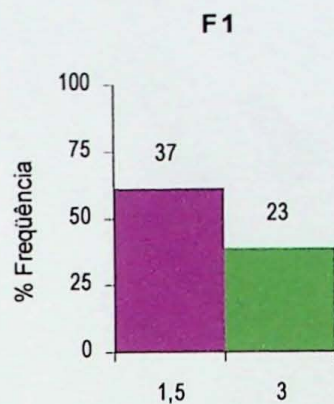
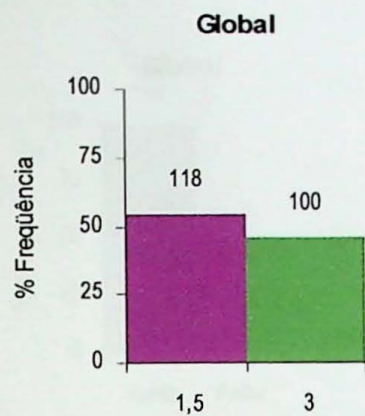
2) ESPAÇAMENTO



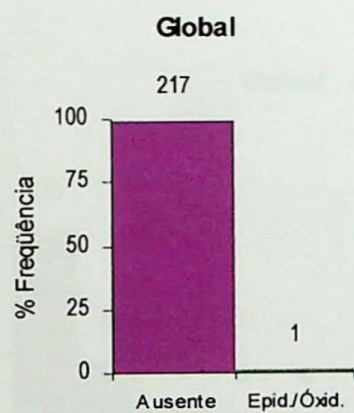
3) ALTERAÇÃO



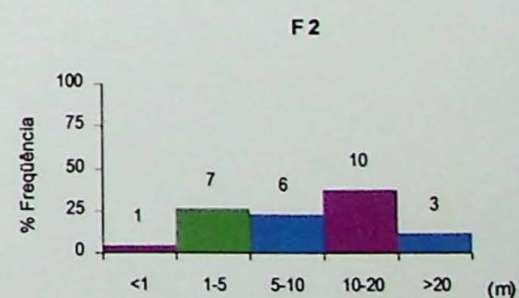
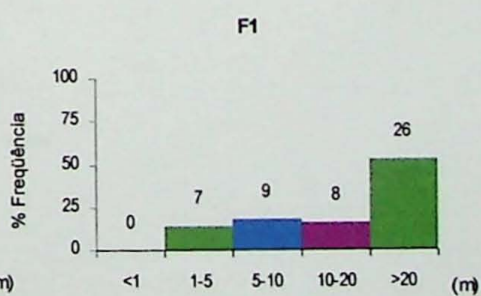
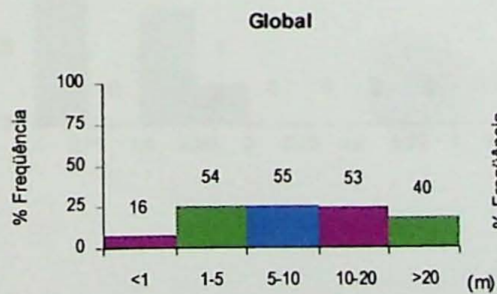
4) RUGOSIDADE



5) PREENCHIMENTO

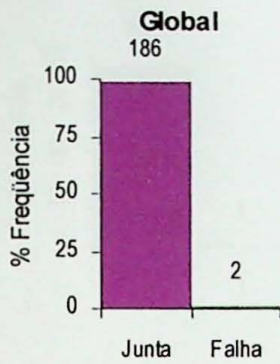


6) PERSISTÊNCIA

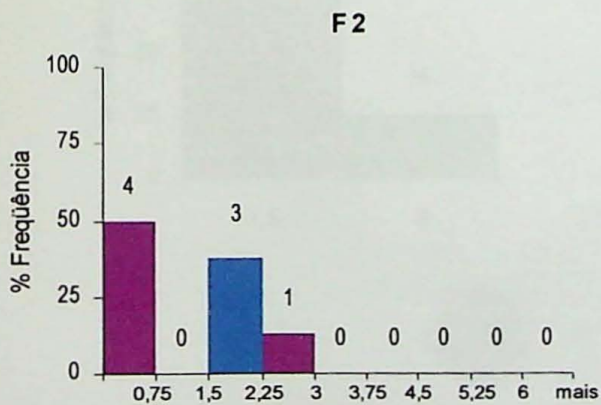
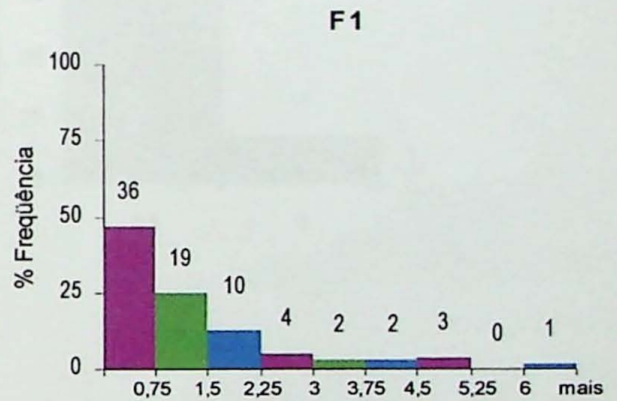
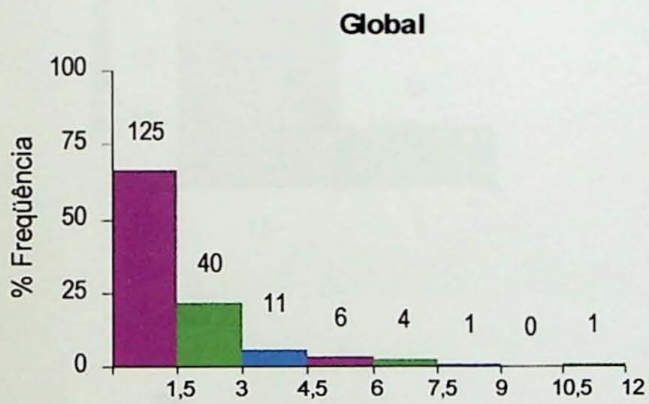


IV. PEDREIRA MADEIRENSE - GRANITO

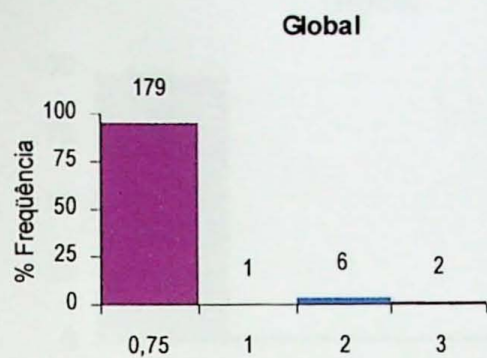
1) TIPO



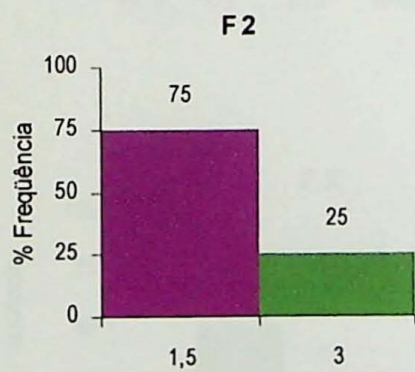
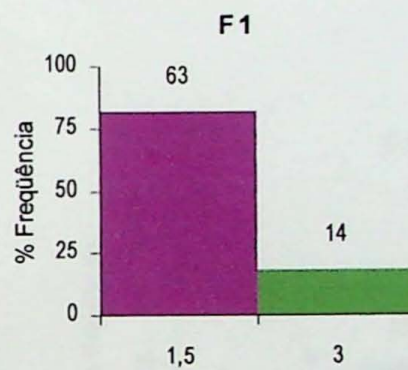
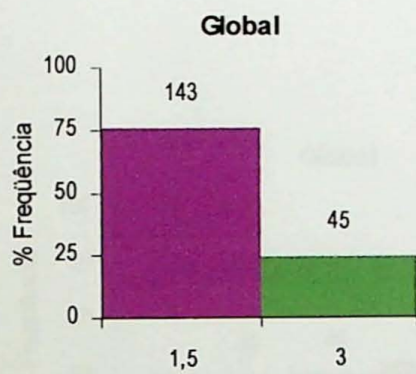
2) ESPAÇAMENTO



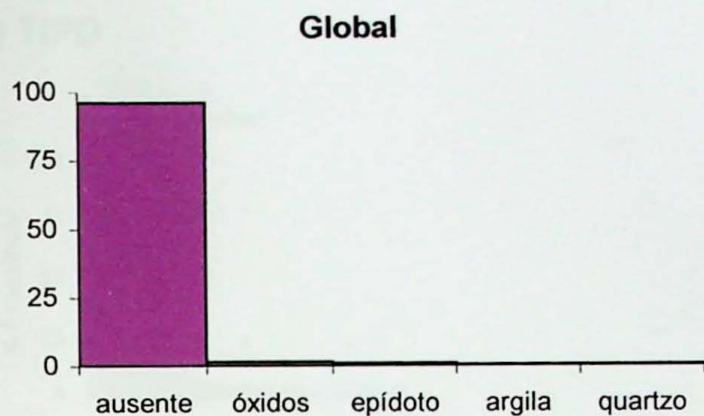
3) ALTERAÇÃO



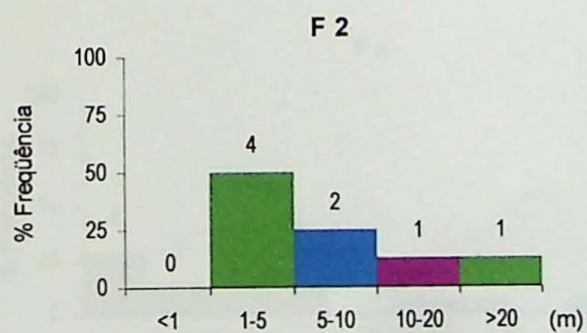
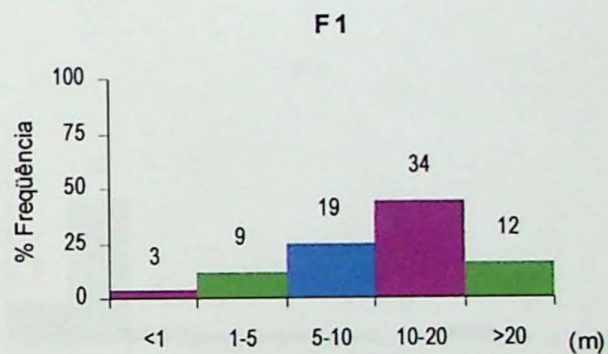
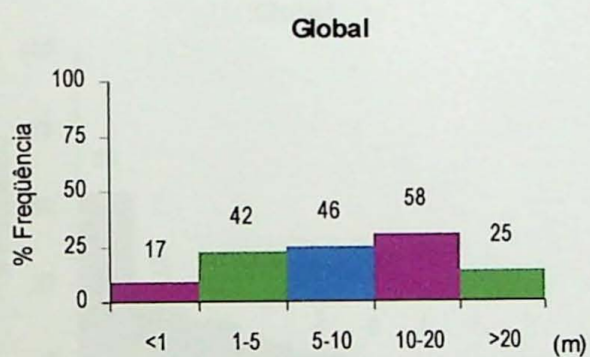
4) RUGOSIDADE



5) PREENCHIMENTO

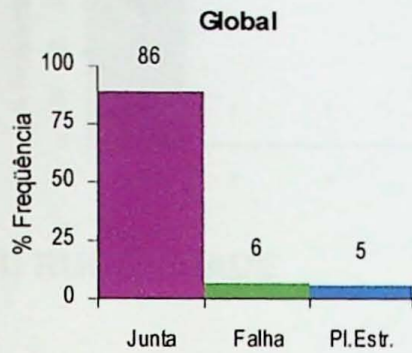


6) PERSISTÊNCIA

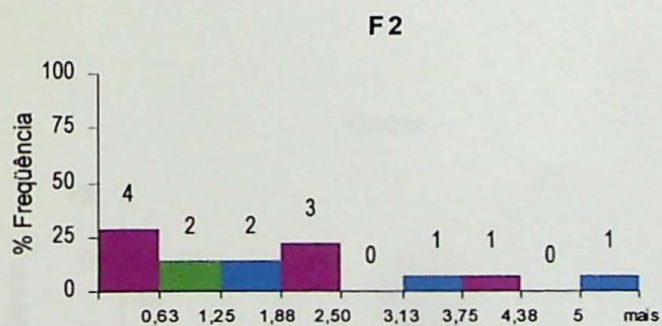
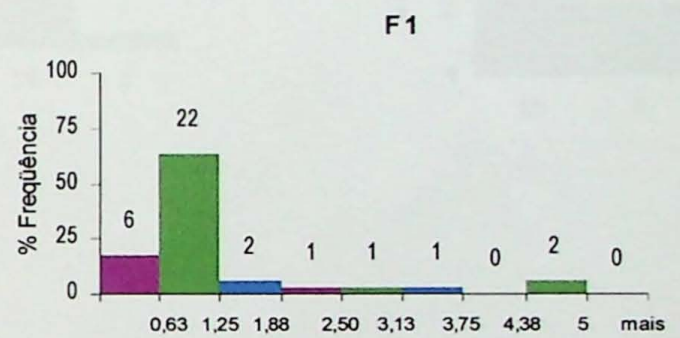
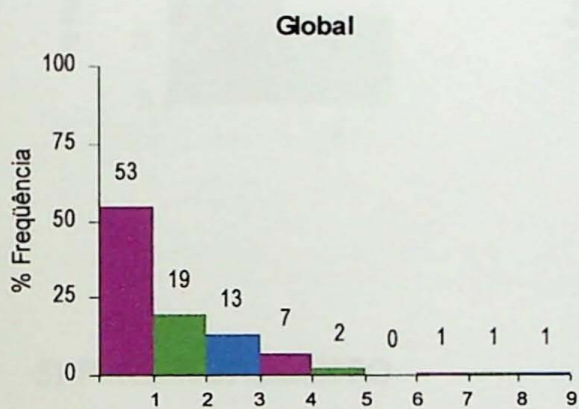


Va. PEDREIRA ITACEMA-GRANITO

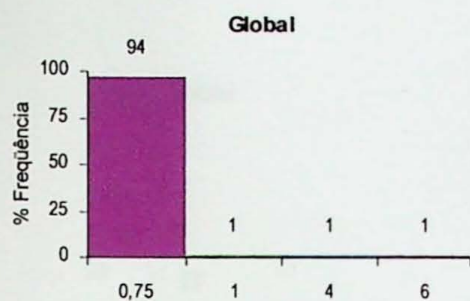
1) TIPO



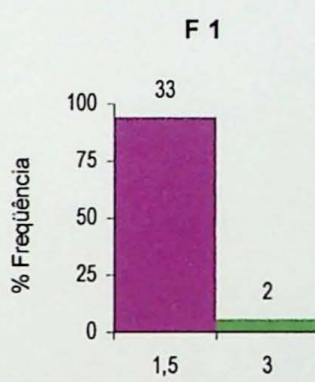
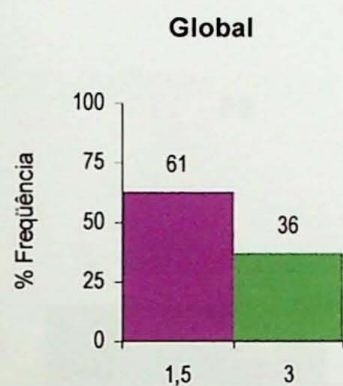
2) ESPAÇAMENTO



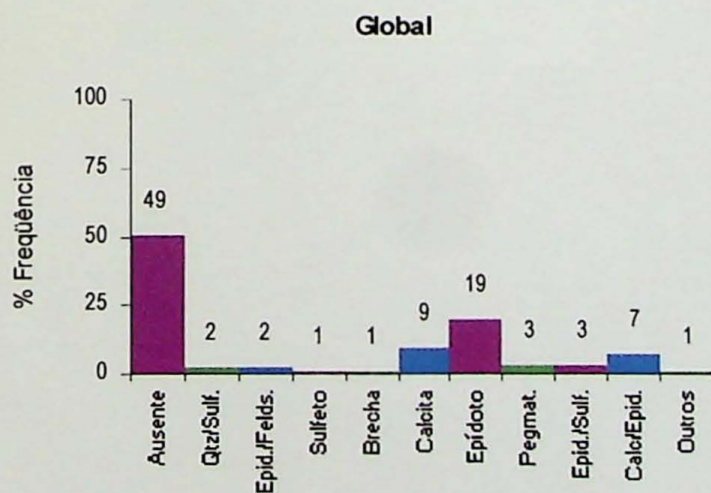
3) ALTERAÇÃO



4) RUGOSIDADE

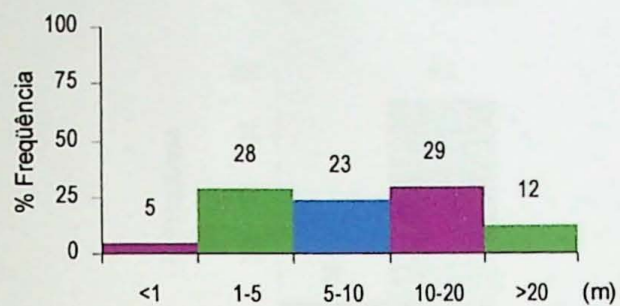


5) PREENCHIMENTO

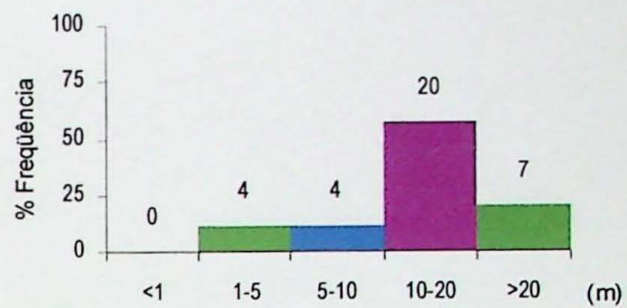


6) PERSISTÊNCIA

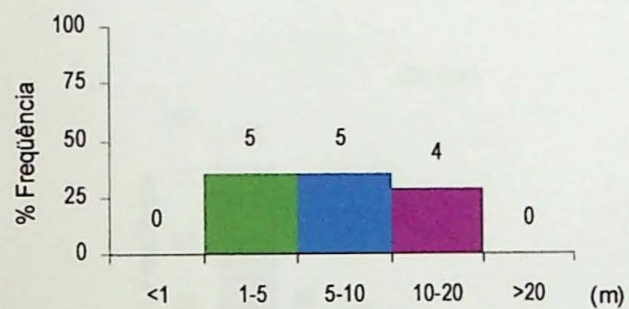
Global



F1

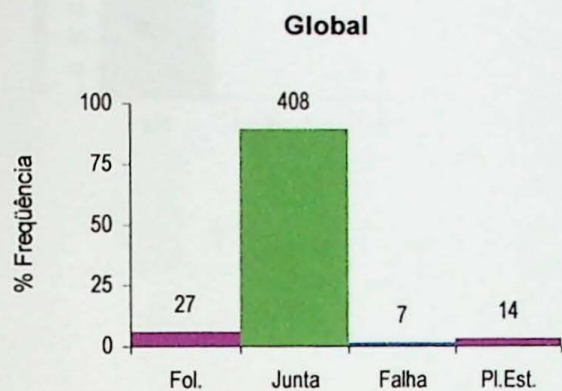


F2

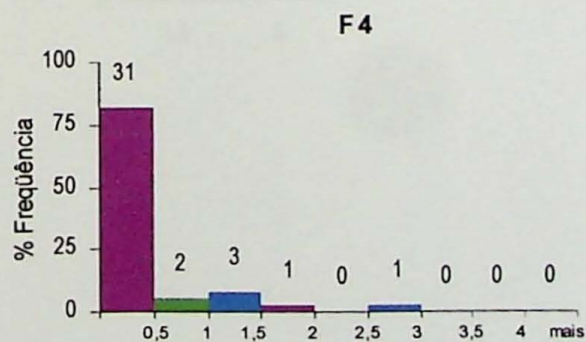
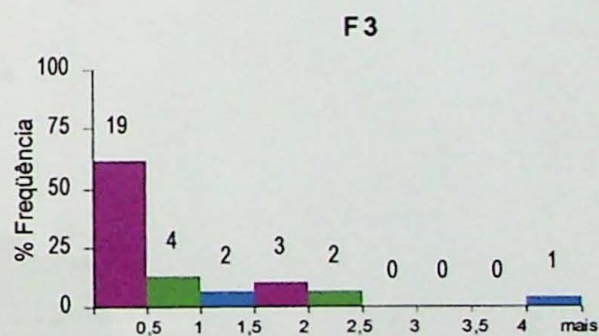
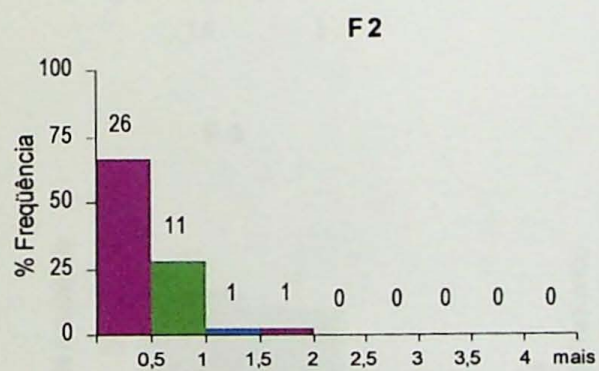
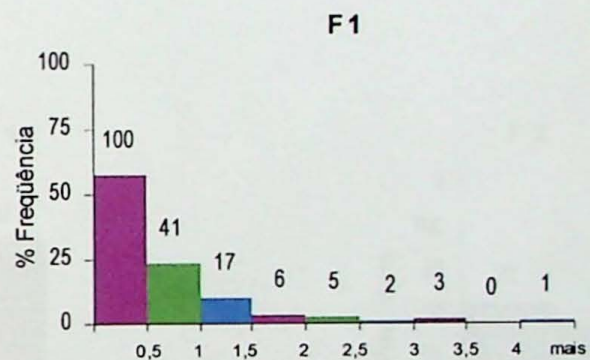
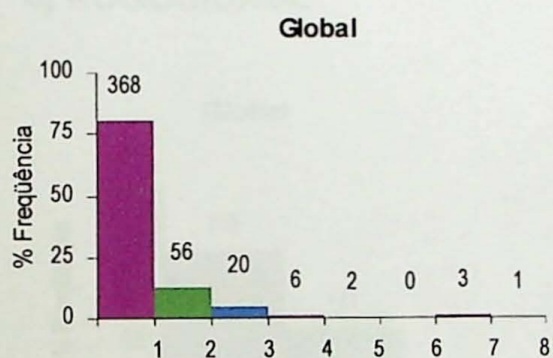


Vb. PEDREIRA ITACEMA - XISTO

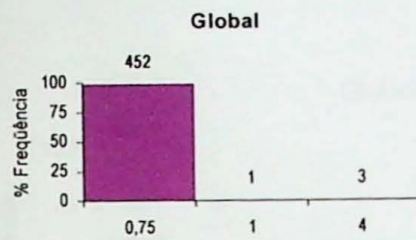
1) TIPO



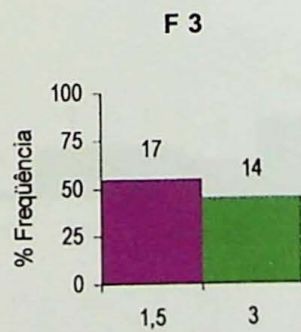
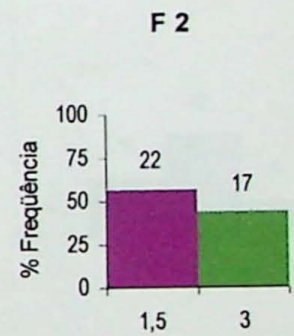
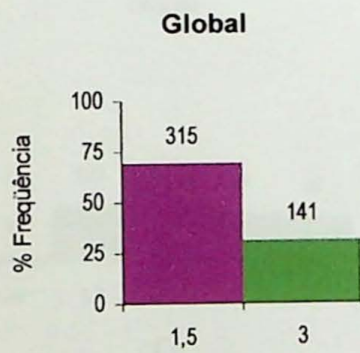
2) ESPAÇAMENTO



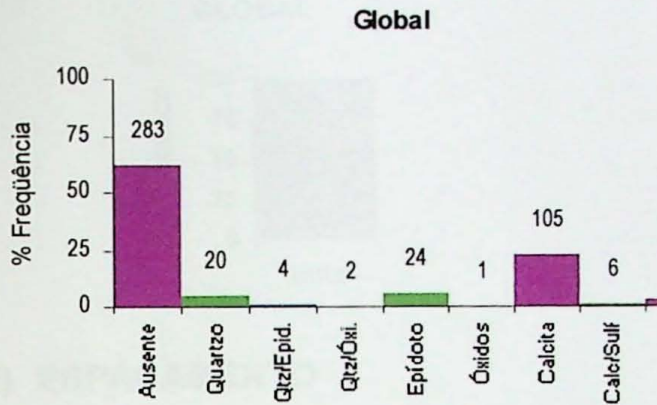
3) ALTERAÇÃO



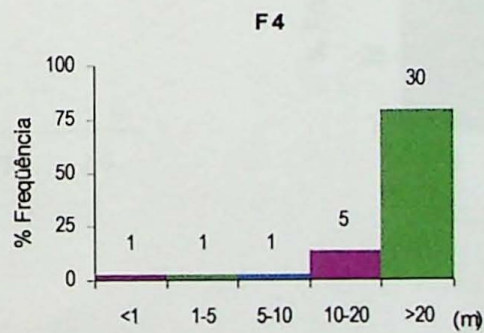
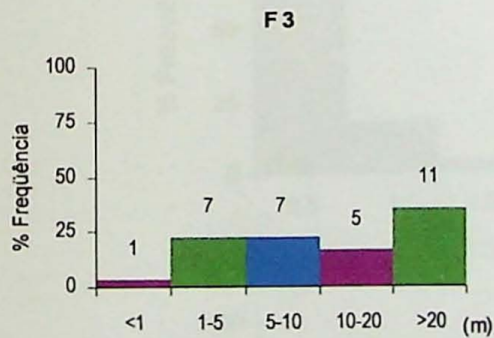
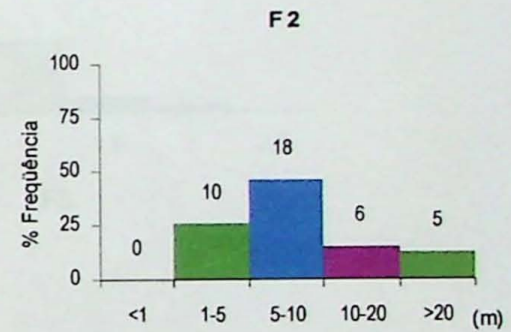
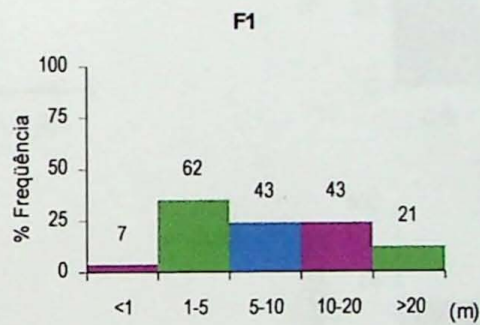
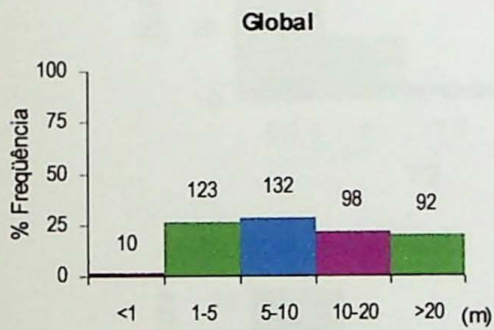
4) RUGOSIDADE



5) PREENCHIMENTO



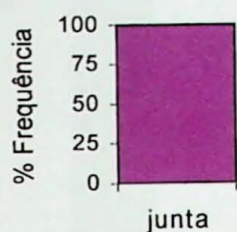
6) PERSISTÊNCIA



VI – PEDREIRA CRUZEIRO – CALCÁRIO

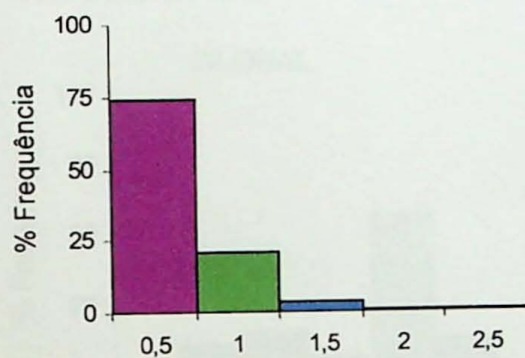
1) TIPO DE ESTRUTURA

GLOBAL

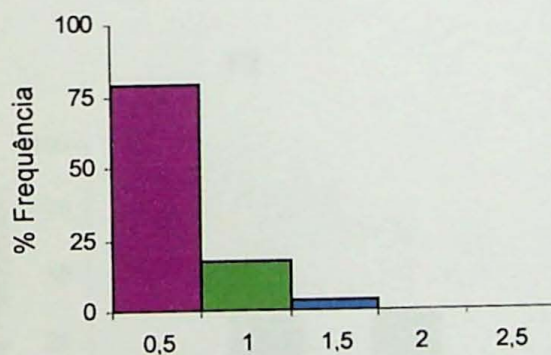


2) ESPAÇAMENTO

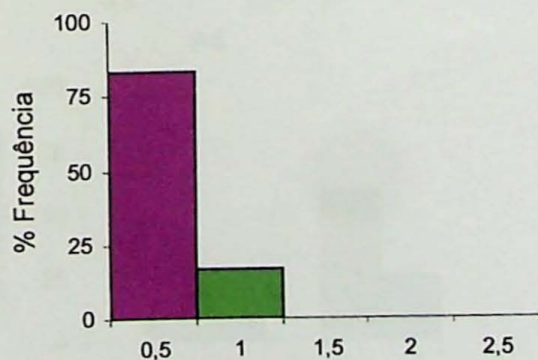
GLOBAL



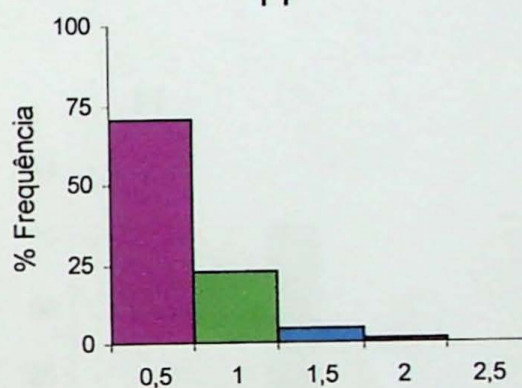
F2



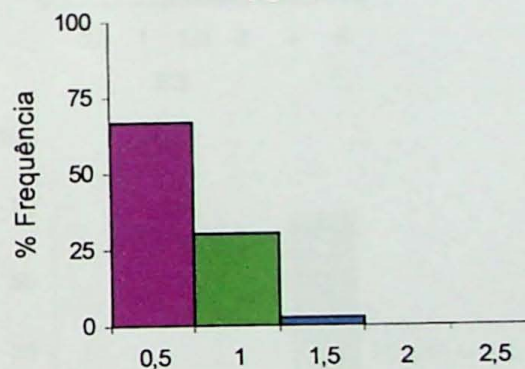
F4



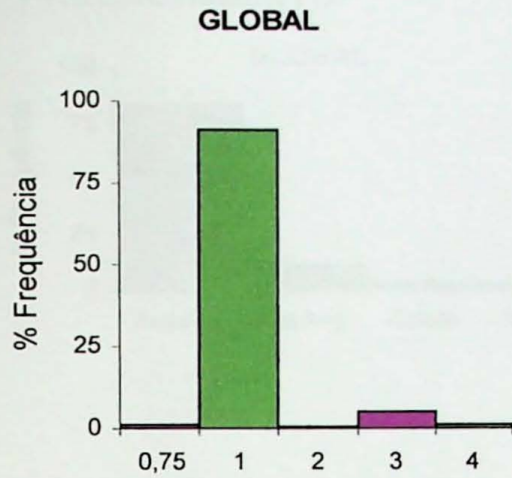
F1



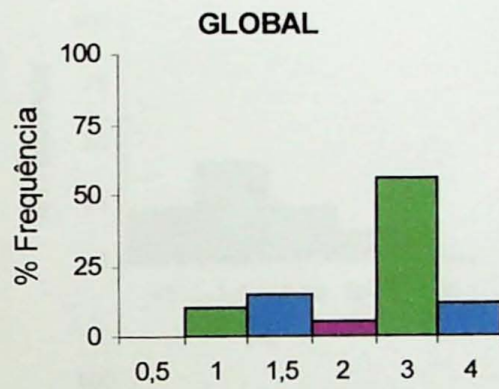
F3



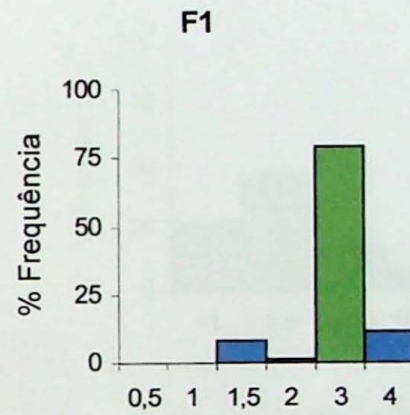
3) ALTERAÇÃO



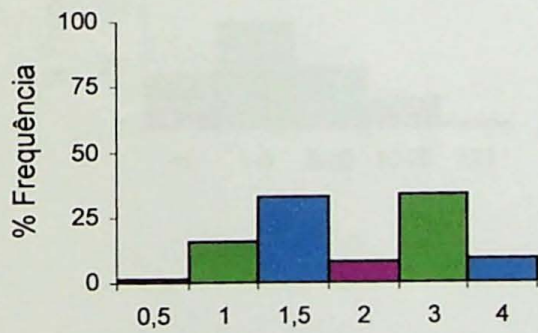
4) RUGOSIDADE



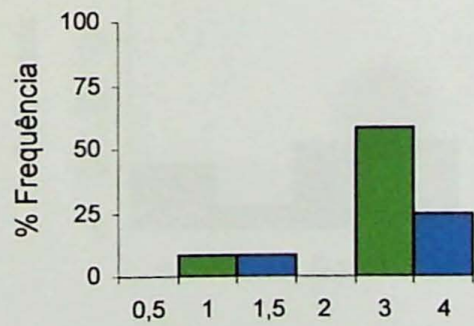
F2



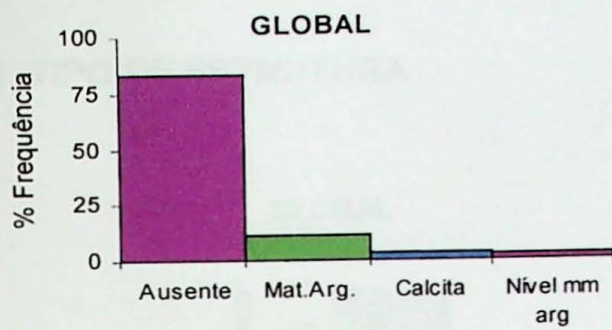
F3



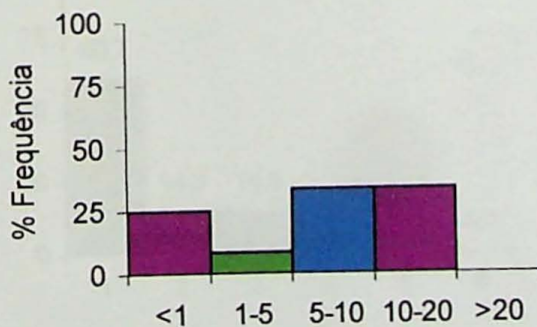
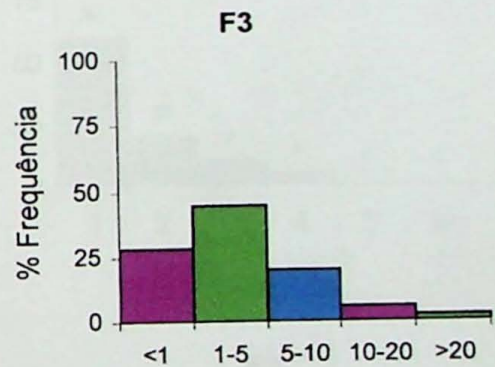
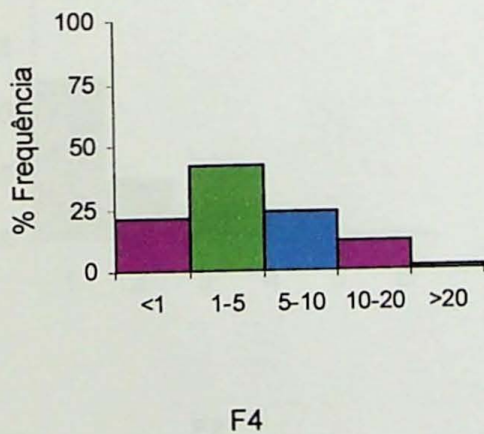
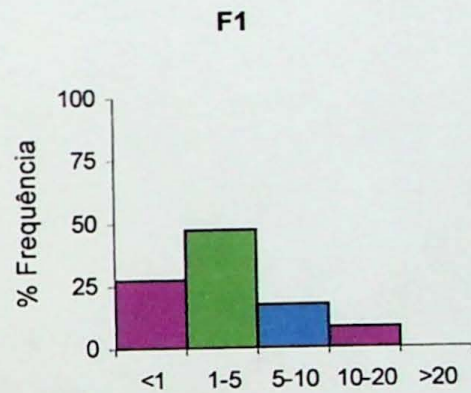
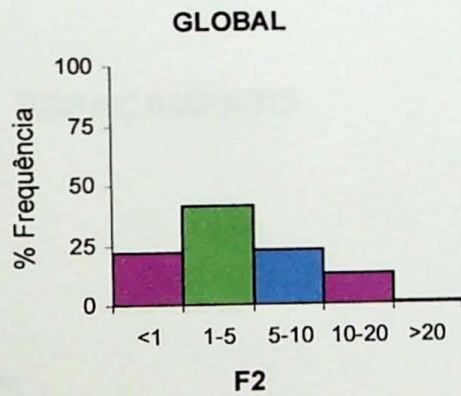
F4



5) PREENCHIMENTO

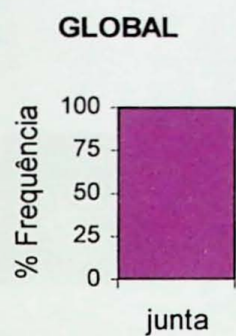


6) PERSISTÊNCIA

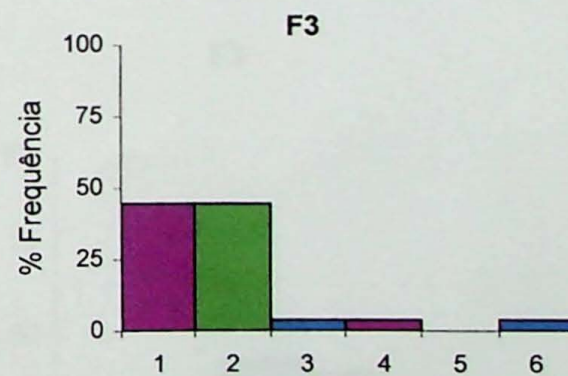
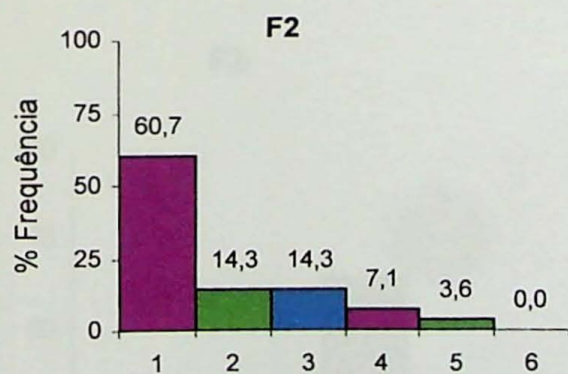
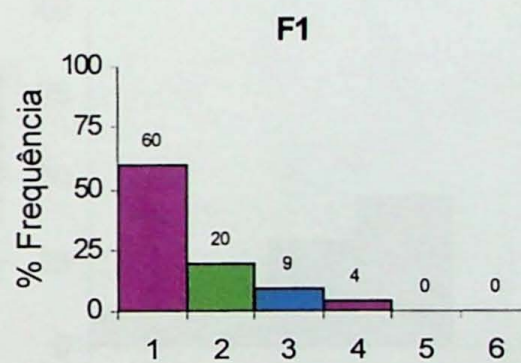
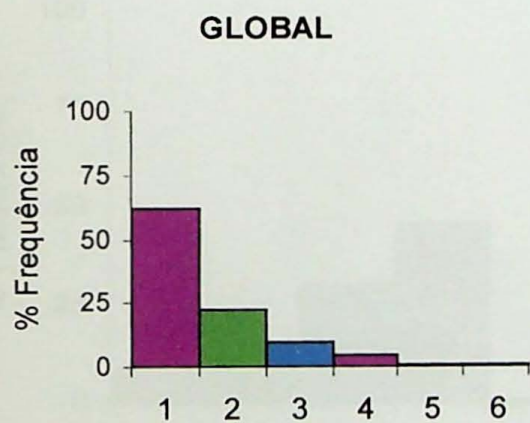


VII – PEDREIRA CAVINATO - DIABÁSIO

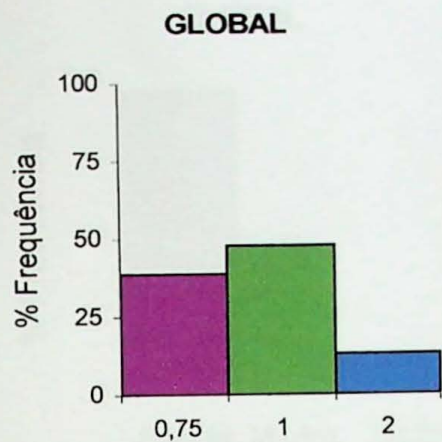
1) TIPO DE ESTRUTURA



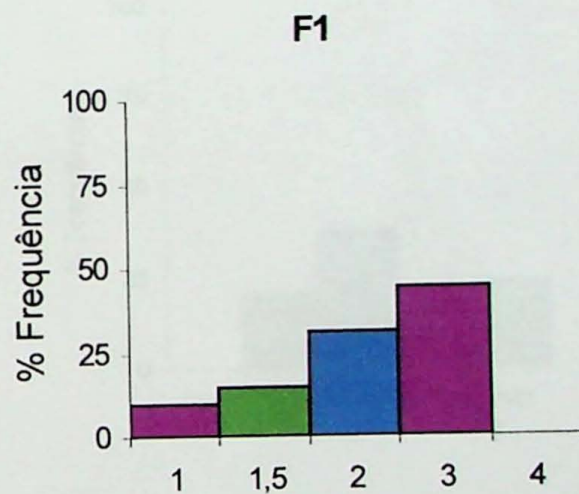
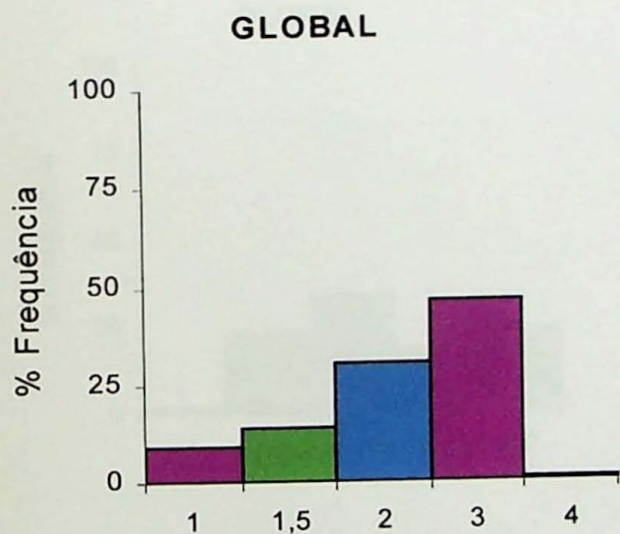
2) ESPAÇAMENTO



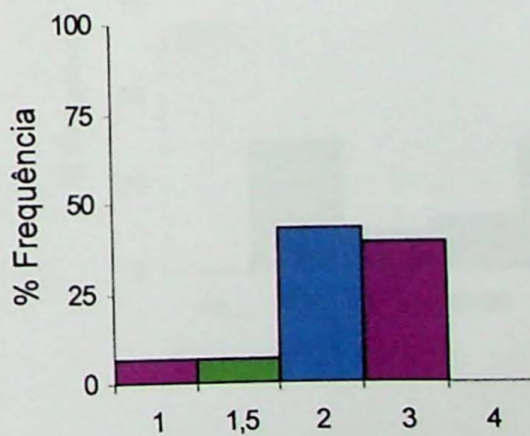
3) ALTERAÇÃO



4) RUGOSIDADE



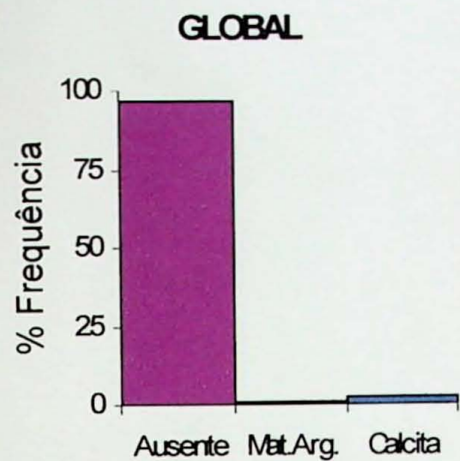
F3



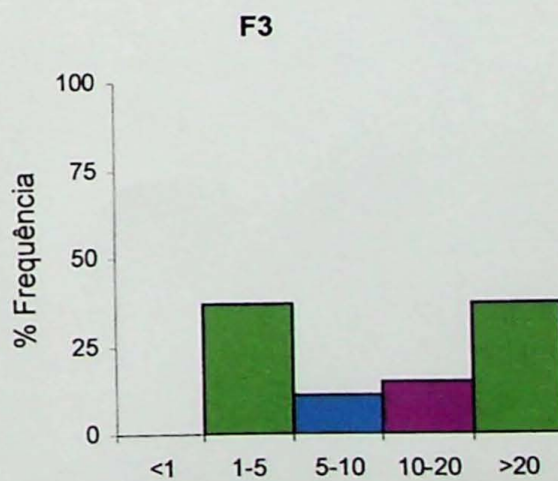
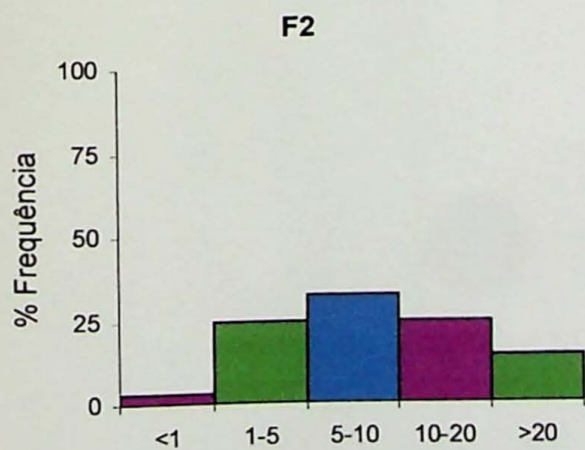
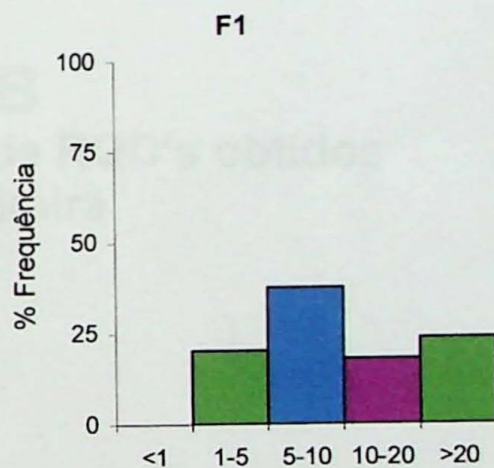
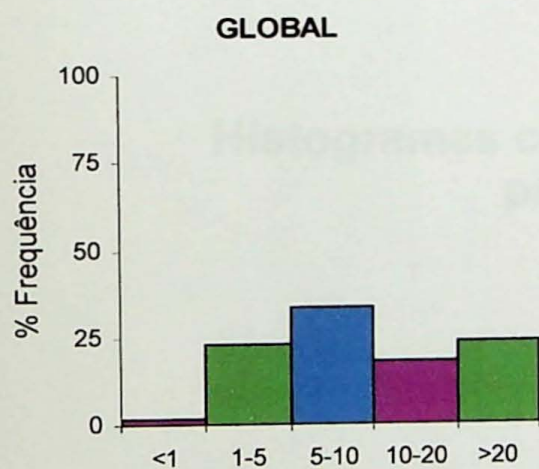
F2



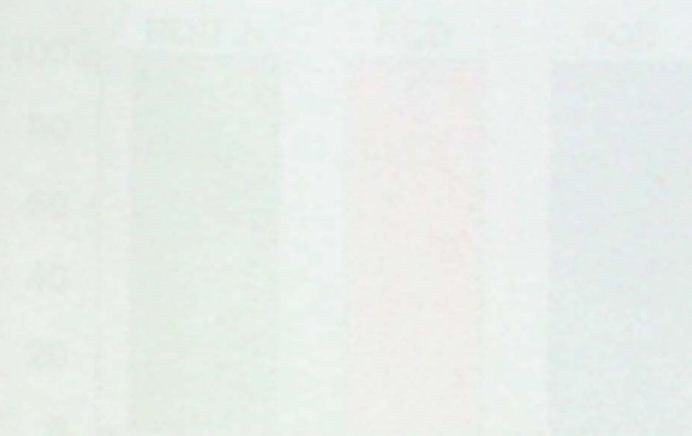
5) PREENCHIMENTO



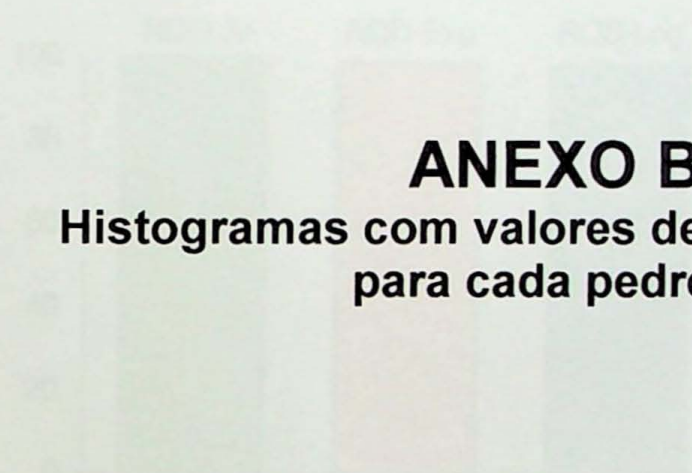
6) PERSISTÊNCIA



I. Pedreira Outeiro - Granito



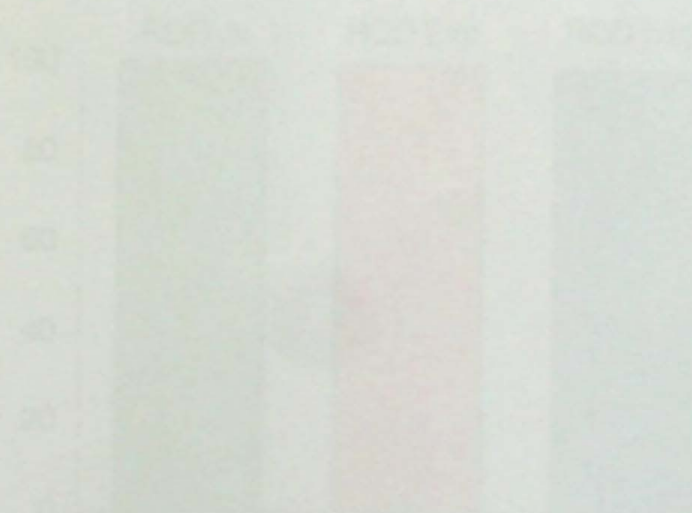
II. Pedreira Escalvado - Granito



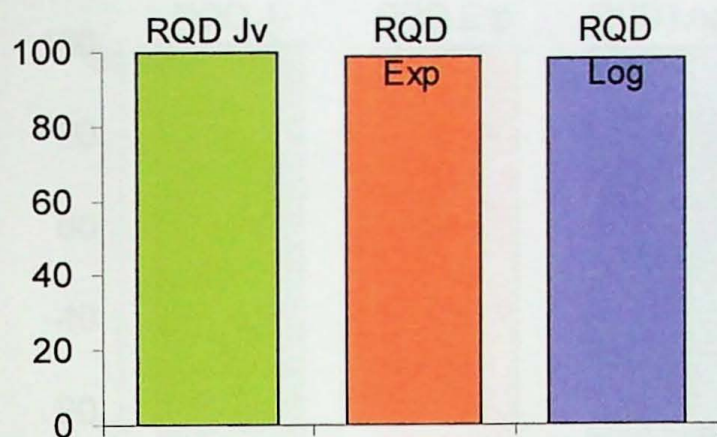
ANEXO B

Histogramas com valores de RQD's obtidos
para cada pedreira

III. Pedreira Alentejo - Granito



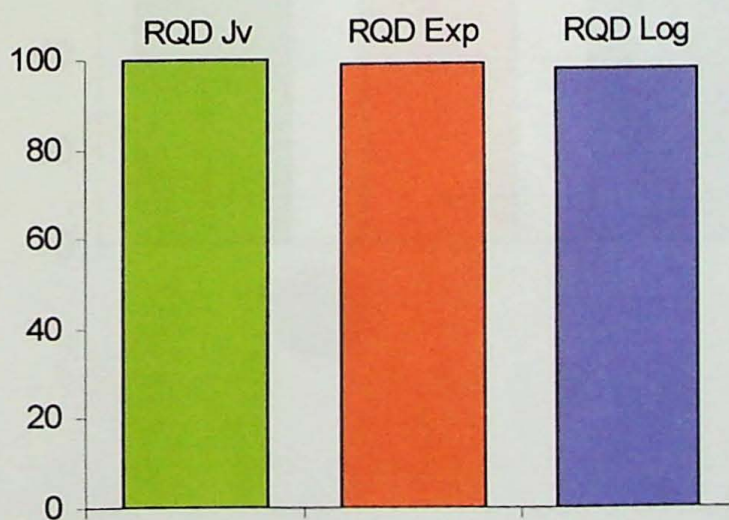
I . Pedreira Construcap – Granito



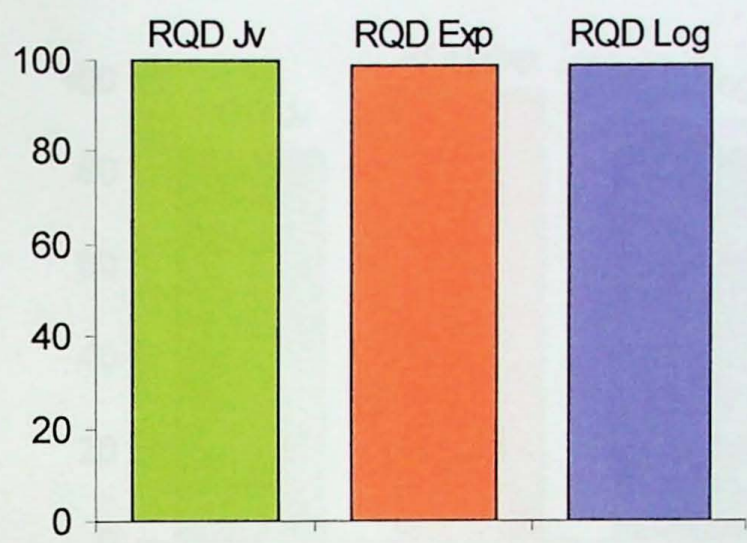
II. Pedreira Embu – Granito



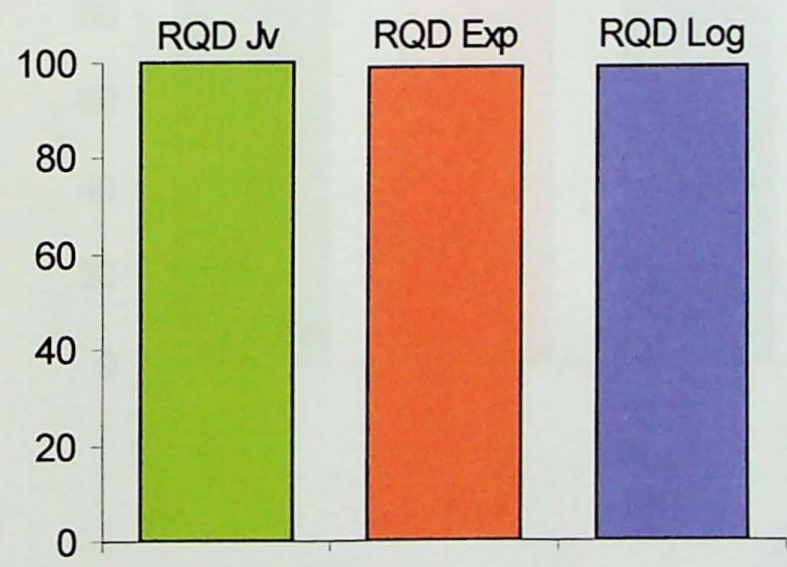
III. Pedreira Itaberaba – Granito



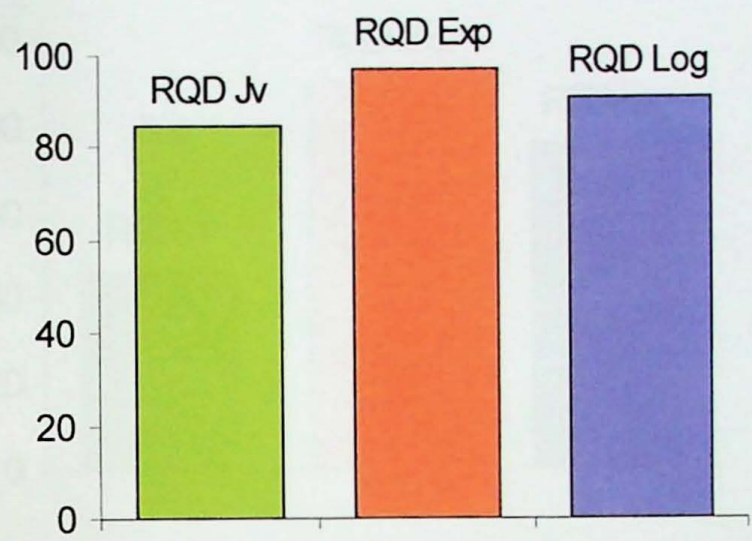
IV. Pedreira Madeirense – Granito



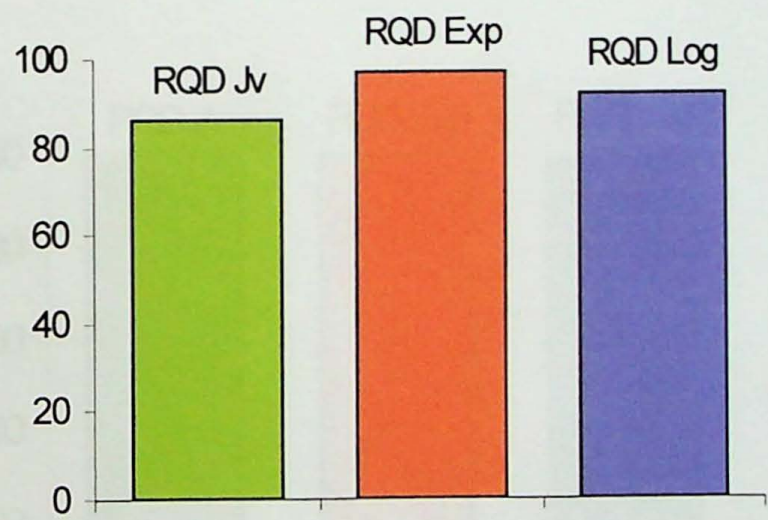
V. Pedreira Itacema – Granito

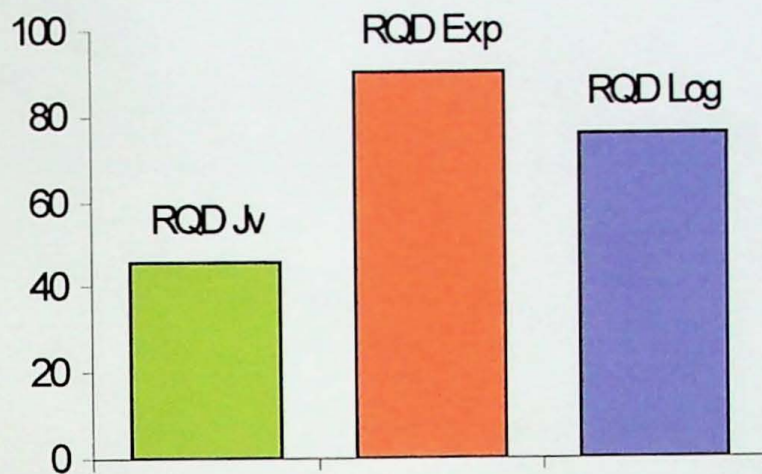


VI. Pedreira Itacema – Xisto

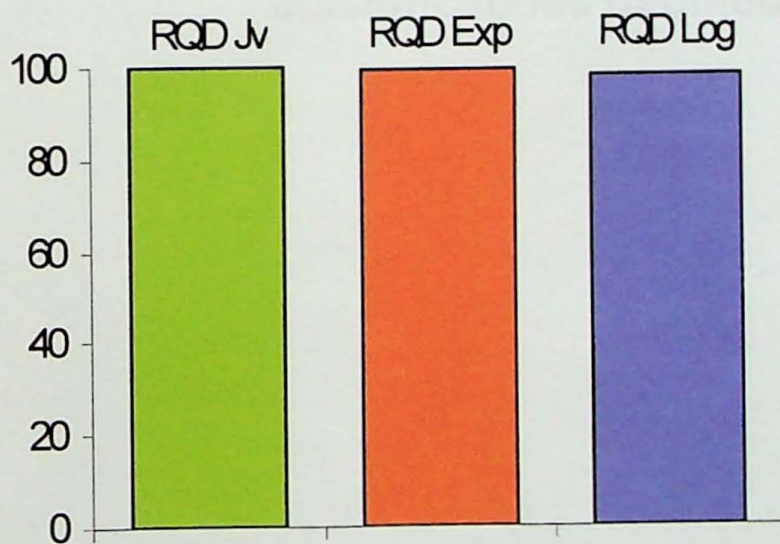


VII. Pedreira Cruzeiro – Calcário





VIII. Pedreira Cavinato – Diabásio



ANEXO C

**Tabelas com parâmetros descritos para aplicação em
classificações geomecânicas**

Tabelas modificadas de Barton et al. (1974)

TABELA 1.A - Padrão de Compartimentação do Maciço (RQD).

Padrão Geomecânico do Maciço		Valores de RQD (%)
A	Muito ruim	0-25 *
B	Ruim	25-50
C	Regular	50-70
D	Bom	70-90
E	Excelente	90-100

* Para RQD < 10 ou nulo, adotar um valor nominal igual a 10%.

TABELA 1.B - Quantidade de juntas do Maciço (Jn).

Condições de Compartimentação do Maciço		Valores de Jn
A	Juntas esparsas ou ausentes	0,5-1,0
B	Uma família de juntas	2
C	B + juntas esparsas	3
D	Duas famílias de juntas	4
E	D + juntas esparsas	6
F	Três famílias de fraturas	9
G	F + juntas esparsas	12
H	Muito fraturado, 4 ou + juntas	15
J	Rocha completamente fragmentada	20

TABELA 1.C - Rugosidade das Paredes das Descontinuidades (Jr).

Condições de Rugosidade das Paredes		Valores de Jr
R1	Junta com contato rocha-rocha (sem deslocamento relativo entre as paredes ou após deslocamento tangencial inferior a 10 cm) (1)	
A	Junta não persistente	4
B	Junta rugosa ou irregular, ondulada	3
C	Junta lisa, ondulada	2
D	Junta polida, ondulada	1,5
E	Junta rugosa ou irregular, planar	1,5
F	Junta lisa, planar	1,0
G	Junta polida ou estriada, planar	0,5
R2	Junta sem contato rocha-rocha	
H	Junta preenchida com material argiloso	1,0
J	Junta preenchida com material granular	1,0

(1) As descrições referem-se a elementos na escala reduzida e intermediária, nessa ordem.

TABELA 1.D - Alteração das Paredes das Descontinuidades (Ja).

Condições de Alteração das Paredes		Valores de Ja e ϕ_r^* (°)
A1	Fratura com contato rocha-rocha e sem deslocamento relativo entre as paredes	
A	Selada, paredes sãs e compactas, preenchimento de mineral impermeável	0,75
B	Paredes sem alteração, pigmentação superficial incipiente	1
C	Paredes levemente alteradas com película enrijecida.	2
D	Paredes com película de material silto-arenoso com pequena fração argilosa	3
E	Paredes com película de mineral argiloso, eventualmente traços de mineral expansivo	4
A2	Fratura com contato rocha-rocha após deslocamento tangencial inferior a 10 cm (preenchimento delgado)	
F	Paredes com partículas arenosas, fragmentos de rocha, etc.	4
G	Paredes com preenchimento contínuo e pouco espesso (< 5 mm) de material argiloso fortemente sobre-adensado	6
H	Paredes com preenchimento contínuo e pouco espesso (< 5 mm) de material argiloso pouco/medianamente sobre-adensado	8
J	Paredes com preenchimento contínuo de materiais argilosos expansivos	8-12
A3	Fraturas sem contato rocha-rocha após cisalhamento (preenchimento espesso)	
K L M	Zonas de preenchimento com fragmentos de rocha e material argiloso (ver G, H e J para caracterizar as argilas)	6, 8, ou 8-12
N	Zonas de preenchimento com material areno ou silto-argiloso	5
O P R	Zonas espessas e contínuas de material argiloso (ver G, H e J para caracterizar as argilas)	10-13 ou 13-20

* Ângulo de atrito residual típico.

ANEXO D

**Exemplo de tabela de anotação
de dados no campo**

Pedreira Embu
Rocha: Granito

Ponto	Distância	Espaçamento	Orientação	Persistência	Rugosidade	Alteração	Preenchimento	Tipo de estrutura	Observações
1	0.50	0.50	240/45	P1	B	A	AUSENTE	JUNTA	
2	0.65	0.15	012/88	P2	F	A	AUSENTE	JUNTA	
3	1.20	0.55	236/38	P3	D	A	CALCITA	JUNTA	
4	1.40	0.20	258/42	P2	D	B	EPIDOTO	JUNTA	
5	1.80	0.40	345/15	P4	E	A	CALCITA	JUNTA	
6	1.90	0.10	028/86	P4	E	C	AUSENTE	JUNTA	
7	2.30	0.40	145/66	P3	J	N	AREIA E ARGILA	FALHA	Falha normal
8	2.35	0.05	144/70	P2	G	C	AUSENTE	JUNTA	Trecho muito fragmentado
9	2.36	0.01	140/68	P1	E	C	CALCITA	JUNTA	
10	2.38	0.02	142/67	P4	E	C	QUARTZO	JUNTA	
11	2.40	0.02	140/65	P5	F	B	AUSENTE	JUNTA	
12	2.42	0.02	150/66	P3	B	B	EPIDOTO	JUNTA	
13	3.10	0.68	018/79	P2	B	A	AUSENTE	JUNTA	

Scanline 1
Comprimento: 50m
Orientação: N20E-horizantal
Localização: Bancada inferior (cota 100)

