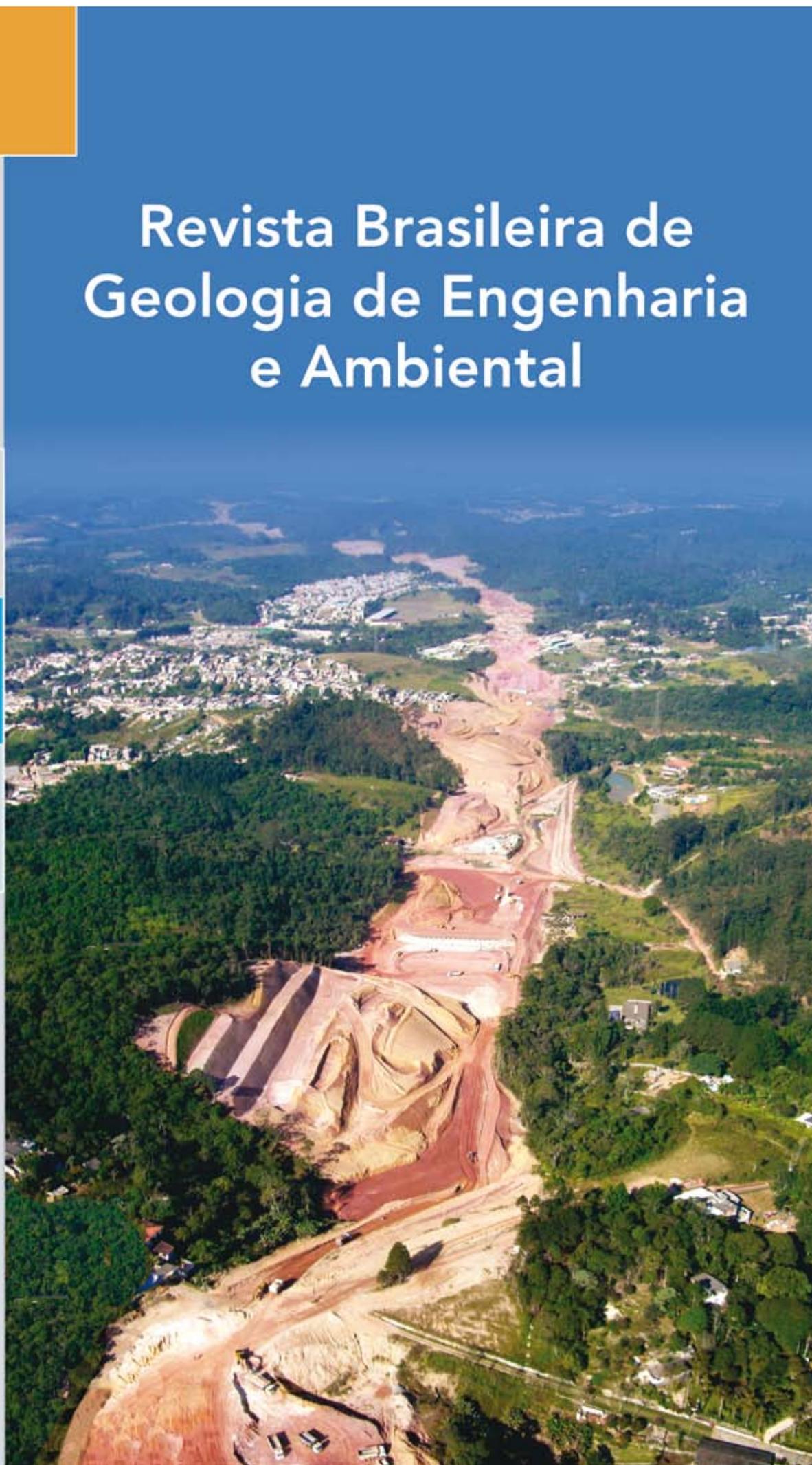




ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental



ISSN 2237-4590

Volume 1
Número 1
Novembro 2011

Edição Especial



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

RBGEA
REVISTA BRASILEIRA DE
GEOLOGIA DE ENGENHARIA
E AMBIENTAL



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

Publicação Científica da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental

EDITOR

Lázaro Valentim Zuquette - USP

CO EDITOR

Fernando F. Kertzman - GEOTEC

REVISORES

Antonio Cendrero - Univ. da Cantabria (Espanha)

Alberto Pio Fiori - UFPR

Candido Bordeaux Rego Neto - IPUF

Clovis Gonzatti - CIENTEC

Eduardo Goulart Collares - UEMG

Emilio Velloso Barroso - UFRJ

Fabio Soares Magalhães - BVP

Fabio Taioli - USP

Frederico Garcia Sobreira - UFOP

Guido Guidicini - Geoenergia

Helena Polivanov - UFRJ

Jose Alcino Rodrigues de Carvalho - Univ. Nova de Lisboa (Portugal)

José Augusto de Lollo - UNESP

Luis de Almeida Prado Bacellar - UFOP

Luiz Nishiyama - UFU

Marcilene Dantas Ferreira - UFSCar

Marta Luzia de Souza - UEM

Newton Moreira de Souza - UnB

Oswaldo Augusto Filho - USP

Reinaldo Lorandi - UFSCar

Ricardo Vedovello - IG/SMA

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Rita Motta - Editora Tribo da Ilha

FOTO DA CAPA

Obras do Rodoanel trecho sul, nas proximidades da represa Billings.,
tirada em 08 de julho de 2008 . Fabrício Araujo Mirandola - IPT

Edição Especial

Circulação: Novembro de 2011

Tiragem: 2.500

ISSN 2237-4590

São Paulo/SP

Novembro/2011



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - IPT (Prédio 11) 05508-901 - São Paulo - SP
Tel.: (11) 3767-4361 - Telefax: (11) 3719-0661 - E-mail: abge@ipt.br - Home Page: <http://www.abge.com.br>

DIRETORIA - GESTÃO 2009/2011

Presidente: Fernando Facciolla Kertzman
Vice-Presidente: Gerson Salviano de Almeida Filho
Diretora Secretária: Kátia Canil
Diretor Financeiro: Luiz Fernando D'Agostino
Diretor de Eventos: Elisabete Nascimento Rocha
Diretor de Comunicação: Marcelo Fischer Gramani

CONSELHO DELIBERATIVO

Elaine Cristina de Castro, Elisabete Nascimento Rocha, Fabio Canzian da Silva, Fabrício Araújo Mirandola, Fernando Facciolla Kertzman, Fernando Ximenes T. Salomão, Gerson Almeida Salviano Filho, Ivan José Delatim, Kátia Canil, Leonardo Andrade de Souza, Luiz Antonio P. de Souza, Luiz Fernando D'Agostino, Marcelo Fischer Gramani, Newton Moreira de Souza, Selma Simões de Castro.

NÚCLEO RIO DE JANEIRO

Presidente: Nelson Meirim Coutinho - **Vice-Presidente:** Antonio Queiroz
Diretor Secretário: Eusébio José Gil - **Diretor Financeiro:** Cláudio P. Amaral
End.: Av. Rio Branco, 124 / 16º andar - Centro - 20040-916 - Rio de Janeiro - RJ
Tel : (21) 3878-7878 **Presidente - Tel.:** (21) 2587-7598 **Diretor Financeiro**

NÚCLEO MINAS GERAIS

Presidente: Maria Giovana Parizzi - **Secretário:** Frederico Garcia Sobreira
Tesoureiro: Luís de Almeida P. Bacellar - **Diretor de Eventos:** Leonardo A. Souza
End.: Univ. Fed. de Ouro Preto - Depto. Geologia - 35400-000 - Ouro Preto/MG
Fone: (31) 3559.1600 r 237 **Fax:** (31) 3559.1606 -

REPRESENTANTES REGIONAIS	UF
ROBERTO FERES	AC
HELIENE FERREIRA DA SILVA	AL
JOSÉ DUARTE ALECRIM	AM
CARLOS HENRIQUE DE A.C. MEDEIROS	BA
FRANCISCO SAID GONÇALVES	CE
NORIS COSTA DINIZ	DF
JOÃO LUIZ ARMELIN	GO
MOACYR ADRIANO AUGUSTO JUNIOR	MA
ARNALDO YOSO SAKAMOTO	MS
KURT JOÃO ALBRECHT	MT
CLAUDIO FABIAN SZLAFSZTEIN	PA
MARTA LUZIA DE SOUZA	PR
LUIZ GILBERTO DALL'IGNA	RO
CEZAR AUGUSTO BURKERT BASTOS	RS
CANDIDO BORDEAUX REGO NETO	SC
JOCÉLIO CABRAL MENDONÇA	TO



A Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) é uma proposta da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) no sentido de suprir uma lacuna nacional para publicação de trabalhos científicos técnicos e de exemplos de aplicação da Geologia de Engenharia e Ambiental, que venham agregar conhecimentos aos profissionais, pesquisadores e comunidade em geral, tanto em nível nacional como internacional.

A frequência será de três números regulares por ano, e números especiais, no caso de seleção de trabalhos relacionados a um tema específico.

A RBGEA terá o primeiro número na forma impressa, e, logo que tiver uma sequência definida, será uma publicação eletrônica, impressa anualmente. Com este periódico espera-se que haja um avanço nas relações entre os profissionais que atuam na formação e pesquisa e aqueles que atuam nas outras esferas da profissão. Assim, será reforçada a relação que tornou a atividade de Geólogo de Engenharia e Ambiental relevante em diversos países, fazendo com que a profissão ocupe uma posição de destaque na sociedade, com questões relevantes relacionadas ao Planejamento Urbano e as Obras de Infraestrutura e tantos outros.

Espera-se que esta publicação atinja seus objetivos e venha subsidiar estudantes e profissionais da Geologia de Engenharia nas suas atividades, seja nas universidades, nos institutos, nas empresas de economia mista, públicas ou privadas.

A Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) destina-se à divulgação

de investigações, estudos e soluções de problemas de engenharia e ambientais decorrentes da interação entre a Geologia e as atividades humanas - (incluindo aspectos relevantes da Geologia relacionados à Engenharia Civil, Mineração e Recursos Hídricos, assim como relacionados à previsão de eventos perigosos, às áreas contaminadas, aos processos geológicos, à prevenção e remediação de áreas degradadas) -, Planejamento Territorial e Ambiental, Banco de Dados e Casos Históricos; além destes estudos serão também contemplados os processos modernos, as novas técnicas de campo e laboratório e temas científicos de interesse amplo e caráter original, sempre relacionados com a Geologia de Engenharia e Ambiental e com as ciências da terra de uma forma geral, seja do Brasil seja de outros países, publicados na língua portuguesa e espanhola.

O primeiro número apresenta artigos históricos de três profissionais que dão nome aos Prêmios da ABGE para os destaques de nossa categoria: Ernesto Pichler, Lorenz Dobereiner e Fernando Luiz Prandini, bem como uma série inicial de artigos encomendados pelos Editores. A segunda edição continuará com autores convidados pelos Editores; e a terceira edição será um dos melhores trabalhos escolhidos no 13º CBGE. Na sequência, haverá publicações digitais reunindo os artigos submetidos por diversos autores.

Boa leitura à todos.

**Lazaro V. Zuquette e
Fernando F. Kertzman**



- 9** BOÇOROCAS
Ernesto Pichler (In memorian)
- 17** CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO DE FUNDAÇÃO DA UHE CACHOEIRA PORTEIRA
Lorenz Dobereiner (In memorian)
Fernando Pires de Camargo
Alarico A. C. Jácomo
- 29** O BRASIL E A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO TERRITORIAL E URBANO
Fernando Luiz Prandini (In memorian)
- 41** UM BREVE RELATO SOBRE A GEOLOGIA DE ENGENHARIA
Lazaro Valentin Zuquette
- 57** INTEGRAÇÃO DE ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS APLICADOS A PROJETOS DE ENGENHARIA E À AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: ESTAMOS AVANÇANDO?
Omar Yazbek Bitar
Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo
Sofia Julia Alves Macedo Campos
Tânia de Oliveira Braga
Caio Pompeu Cavalhieri
- 73** GEOLOGIA APLICADA A BARRAGENS: UMA REVISÃO DE PROCEDIMENTOS
Luiz Ferreira Vaz
Magali Dubas Gurgueira
Talita de Oliveira Muzzi
- 93** CONTRIBUIÇÃO PARA A GEOLOGIA DE ENGENHARIA APLICADA ÀS CIDADES. EXPERIÊNCIA DE LONGA DURAÇÃO EM BELO HORIZONTE – MG
Edézio Teixeira de Carvalho - GEOLURB
- 109** GESTÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS NO BRASIL
Margareth Mascarenhas Alheiros
- 123** IMPORTÂNCIA DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA E GEOMECÂNICA NA MINERAÇÃO
Sérgio N. A. de Brito
Paulo R. C. Cella
Rodrigo P. Figueiredo

CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO DE FUNDAÇÃO DA UHE CACHOEIRA PORTEIRA*

LORENZ DOBEREINER (IN MEMORIAN)

FERNANDO PIRES DE CAMARGO
Geólogos ENGE-RIO Engenharia e Consultoria S.A.

ALARICO A.C. JÁCOMO
Geólogo Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. - ELETRONORTE

RESUMO

A caracterização geomecânica preliminar do maciço granítico de fundação das estruturas de concreto, para o Projeto de Viabilidade da UHE de Cachoeira Porteira, foi executada a partir de uma metodologia específica. Além das investigações convencionais, foram realizadas descrições quantitativas de descontinuidades em afloramentos e ainda foram executados ensaios-índice para uma caracterização quantitativa e expedita do maciço. Com dados de campo foram efetuadas análises estatísticas dos resultados que permitiram uma maior confiabilidade na atribuição dos parâmetros a serem utilizados na elaboração do modelo geomecânico da fundação.

1 INTRODUÇÃO

Para uma adequada caracterização geomecânica de maciços rochosos, é importante que se obtenham informações quantitativas das propriedades do maciço, tanto de suas descontinuidades, como também da massa rochosa, sendo necessário para tal uma descrição quantitativa das descontinuidades, consubstanciada com ensaios expeditos que forneçam resultados-índice a baixos custos.

A metodologia utilizada para caracterização geomecânica do maciço rochoso no Projeto de Viabilidade da UHE de Cachoeira Porteira tem como orientação a utilização deste procedimento para obtenção dos dados de campo, de maneira rápida e eficiente.

Considerou-se que estes estudos realizados já na Fase de Viabilidade auxiliaram na definição do melhor eixo de barragem, assim como forneceram os parâmetros necessários para estudos preliminares de estabilidade das estruturas e dos eventuais tratamentos necessários.

A área de implantação da UHE de Cachoeira Porteira localiza-se a aproximadamente 400 km NE de Manaus, no rio Trombetas. O Projeto de Viabilidade, em execução pela ENGE-RIC, sob contrato da ELETRONORTE, encontra-se praticamente concluído.

A geologia do local de implantação do projeto foi descrita por PUPO et alii (1986). A área encontra-se no contato norte das rochas sedimentares da Bacia Amazônica com a sequência vulcânica pré-cambriana do grupo Iricoumé e com granitóides Mapuera.

O presente trabalho enfoca apenas as rochas granitóides Mapuera, as quais constituem as fundações das estruturas de concreto da 1ª etapa do Projeto da UHE de Cachoeira Porteira. As estruturas de concreto serão todas fundadas sobre o maciço granítico, que de maneira geral apresenta características favoráveis à implantação das obras.

* Editado: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia - Volume 1 - outubro de 1987.

Na caracterização deste maciço de fundação merecem destaque duas feições, consideradas desfavoráveis, quais sejam: a falha de direção N-S, subvertical, que condicionou a erosão do canal profundo do rio, no eixo do barramento, e as possíveis descontinuidades subhorizontais originadas pelos processos de alívio de tensão que sofreu o maciço rochoso.

2 SEQUÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

A caracterização geomecânica do maciço granítico de fundação das estruturas de concreto foi realizada segundo uma sequência lógica de execução dos trabalhos, conforme fluxograma ilustrado na figura 1.

O mapeamento geológico de superfície, efetuado na forma convencional, a partir de dados da bibliografia e métodos de sensoriamento remoto, foi detalhado com o reconhecimento de superfície. Durante este trabalho no campo, iniciou-se uma descrição quantitativa de descontinuidades preliminar que juntamente com o mapeamento e os levantamentos geofísicos forneceram subsídios para programação das sondagens rotativas.

As sondagens rotativas com orientação de testemunhos foram executadas simultaneamente à descrição quantitativa de descontinuidades, efetuada nos afloramentos existentes. Os testemunhos orientados foram descritos com o auxílio de resultados de ensaios- índice de resistência compressão puntiforme e resistência ao cisalhamento direto em descontinuidades. Esses parâmetros em conjunto foram os subsídios necessários para a atribuição preliminar dos parâmetros de resistência e deformabilidade do maciço rochoso e consequente elaboração do modelo geomecânico.

Os dados das descontinuidades levantados foram sucessivamente armazenados em um banco de dados em computador, possibilitando que as formações fossem complementadas e detalhadas com o progresso dos trabalhos. A criação de um banco de dados na fase inicial é de grande utilidade, pois as características quantitativas das descontinuidades e da rocha intacta são obtidas esparsamente, permitindo assim, desde o princípio o aproveitamento de todas as informações, com o acúmulo de um maior número de dados, e consequentemente uma análise estatística mais representativa do maciço rochoso. Com a evolução do projeto em outras fases, po-

derão constantemente ser verificadas as premissas adotadas nas fases anteriores.

As principais etapas desta metodologia são descritas a seguir, enfatizando-se apenas os levantamentos de campo não-convencionais executados para a caracterização geomecânica.

3 DESCRIÇÃO QUANTITATIVA DE DESCONTINUIDADES

3.1 Afloramentos

Os parâmetros das descontinuidades descritos, bem como as graduações nas diferentes classificações, são aqueles recomendados pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1978).

O levantamento nos afloramentos foi realizado a partir de observações ao longo de uma linha de no mínimo 3 m, posicionada em local representativo do afloramento. Para cada afloramento foram realizadas no mínimo duas linhas perpendiculares entre si. Este procedimento permitiu uma amostragem estatística do maciço, já que foram realizadas descrições detalhadas das descontinuidades em vários pontos. Os parâmetros considerados para cada descontinuidade foram:

- direção do mergulho;
- ângulo de mergulho;
- distância na linha;
- persistência;
- rugosidade;
- resistência das paredes;
- abertura;
- preenchimento (mineralogia, granulometria e resistência);
- condições de percolação.

Foram registrados ainda dados gerais de cada afloramento:

- grau de alteração do maciço rochoso;
- número de famílias de descontinuidades;
- espaçamento das fraturas;
- resistência do material rochoso.

É importante enfatizar que as escalas das observações de campo em afloramentos, bem como a qualidade e representatividade das descrições, são funções das limitações de tamanho das exposições do maciço rochoso amostrado.

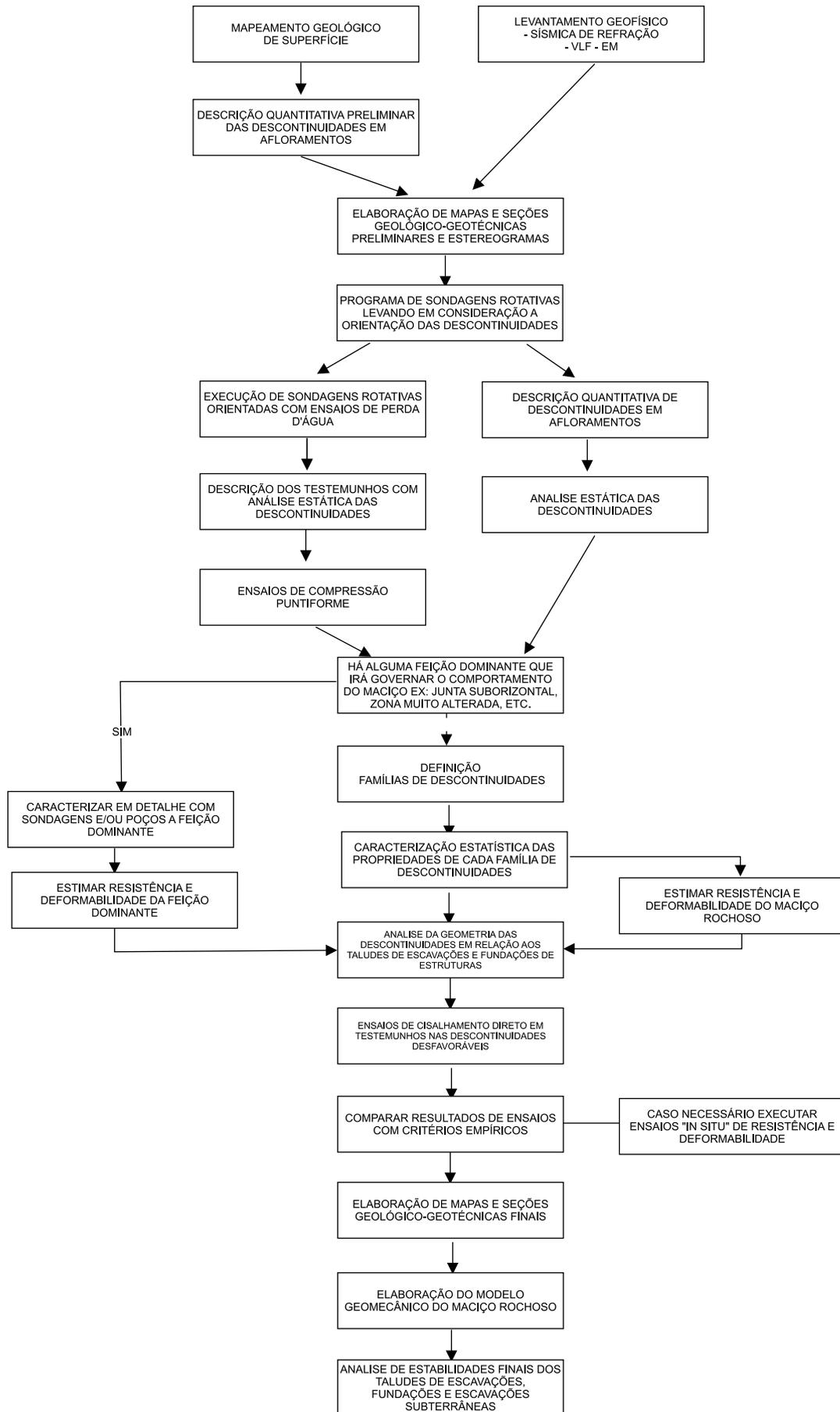


Figura 1 – Metodologia para caracterização de maciços rochosos.

3.2 Testemunhos de sondagens

Com base nos testemunhos de sondagens rotativas orientadas, foi efetuada uma descrição do maciço rochoso em subsuperfície, também segundo norma da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1978). Os Parâmetros descritos das descontinuidades foram:

- orientação;
- rugosidade;
- resistência das paredes;
- espaçamento.

Tem-se como grande limitação a dificuldade de se determinar a persistência e a abertura destas descontinuidades. No âmbito do maciço rochoso foram determinados:

- estado de alteração,
- resistência do material rochoso.

3.3 Análise e interpretação de dados

Com a utilização de um banco de dados e um programa de computador específico para análise de descontinuidades, é possível se traçar, em "plotter", estereogramas, permitindo uma análise rápida da geometria das descontinuidades.

Inicialmente, as atitudes (direção e mergulho) das descontinuidades foram plotadas em estereogramas representando todos os pontos individuais de amostragem (afloramentos e sondagens). Em uma segunda etapa são plotados os estereogramas representando áreas ou profundidades selecionadas de acordo com dada estrutura ou escavação proposta. Finalmente, foi plotado um estereograma com todas as descontinuidades dos afloramentos a medidas obtidas em sondagens orientadas, subdivididas por tipo litológico, ou em limites de profundidade, de maneira a caracterizar as diferentes famílias de descontinuidades presentes em todo maciço rochoso.

Uma vez determinadas as famílias de descontinuidade presentes em uma determinada área ou entre limites de profundidade pré-selecionados, foram estudadas as propriedades de cada família.

Para cada família de descontinuidade foram feitos histogramas de frequência "versus" abertura, espaçamento, persistência, rugosidade, resistência das paredes e percolação, permitindo caracterizar estatística mente as propriedades mais representativas e/ou críticas.

A figura 2 apresenta todos os dados obtidos nos afloramentos de granito na zona de fundação das estruturas de concreto.

4 PARÂMETROS DETERMINADOS POR ENSAIOS-ÍNDICE

4.1 Resistência à compressão puntiforme (I_s)

Os ensaios de resistência à compressão puntiforme foram executados no laboratório de campo e seguiram as recomendações da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1985).

Estes ensaios permitiram uma caracterização expedita e econômica do material rochoso, não envolvendo maiores requintes na preparação das amostras a serem ensaiadas.

Em virtude da quase totalidade das fundações e das estruturas de concreto projetadas estarem sobre o granito, nele foram executados 132 ensaios nesta fase do projeto. Utilizou-se o carregamento diametral, sendo rejeitados os resultados atribuídos aos planos de fratura pré-existente; incipientes ou semi-selados.

A figura 3 mostra a distribuição em frequência dos valores determinados. Os valores de resistência não apresentaram aumento significativo com a profundidade, estando à média dos resultados entre 10 e 11MPa. Correlacionando-se a média dos valores obtidos com os dados da compressão uniaxial (σ_c), obteve-se a relação $\sigma_c = 22,4 I_s$, que fica dentro da faixa média mencionada acima, aceita pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas.

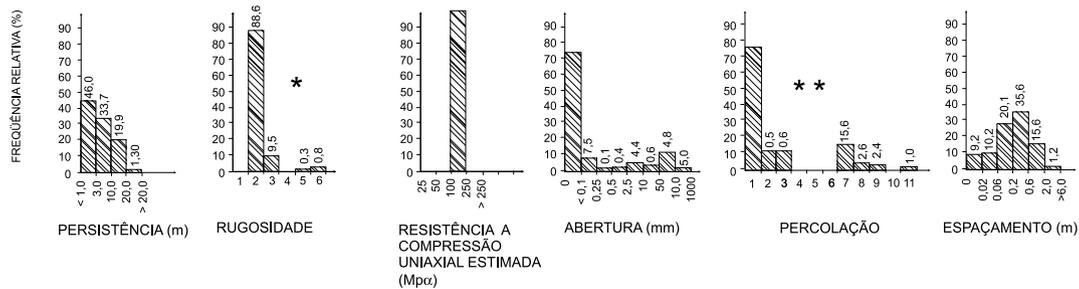
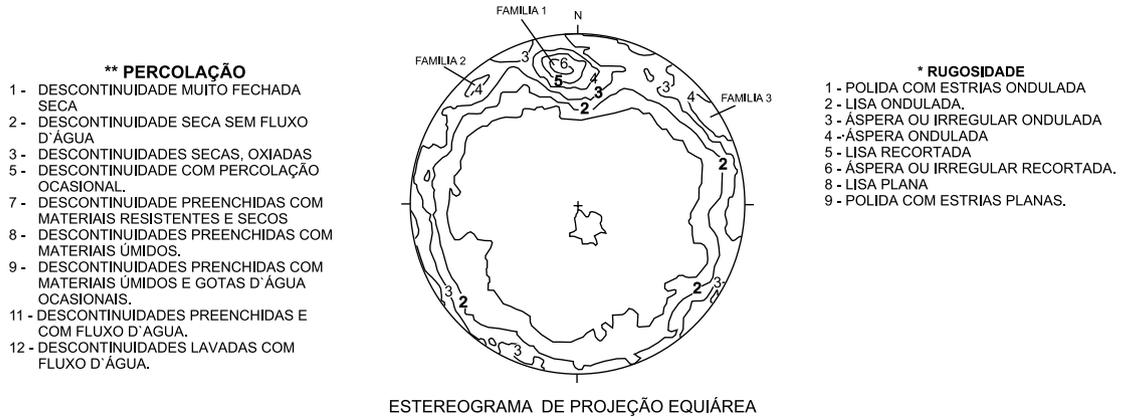
Particularmente, para as amostras de granito ensaiadas, constatou se uma menor dispersão nos resultados quando comparados aos valores dos ensaios de compressão uniaxial.

4.2 Resistência ao cisalhamento das descontinuidades

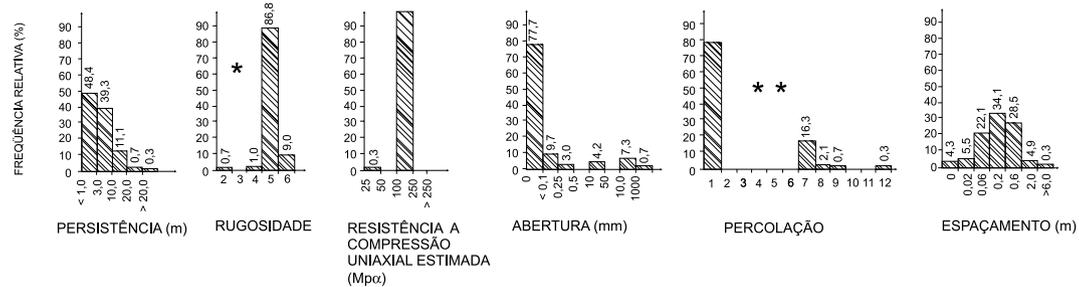
Os ensaios de cisalhamento direto foram executados de acordo com a metodologia proposta por ROSS-BROWN e WALTON (1974) e que se aplica na avaliação da resistência ao cisalhamento em descontinuidades de testemunhos de sondagem. Na preparação dos corpos de prova, utilizaram-se testemunhos de sondagens com diâmetros Hx (7,62 cm) e Nx (5,47 cm) que foram moldados em argamassa sem saturação previa.

A metodologia de ensaio escolhida foi a de múltiplos estágios, na qual houve três incrementos de tensão normal, que foram incorporados a inicial. Não houve, entretanto, descarregamento da amostra ao final de cada estágio.

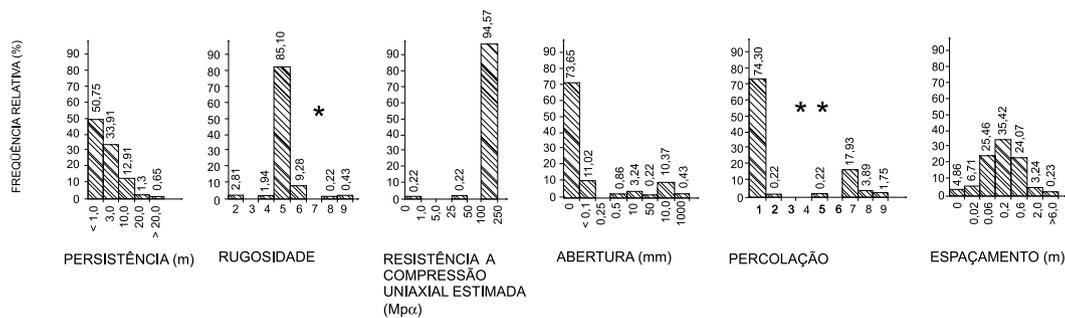
As tensões normais aplicadas foram da ordem de 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 MPa, sendo escolhidas em função das solicitações a que o maciço rochoso será submetido. A metodologia básica utilizada na execução dos ensaios e descrita a seguir:



FAMÍLIA - 1 N₀ DE DESCONTINUIDADES - 608



FAMÍLIA - 2 N₀ DE DESCONTINUIDADES - 287



FAMÍLIA - 3 N₀ DE DESCONTINUIDADES - 463

Figura 2 - Características das Descontinuidades.

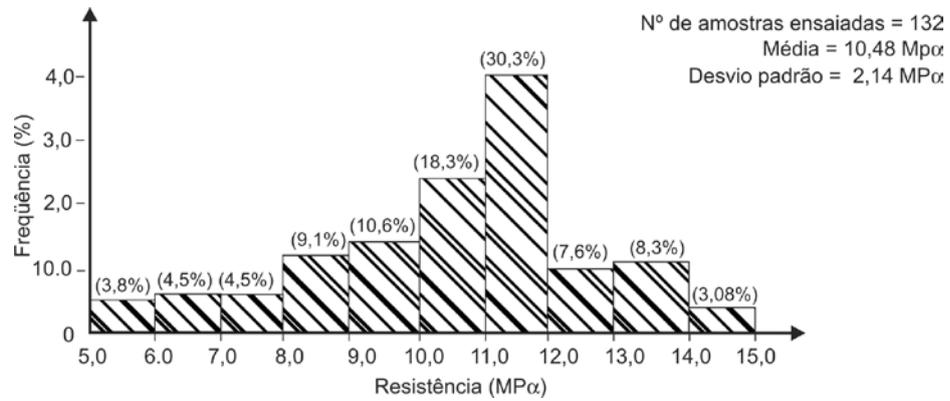


Figura 3 - Granito - Ensaios de compressão puntiforme - Histograma de frequência.

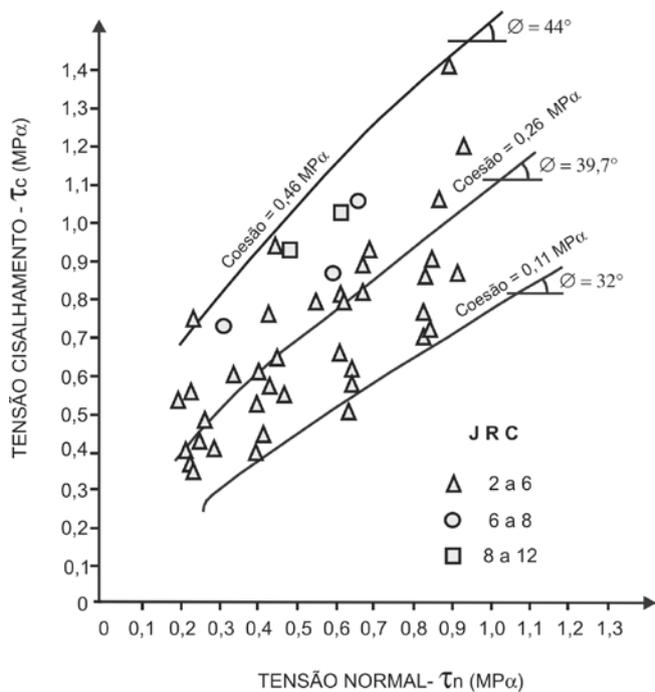


Figura 4 - Granitos - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades com paredes sãs.

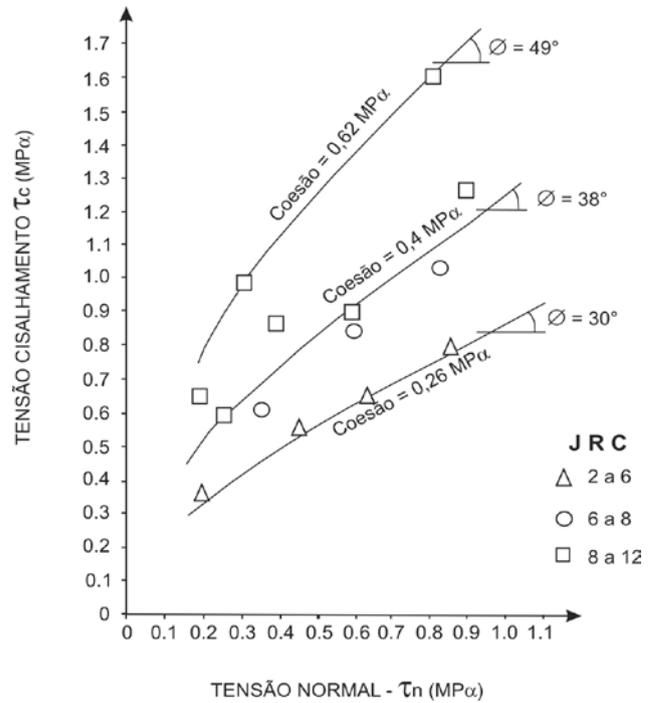


Figura 5 - Granitos - Ensaio de cisalhamento direto em descontinuidades com paredes alteradas.

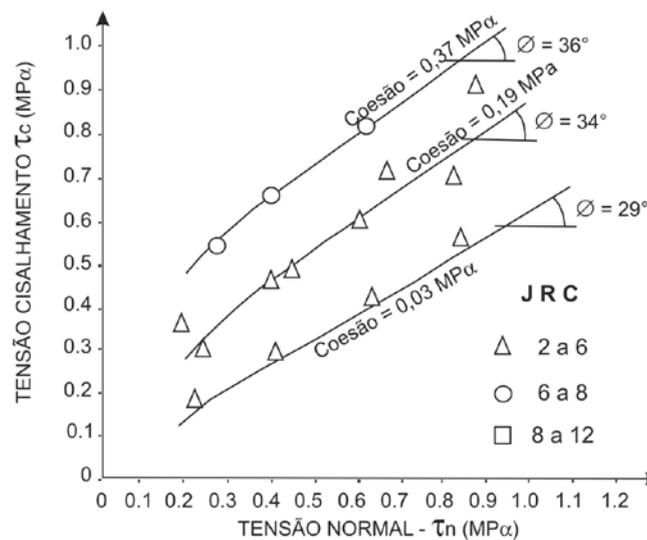


Figura 6 - Granitos - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades com paredes portadoras de clorita.

- após a colocação da amostra (embutida no respectivo molde) no equipamento de cisalhamento direto, a tensão normal é incrementada até chegar a aproximadamente 0,2 MPa. Juntamente com o aumento da tensão cisalhante são observados os deslocamentos nesta direção até chegar a um nível de tensão de pico em que os deslocamentos são grandes (aproximadamente 2 a 3 mm). Concluindo-se o primeiro estágio tensão normal é novamente aumentada para o nível subsequente e reinicia-se o processo de carregamento da tensão cisalhante com a observação dos deslocamentos. São executados estágios sucessivos até seja constatado um deslocamento da ordem de 1,0 cm, no qual já existe uma mudança muito grande na área da superfície ensaiada.

Dentre as fatores que podem resultar deste ensaio estão tanto as que dizem respeito ao material rochoso (granulometria, mineralogia, teor de umidade, etc.) como os característicos da própria descontinuidade (material de preenchimento, rugosidade das paredes, etc.) A rugosidade das paredes e, normalmente, o parâmetro que causa maior dispersão nos resultados. BARTON E CHOUBEY (1977) associaram perfis de rugosidade de juntas às faixas de coeficientes de rugosidade (JRC), sendo essa classificação utilizada para caracterizar individualmente as descontinuidades ensaiadas.

Nas figuras 4, 5 e 6 são apresentadas as envoltórias de resistências máximas, médias e mínimas de descontinuidades em granito. As superfícies das descontinuidades foram subdivididas em: sãs, alteradas e com película de clorita. Nos resultados obtidos, constatou-se uma tendência no aumento dos valores ϕ e C , associados ao crescimento dos índices de JRC, sendo este fator por vezes mais relevante até mesmo que o estado de alteração das paredes. As figuras 4 e 5 demonstram a conclusão anteriormente citada. O fato das descontinuidades com paredes sãs terem mostrado, em média, resistências ligeiramente inferiores as descontinuidades com paredes alteradas, se dá claramente pelo fato da maior parte das descontinuidades de paredes sãs apresentarem rugosidade menor.

Constatou-se também que as descontinuidades com menor resistência são aquelas que apresentam uma película de clorita que diminui o atrito entre as paredes sãs.

5 DETERMINAÇÃO EMPÍRICA DE PARÂMETROS GEOMECÂNICOS

5.1 Parâmetros atribuídos para maciços sem a presença de descontinuidades dominantes

Nos casos em que a resistência do maciço rochoso foi determinada para potenciais superfícies de ruptura aleatórias no maciço rochoso e não por uma zona ou descontinuidade principal menos resistente, foi utilizado o critério de ruptura empírico proposto por HOEK e BROWN (1980). Este critério baseia-se na expressão do tipo:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{\sigma_3 \sigma_c m + \sigma_c^2 S}$$

onde m e s são constantes das características do maciço rochoso, que podem ser obtidas a partir da classificação de maciços rochosos proposta por BIENIAWSKI (1976) e pela classificação do tipo litológico (HOEK e BROWN, 1980) a resistência à compressão uniaxial.

Pelas características do litotipo presente nas fundações, o maciço granítico foi classificado como sendo uma rocha ígnea de granulação média a grossa, segundo HOEK e BROWN (1980).

A determinação das características do maciço de fundação para as estruturas, obtidas com a utilização da classificação de BIENIAWSKI (1976), bem como sua classificação final e dos respectivos valores de m e s , são apresentados nos quadros 1 e 2.

Face à curvatura pronunciada das envoltórias de resistência, os parâmetros de coesão foram determinados para tensão normal entre 0,1 e 0,6 MPa, o que corresponde aproximadamente a faixa de tensão a que será submetido o maciço rochoso.

5.2 Parâmetros atribuídos para descontinuidades dominantes de maior persistência

Nos casos em que o comportamento geomecânico gerado por uma descontinuidade principal de maior persistência, foi utilizado o critério empírico de BARTON e CHOUBEY (1977), que se baseia na seguinte equação:

$$\phi_{pico} = JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_b$$

onde JRC é o coeficiente de rugosidade da junta, JCS é a resistência à compressão da parede da junta e ϕ_b o ângulo de atrito básico.

Nas possíveis descontinuidades subhorizontais persistentes na fundação do muro de transição direito e vertedouro, foi estimado por este critério um ângulo de atrito de pico de aproximadamente 50° e uma coesão aparente de 0,04 MPa, considerando-se o coeficiente de rugosidade da junta (JRC) igual a 8, a resistência da parede da descontinuidade 2.00 MPa e ϕ_b de 32°.

Entretanto, os resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento direto, nos testemunhos de sondagens, foram inferiores, tendo-se finalmente atribuído, no modelo geomecânico, os valores de $\phi = 45^\circ$ e $c = 0,1$ MPa para estas descontinuidades.

Nas possíveis descontinuidades persistentes de paredes alteradas, que ocorrem na fundação do muro de transição esquerdo, dada a dificuldade de se estimar a resistência das paredes, foram adotados os valores considerados representativos obtidos nos ensaios de laboratório ($c = 0,25$ MPa

e $\phi = 40$), além de se considerar que estas feições são persistentes ao longo de todo o bloco,

5.3 Módulo de deformabilidade

Os módulos de deformabilidade do maciço rochoso foram estimados tendo como base a correlação empírica com a classe de maciço rochoso definido pela classificação BIENIAWSKI (1976), conforme proposto por SERAFIM e PEREIRA (1983).

No quadro 2 são apresentados os valores adotados para módulos de deformabilidade dos maciços de fundação de cada uma das estruturas de concreto.

Dadas as características geomecânicas favoráveis do maciço rochoso, pode-se prever que não haverá problemas quanto à deformabilidade da fundação das estruturas de concreto, Mesmo na zona do canal profundo, onde o maciço se apresenta muito fraturado, pode-se estimar valores da ordem de 10 GPa para o seu módulo de deformabilidade, que é satisfatório, em função dos níveis de tensão que atuarão na fundação.

Quadro 1 - Classificação geomecânica do maciço rochoso parâmetros na classificação de Bieniawski.

ESTRUTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES		RDQ		ESPAÇAMENTO DAS DESCONTINUIDADES		CONDIÇÃO DAS DESCONTINUIDADES	CARACTERÍSTICAS HIDRO-GEOTÉCNICAS	AJUSTE PARA ORIENTAÇÃO	TOTAL PARA PONTOS
	c (MPa)	PONTOS	(%)	PONTOS	(CM)	PONTOS	PONTOS	PONTOS	PONTOS	
Muro de transição esquerdo e tomada d'água (blocos 1 a 4) Granitos são	> 200	15	75 a 90	17	30 a 100	20	20	7	-25	54
Muro de transição esquerdo e tomada d'água (blocos 1 e 4) Granito com fraturas de paredes alteradas - superficiais	100 a 200	12	50 a 75	13	30 a 100	12	12	7	-25	31
Tomada d'água (blocos 2 e 3) Zona de falha em granito são	> 200	15	< 25	3	5 a 30	10	20	7	-25	30
Vertedouro e muro de transição direito Granitos são	> 200	15	50 a 75	13	5 a 30	10	20	7	-15	60

Quadro 2 - Atribuição de parâmetros geomecânicos ao maciço rochoso.

ESTRUTURA	CARACTERÍSTICA	PONTUAÇÃO (1)	O _c (MPa)	PARÂMETRO DA EQUAÇÃO (2)		C	Ø (O) (3)	E (GPa) (4)
				(m)	(s)			
Muro de transição esquerdo e tomada d'água (blocos 1 e 4)	Perturbado por escavações a fogo	54	230	0,93	0,0005	0,6	57	30
Granito são	Não perturbado		230	1,0	0,0007	1,0	57	35
Muro de transição esquerdo e tomada d'água (blocos 1 e 4)	Perturbado por escavações a fogo	31	180	0,18	0,00001	0,3	45	8
Granito com fraturas de paredes alteradas - superficial	Não perturbado		180	0,20	0,0001	0,5	45	10
Tomada d'água (blocos 2 e 3)	Perturbado por escavações a fogo	30	230	0,17	0,00001	0,2	45	8
Zona de falha	Não perturbado		230	0,19	0,00005	0,4	45	10
Vertedouro e muro de transição direito	Perturbado por escavações a fogo	50	230	0,60	0,0002	0,3	56	30
Granito são	Não perturbado		230	0,75	0,0002	0,7	56	35

(1) Segundo classificação de maciços rochosos apresentada na quadro 1.

(2) Constantes de equação do critério empírico de HOEK e BROWN.

(3) C e Ø determinados a partir de pares de valores de σ_1 e σ_3

(4) Modelo de elasticidade do maciço rochoso estimada com base no critério de SERAFIM e PEREIRA.

6 MODELO GEOMECÂNICO DO MACIÇO ROCHOSO

A figura 7 apresenta os modelos geomecânicos preliminares das fundações das principais estruturas de concreto, concebidas conforme metodologia descrita nos itens anteriores.

Esta metodologia, baseada em resultados-índice obtidos de ensaios expeditos e na aplicação de critérios empíricos de resistência e deformabilidade

de maciços rochosos, permite um melhor abalanzamento das definições dos parâmetros geomecânicos de maciços rochosos. Estes parâmetros, assim obtidos, podem ser reavaliados de modo coerente, durante o prosseguimento dos estudos e investigações, com sensível redução do subjetivismo inerente ao processo. Podem, também, ser comparados com os de outras obras, onde o método venha a se aplicar, facilitando o intercâmbio de experiências.

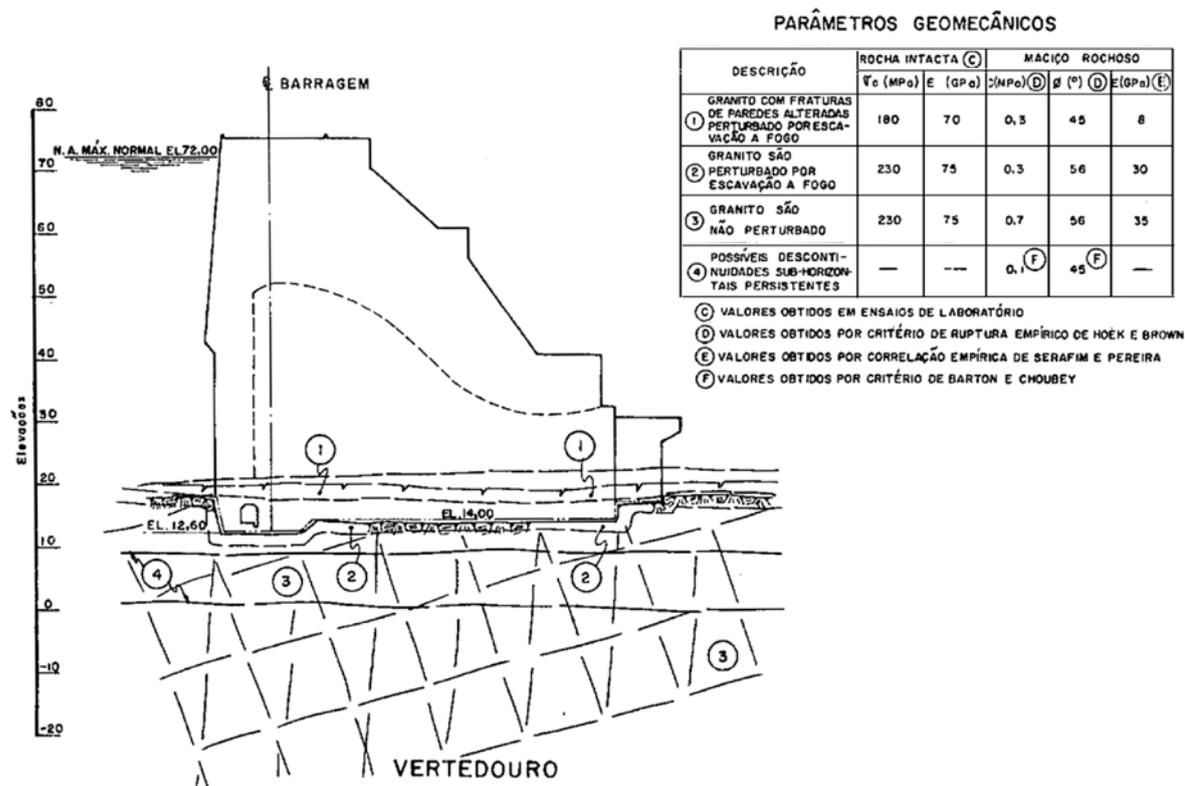
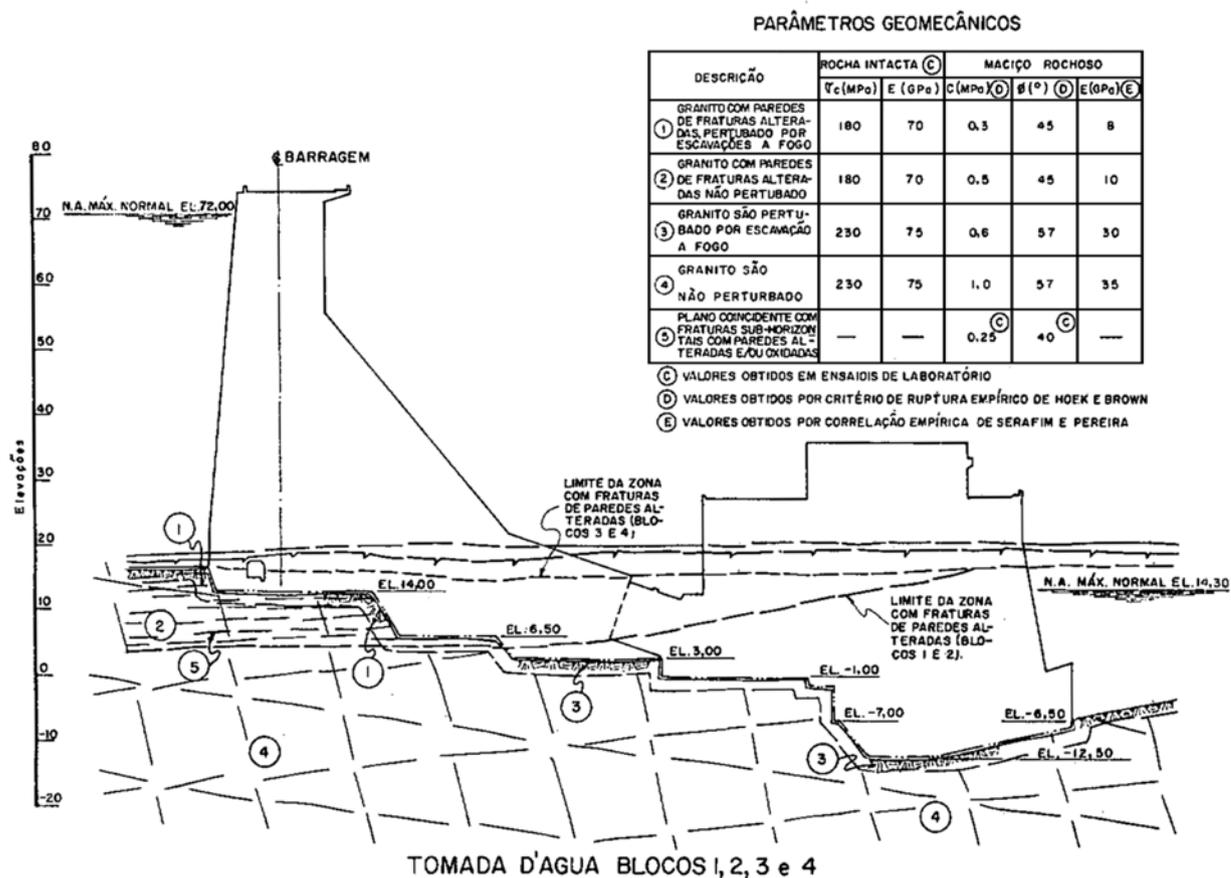


Figura 7 - Modelos geomecânicos

Agradecimentos

Os autores agradecem as Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE) a permissão da publicação deste trabalho e a todos os técnicos que, de uma forma ou de outra, participaram da elaboração e construção deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

BARTON, N. e CHOUBEY, V. (1977) The Shear Strength Of Rock Joints in Theory and Practice. Rock Mechanics. Vol. 10/1-2.

BIENIAWSKI, S.T. (1976) Rock Mass Classification in Rock Engineering. Proc. Symposium on Exploration for Rock Engineering. Johannesburg, Vol. 1, p.97-106.

HOEK, E. and BROWN, E.T. (1980) . Empirical Strength Criteria for Rock Masses. Jour. Geotech. Eng. Div. ASCE, Vol. 106 NGT 9, P. 1013-1035.

ISRM - International Society of Rock Mechanics (1978). Suggested. methods for determining the

uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. In: BROWN, E.T. Rock Characterization Testing EMonitoring. Oxford, Pergamon Press, 1981. p. 113-16:

ISRM - International Society for Rock Mechanics (1985). Suggested Method for determining point load strength. In: J.Rocks Mech.Min. Sci e Geomech. Abstr., Vol. 22 (2); P. 51-60.

PUPO, G; SCARMINIO, M.; RIBEIRO, A.C.O.JACOMO, A. (1986) "Conditioning Geological Factors in the Selection of the site for the Cachoeira Porteira Dam". Anais do 5º Congresso da IAEG, Vol.4 P. 1173 a 1182.

ROSS-BROWN, D.M.C. WALTON G.,- (1975) A portable shear box for testing rock joints. Rock Mechanics. Vol. 7 No (3): P. 129-53

SERAFIM, S.L. e PEREIRA, J.P. (1983) Considerations of the Geomechanical Classification of Die-nawsKi. Proc int symp or engineering geology and underground construction, Lisboa, Vol. 1, II 33 a.42.

