

A RELAXAÇÃO SUPERFICIAL DE MACIÇOS ROCHOSOS IDENTIFICADA ATRAVÉS DE ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA E TESTES DE INJETABILIDADE*

Surface Stress Relief Zone in a Rock Mass Identified Through Water and Grouting Tests

por

GUIDICINI, G.**

NIEBLE, C.M.**

CORNIDES, A.T. de**

BERRINO, S.E.B.**

CELLA, P.R.C.**

FERNANDES, J.R.**

RIBEIRO, A.C.O.***

RESUMO – Em um sítio de implantação de barragem, na região amazônica, o fenômeno de relaxação superficial do maciço rochoso, decorrente de alívio natural de tensões, foi identificado e caracterizado através da análise de três diferentes tipos de informação: resultados de ensaios de perda d'água sob pressão, análise do fenômeno de «retorno» em um certo número de ensaios e, finalmente, pelos resultados dos testes de injetabilidade executados em parte dos furos de sondagem. A apreciação, de início isolada e a seguir conjugada, das três fontes de dados permitiu identificar, embora de forma ainda preliminar, a presença de algumas faixas ou horizontes, no interior do maciço, com características hidrogeotécnicas e de deformabilidade próprias. Esta setorização representou um subsídio importante na discussão e elaboração do projeto do tratamento das fundações da obra, levando a reduções sensíveis na extensão e magnitude dos trabalhos, comparativamente a outras obras de mesmo porte.

SYNOPSIS – In the Amazon region, at a dam site under investigation, the phenomenon of surface relaxation of the rock mass, due to natural causes, was identified and characterized in three different ways: water tests under pressure along bore holes, analysis of «backflow» observed in a certain number of holes and, finally, grouting tests.

The analysis of each type of test individually and in conjunction permitted the preliminary identification of horizontal zones of the rock mass, each one with particular hydrogeotechnical and deformability characteristics.

This discretization represented an important contribution to the discussion and project of the foundation treatment of the dam, permitting a substantial reduction in the extension and magnitude of the work, as compared to other projects of the same size.

* Manuscrito recebido em Setembro de 1984. A discussão do trabalho está aberta por um período de três meses.

** ENGEVIX S.A. – Estudos e Projectos de Engenharia.

*** ELETRONORTE – Centrais Eléctricas do Norte do Brasil S.A.

1 – INTRODUÇÃO

Uma das leis de evolução do meio físico reza que todo fenômeno erosivo, em rochas que já estiveram submetidas a um estado de confinamento, é acompanhado por uma relaxação da faixa próxima à superfície, em decorrência do alívio de tensões ocorrido.

Este fenômeno é comum a todos os maciços ígneos e metamórficos, podendo se fazer presente em maciços sedimentares.

Se, na maioria dos casos, sua identificação é imediata, ou de fácil consecução, por se revelar através de vários indícios em superfície e subsuperfície, sua expressão quantitativa, isto é, sua faixa de abrangência e a intensidade com que se manifesta, são elementos de menos fácil avaliação.

A importância do fenômeno, na construção de obras de barramento, decorre do empobrecimento das propriedades geomecânicas que ele acarreta, além do incremento das características de condutividade hidráulica que resulta da mudança de porosidade que o meio sofre.

Não se pretende abordar, no presente trabalho, a mecânica do fenômeno, assunto para especialistas em tectonofísica, mas sim mostrar como tal fenômeno foi identificado e caracterizado, num local de estudo para implantação de barragem, através de uma análise conjugada dos dados trazidos por uma campanha de investigações convencionais. O local é o de Santa Isabel, no Baixo rio Araguaia, dentro da área de atuação da ELETRONORTE S.A.. Esta campanha consistiu na realização de sondagens rotativas, com ensaios de perda d'água, sendo que cerca de 30% das sondagens foram submetidas a testes de injetabilidade de caldas de cimento.

Da análise dos dados e de suas correlações se obteve um razoável conhecimento do alcance do fenômeno de relaxação, tendo sido possível setorizar, em profundidade, alguns horizontes, onde ele se manifesta com intensidade variável.

A cada horizonte foram então atribuídas certas características de deformabilidade, condutividade hidráulica e injetabilidade. Em particular, estes dois últimos atributos representaram um subsídio importante na definição do projeto de tratamento das fundações da obra, tendo sido possível reduzir sensivelmente o volume de trabalhos, comparativamente a projetos em condições geométricas semelhantes.

2 – ASPECTOS DA GEOLOGIA LOCAL

Geomorfologicamente, a área situa-se na unidade morfo-estrutural da Depressão Periférica do Sul do Pará, no Médio Tocantins, que constitui uma ampla faixa de circundesnudação na periferia das bacias paleozóicas do Maranhão-Piauí e do Amazonas.

No local do barramento, a topografia é bastante acidentada com desníveis de até 150-200 m, na margem esquerda e de até 80-100 m na margem direita. A drenagem superficial é normalmente encaixada, possuindo forma dendrítica.

A geologia do local de implantação das estruturas está representada por pacote de sedimentos paleozóicos das formações Serra Grande e Pimenteiras, sobrepostos diretamente aos micaxistos pré-Cambrianos da formação Xambioá, do grupo Estrondo.

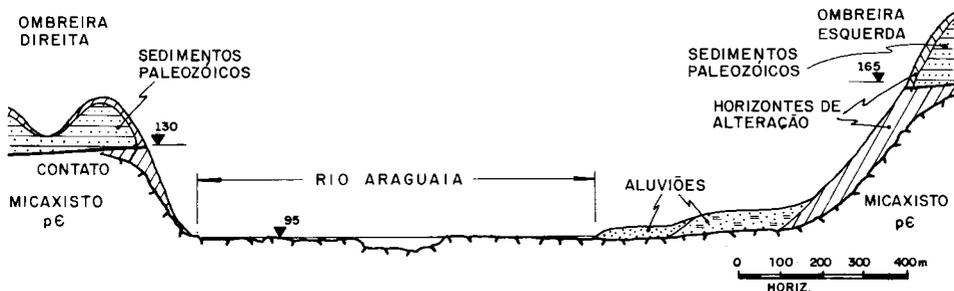


Fig. 1 — Seção Geológica Esquemática

O pacote sedimentar ocorre nas ombreiras e assenta-se diretamente sobre rochas do pré-Cambriano, possuindo direção aproximada Norte-Nordeste e mergulhando para o interior da Bacia, ruído a Leste, com ângulo de 2° - 3° para SE. A superfície de contato sobre esses sedimentos e o micaxisto é um antigo «Peneplano», possuindo a mesma atitude do pacote sedimentar.

O pacote sedimentar é constituído por siltitos e arenitos, com ocorrências secundárias de folhelhos, níveis conglomeráticos e níveis enriquecidos em ferro ou limonitizados. Esses materiais ocorrem com diferentes graus de litificação, variando desde terrosos até rocha dura.

O micaxisto ocupa o leito do rio e a parte inferior das ombreiras, conforme pode ser visualizado na seção esquemática da Fig. 1.

O maciço pré-Cambriano está representado por quartzos micaxistos compactos, de xistosidade pronunciada, granulação média a fina e alternância de bandas quartzosas com outras essencialmente micáceas.

A xistosidade, que é o aspecto estrutural dominante na rocha, possui atitude espacial, definida pela direção $N 25^{\circ}$ a 30° W, com ângulo de mergulho de 25° a 35° NE. Isso equivale a dizer que ela corta o rio transversalmente no local do barramento e que o seu mergulho é para jusante.

A planta da Fig. 2 mostra o trecho do rio Araguaia onde se localiza o futuro barramento. Na época da estiagem, o micaxisto aflora em áreas extensas, no leito do rio, configurando o pedral visível na referida planta.

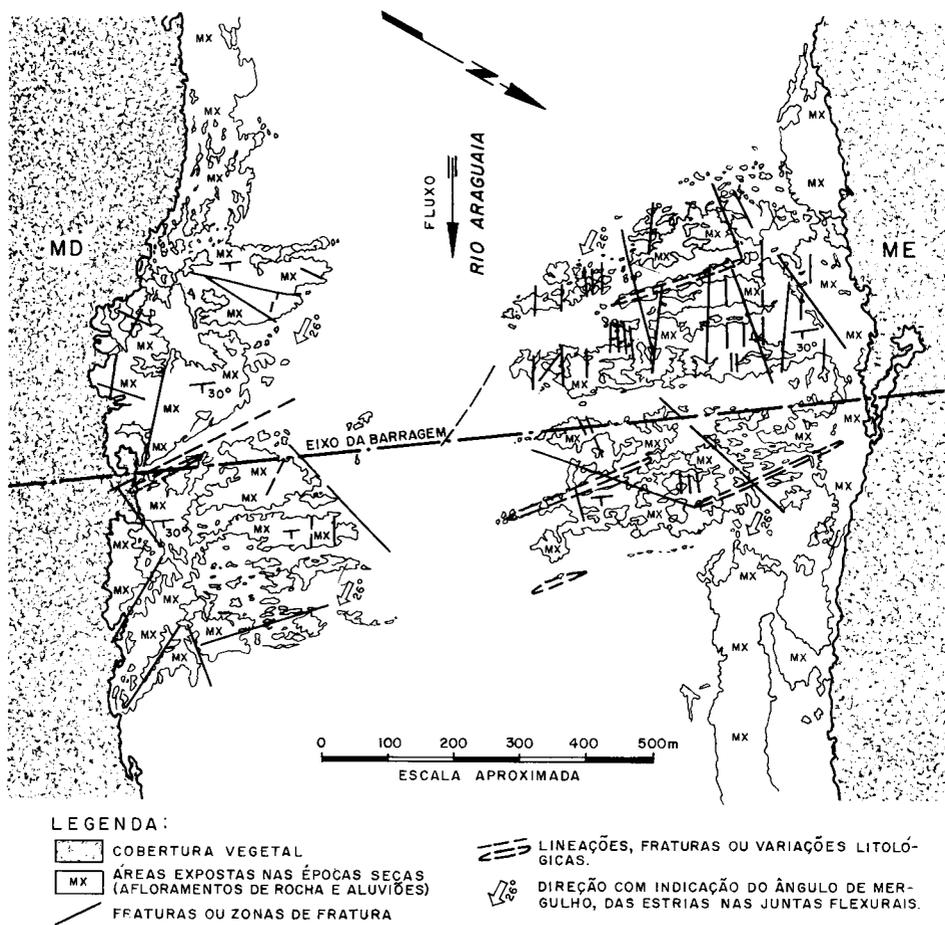


Fig. 2 — Aspectos estruturais nos pedrais do leito do rio

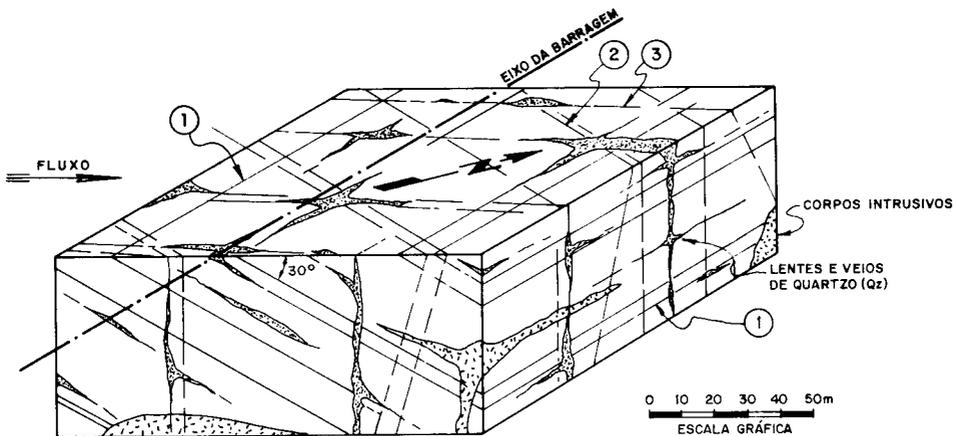
A compartimentação do maciço de micaxisto é comandada por duas classes de discontinuidades distintas. A primeira é constituída por juntas de deslizamento flexural, cuja atitude ora coincide, ora perspassa os planos de xistosidade, ocorrendo disseminadas por todo o maciço, com espaçamento centimétrico até a dezena de metros.

A segunda classe é constituída por duas famílias de diaclases, de atitude subvertical. As duas direcções são N 25° a 40° E e E-W, formando ângulo médio de 60° entre si. A continuidade de cada uma dessas diaclases não ultrapassa os 20 ou 30 metros, podendo porém se agrupar e concentrar em faixas de maior continuidade.

Quanto às propriedades físicas, a família de juntas flexurais apresenta as paredes lisas, frequentemente estriadas, via de regra seladas. Já no diaclasamento subvertical, as paredes são normalmente rugosas irregulares, estando as diáclases geralmente abertas.

O bloco-diagrama da Fig. 3 ilustra a atitude espacial dos principais planos de compartimentação, já referidos.

No que se refere ao ambiente tectônico, que possa ter influenciado o local, um grande lineamento, chamado de Iriri-Martírios, é a estrutura mais próxima. Possui extensão de 650 km e constitui-se numa zona de transcorrência, onde a estrutura associada mais notável é o dobramento da Serra dos Martírios. Apesar da proximidade dessas estruturas ao eixo, de algumas dezenas de quilômetros, não foi possível evidenciar, até o momento, qualquer tipo de falhamento no local do barramento. Acredita-se, entretanto, que esses eventos devam ter influenciado a compartimentação estrutural do maciço, de alguma forma.



CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESTRUTURAS			
Nº	NATUREZA	ATITUDE REGIONAL	PROPRIEDADES PARTICULARES
①	XISTOSIDADE/F3	25-35° W-30° NE	DESILZAMENTOS FLEXURAIS
②	JUNTA F1	N25° A 40° E/SUB-VERT.	JUNTAS SUB-VERTICAIS, PROVÁVEIS DUCTOS
③	JUNTA F2	EW/SUB-VERT.	ESTRUTURAS PARA ASCENÇÃO DO QUARTZO

Fig. 3 — Bloco-diagrama da estruturação do maciço

3 – MEIOS DE IDENTIFICAÇÃO DO FENÔMENO DE RELAXAÇÃO

No maciço de Santa Isabel, a identificação do fenômeno de relaxação, decorrente do alívio de tensões por erosão e decapagem, ocorreu gradativamente, de início pela análise isolada das seguintes fontes de informação:

- a) resultados dos ensaios de perda d'água nas sondagens;
- b) apreciação do fenômeno de retorno ocorrido em 17 sondagens;
- c) resultados dos testes de injetabilidade em parte das sondagens.

À análise isolada seguiu-se uma integração de todas as informações obtidas e deste somatório de elementos resultou um quadro bastante claro, sobre a intensidade e distribuição espacial do fenômeno em apreço.

Para fins do presente trabalho, foram selecionadas as principais informações que resultaram da apreciação de cada um dos três conjuntos de dados e que serão expostas a seguir.

A maioria dos dados analisados provém da área situada no leito do rio, sendo poucos os dados provenientes de investigações realizadas nas duas ombreiras. Nestas, o manto de intemperismo, o desconfinamento lateral e a diversidade de litologias existentes (sedimentos sobrepostos aos micaxistos) tendem a mascarar os resultados, dificultando sua interpretação, além de se contar com um menor número de sondagens, isto é, de informações.

Considera-se que o leito do rio, que possui uma largura de cerca de 1000 m (ver Fig. 1), e onde as sondagens alcançam não mais que 60 m de profundidade, constitui um semi-espaco rochoso homogêneo e «infinito», propício à análise comparativa de resultados de ensaios entre si. Note-se que, em virtude da largura do vale e da estruturação do maciço, dificilmente pode-se admitir que haja qualquer interferência das ombreiras nos resultados dos ensaios de natureza hidrogeológica executados no leito do rio.

3.1 – *Análise dos ensaios de perda d'água*

A análise foi elaborada a partir dos resultados de 552 ensaios de perda d'água sob pressão, realizados em 32 sondagens rotativas no leito do rio. Não serão feitas referências às técnicas dos ensaios, uma vez que estes foram executados dentro dos padrões convencionais, em trechos sucessivos de três metros, sob os cinco clássicos estágios de pressões crescentes e decrescentes. Os resultados são apresentados na forma de tabela, histogramas e gráfico.

A tabela da Fig. 4 correlaciona valores de condutividade hidráulica do maciço, expressos segundo uma escala que vai de H_1 a H_5 (cujo significado pode ser encon-

trado no gráfico da Fig. 5), com quatro intervalos ou faixas de profundidade do maciço.

Os histogramas da Fig. 4 apresentam os mesmos dados, mas permitem uma apreciação visual mais imediata.

Observam-se, assim, alguns dados de interesse: em termos globais, 86% dos ensaios fornecem valores de condutividade nas chamadas classes H₁ e H₂, o que qualifica o maciço, como um todo, como sendo de baixa condutividade hidráulica. Abaixo dos 20 m de profundidade, tais classes perfazem a mais de 90% dos casos. Percebe-se, também, que os poucos valores de ensaios nas classes H₄ e H₅ se localizam na parte superior do maciço, até a vintena de metros de profundidade e, a seguir, quase desaparecem. Cinco dos doze casos de ensaios que apresentaram condutividade na faixa H₅, em toda a área do leito do rio, se localizam no horizonte superficial do maciço, dentro dos primeiros dez metros de profundidade.

No gráfico da Fig. 5 foram plotados, na abcissa, os valores de condutividade hidráulica e na ordenada os de profundidade da base do trecho ensaiado. Procurou-se aqui distinguir, em cada ensaio, mediante a análise dos perfis individuais de sondagem, a presença de juntas pertencentes às famílias F₁ e F₂, isto é juntas subverticais. Quando isso foi possível, representou-se esse ensaio com simbologia diferente.

Pode-se assim, distinguir, no gráfico, o comportamento do maciço quando os trechos ensaiados apresentam tais descontinuidades.

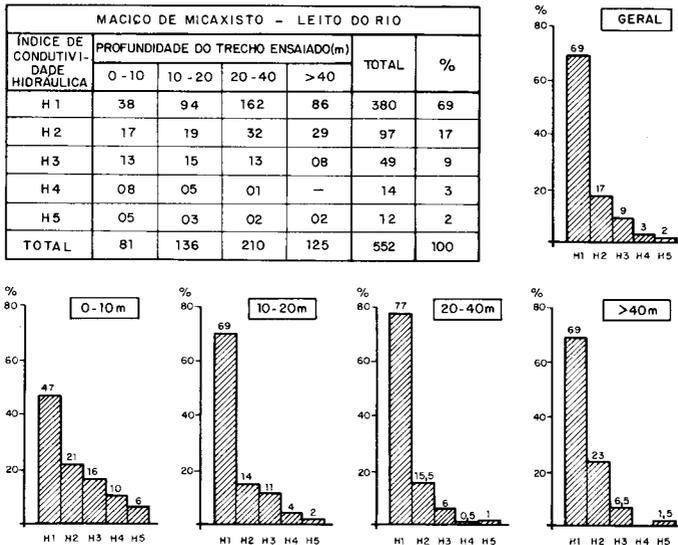


Fig. 4 — Variação da condutividade hidráulica do maciço com a profundidade

De imediato, observa-se a presença de uma faixa vazia junto à abcissa, equivalente à profundidade de zero a cerca de cinco metros. Isso se deve a não terem sido feitos ensaios com obturadores a menos de dois metros de profundidade, devido à ocorrência sistemática de vazamentos de água, por fendas que se comunicavam com a superfície.

Uma outra faixa em branco ocorre paralelamente ao eixo das ordenadas, abaixo dos valores de permeabilidade de 10^{-6} cm/s. Isso se deve à baixa sensibilidade que os hidrômetros costumam apresentar quando o fluxo d'água é muito reduzido. Na verdade, as muitas dezenas de pontos acumulados junto à ordenada, representando resultados de ensaios com vazão nula, deveriam se distribuir nesta faixa vazia, de vazões muito baixas mas não necessariamente nulas.

No gráfico, os pontos ocupam uma faixa com certa largura, que tende para valores crescentes de permeabilidade à medida que a profundidade diminui, deslocando-se para valores menores no sentido inverso. É mesmo possível distinguir algumas fronteiras ou patamares típicos. Por exemplo, há muito poucos valores de permeabilidade superiores a 3×10^{-4} cm/s em profundidades maiores de 20 m. Da mesma forma, não há praticamente valores superiores a 5×10^{-5} cm/s abaixo de 50 m de profundidade.

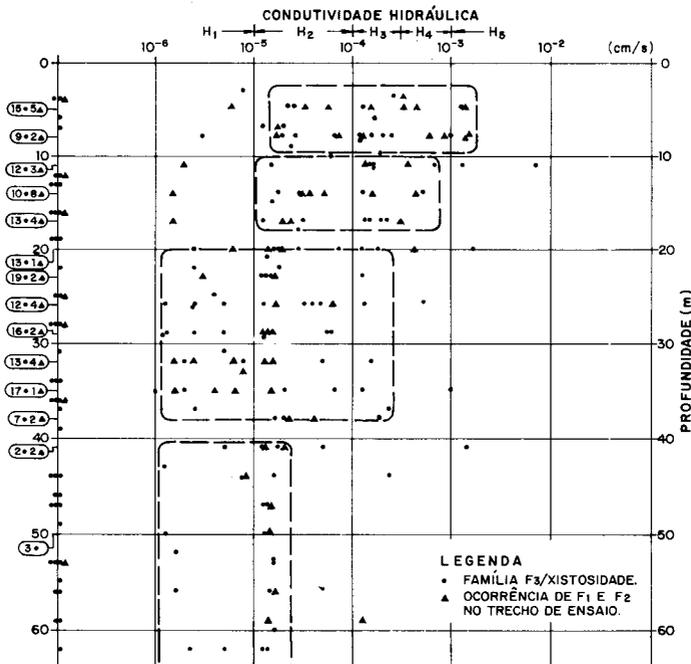


Fig. 5 — Correlação entre condutividade hidráulica e profundidade

A partir de tais constatações e de outras, parece possível se dividir o universo dos ensaios em quatro faixas de profundidade, cada qual definida por um intervalo de valores de condutividade hidráulica. O gráfico mostra o limite dessas faixas.

A conjugação dos resultados dos ensaios com o sistema de compartimentação estrutural do maciço rochoso conduz à montagem do quadro apresentado a seguir. Nele procurou-se estabelecer as relações de quantidades entre os principais planos, no que se refere à condutividade hidráulica. Esta tentativa foi feita à luz do zonamento do maciço acima referido, por isso o quadro apresenta valores de «k» médio para quatro intervalos de profundidade.

Observe-se que os elementos de maior condutividade hidráulica são as descontinuidades subverticais pertencentes às famílias F_1 e F_2 . Elas formam entre si um ângulo de 60° , ao mesmo tempo que também interceptam o eixo da barragem com este ângulo. Observe-se, também, que foi introduzida, no quadro, uma variação vertical nas características de permeabilidade, que procura traduzir a diminuição gradual que o maciço apresenta com o aumento da profundidade.

QUADRO DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO MACIÇO				
MACIÇO/FEIÇÃO	FAIXAS DE PROFUNDIDADE/K EQUIVALENTE			
	(m)		(cm/s)	
	0-10	10-20	20-40	> 40
Maciço em presença somente de descontinuidades F_3 (paralelas à xistosidade)	10^{-4}	5×10^{-5}	10^{-5}	5×10^{-6}
Maciço em presença de descontinuidades F_1 e F_2 , além de F_3	5×10^{-4}	10^{-4}	5×10^{-5}	10^{-5}

3.2 – ANÁLISE DO FENÔMENO DE RETORNO

Em Santa Isabel, durante a realização dos ensaios de perda d'água verificaram-se, ao todo, 38 casos de retorno d'água, tendo 21 deles ocorrido durante a execução de ensaios normais, em trechos de três metros e os restantes 17 em subtrechos daqueles.

O fenômeno de retorno já foi objeto de trabalho anterior[1], de forma que serão aqui reproduzidas apenas as informações de interesse mais imediato.

O retorno se verifica quando, durante a realização de um ensaio de perda d'água sob pressão, superada que foi a fase de pressão máxima, passa-se para a fase descendente, o que acontece do 3.º para o 4.º e/ou do 4.º para o 5.º estágio.

O retorno é anunciado por uma inversão no sentido dos ponteiros do hidrômetro, visto que a água, ao invés de entrar no furo de sondagem, passa a sair dele.

Em Santa Isabel foi possível estabelecer diversas correlações entre os dados registrados a respeito do retorno. Dentre elas, a mais significativa se acha apresentada na Fig. 6 e diz respeito à correlação entre o volume de retorno e a profundidade de ocorrência.

Verifica-se no gráfico que, à medida que aumenta a profundidade os volumes de retorno tendem a diminuir substancialmente, em valor absoluto, sendo possível imaginar uma envoltória capaz de abranger todos os casos, à exceção de dois.

Pode-se inferir que o comportamento decorre das características de deformabilidade do maciço rochoso. Em profundidades reduzidas, as fraturas do maciço tendem a se abrir com maior facilidade e tendem a comportar uma maior capacidade de armazenamento de água. Em profundidades maiores, esta acção se acha inibida pelo confinamento crescente e pela menor intensidade de fraturamento.

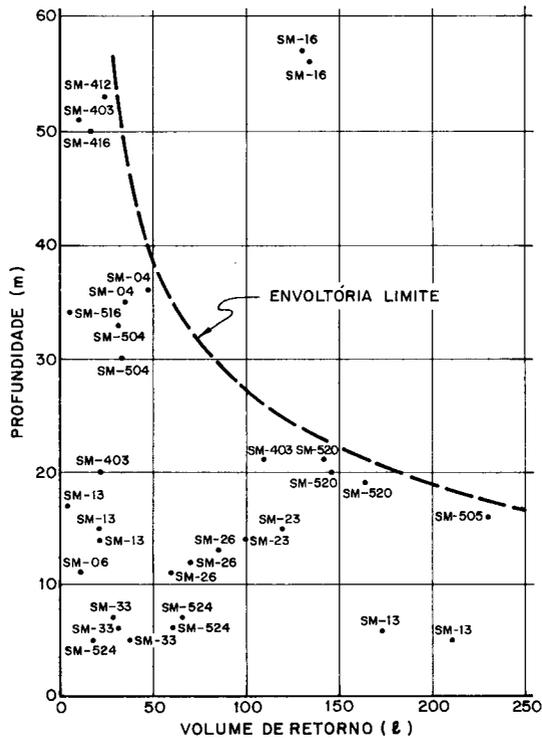


Fig. 6 — Volumes de retorno × profundidade

Desta forma, a análise de retorno em Santa Isabel permite que se coloque em evidência a ocorrência do fenômeno de alívio de tensões, por desconfinamento litostático, até profundidades da ordem dos 30 ou 40 m.

HORIZONTE	PROFUNDIDADE (m)	RELAÇÃO ENTRE MÓDULOS DE DEFORMABILIDADE
I	0-10	1
II	10-20	2
III	20-40	4
IV	> 40	6

Deparamo-nos, assim com uma sequência de horizontes do maciço com características de deformabilidade gradativamente melhores, em profundidade. A partir da apreciação da Fig. 6, e através de uma análise matemática feita por meio de ajustes sucessivos[1], dividiu-se tentativamente o campo de profundidades em quatro faixas, que guardam entre si uma determinada relação entre módulos de deformabilidade. A tabela acima encerra esses dados.

3.3 – *Análise de testes de injetabilidade*

Para investigar as condições de injetabilidade do maciço rochoso foram levados a cabo 330 ensaios de injeção, em 25 furos de sondagem, pelo método ascendente, em trechos sucessivos de três metros de altura. Não serão fornecidos aqui detalhes da técnica empregada, uma vez que não é este o objectivo do trabalho. Basta dizer que somente foram injetadas caldas de água/cimento, com relações variáveis, em peso, entre 3,0 : 1,0 e 0,9 : 1,0. As pressões de injeção foram as mesmas que regeram a realização dos ensaios de perda d'água, isto é, com critério de aumento de 0,25 kg/cm², por metro linear de furo, até a posição do obturador.

A relativa homogeneidade nas características do maciço de micaxisto permite a análise dos dados existentes sob o enfoque das médias. Dos resultados analisados, alguns tiveram que ser eliminados, por serem duvidosos, de modo que a amostra de dados confiáveis se reduziu para cerca de 300 valores. Estes se distribuem nas faixas de absorção por metro apresentadas no histograma da Fig. 7.

Observe-se que a primeira faixa de valores, inferiores a 5 kg/m, equivale a casos de absorção nula, sendo que o cimento somente serviu para preencher o furo. Pouco significativo é também o intervalo seguinte, de absorções compreendidas entre 5 e 10 kg/m, sendo que as absorções aí registradas são típicas de maciços não injetáveis.

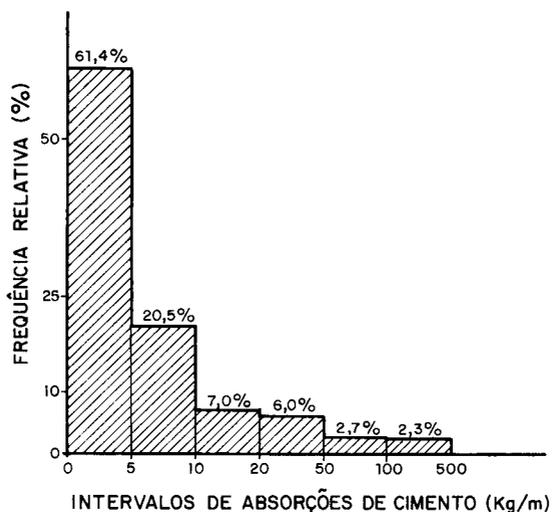


Fig. 7 — Histograma de absorções

Somadas essas duas primeiras faixas, verifica-se que mais de 80% dos trechos tiveram absorções nulas a insignificantes.

A terceira e quarta faixas (10 a 20 e 20 a 50 kg/m) são tipicamente de valores baixos a muito baixos e ocupam, conjuntamente, uma fatia de 13% dos casos.

Finalmente, as duas últimas faixas (50 a 100 e acima de 100 kg/m) cobrindo o campo de valores médios a altos de aceitação de cimento, representam conjuntamente 5% dos casos. Em apenas sete trechos se ultrapassou a soleira dos 100 kg/m, em quarto o patamar de 300 kg/m e em nenhum o dos 500 kg/m.

Com base no conjunto de informações acima, depreende-se que o maciço pode ser classificado, em termos gerais, como sendo de baixa injetabilidade.

Considerações de maior interesse, do ponto de vista do fenômeno de relaxação, resultam da análise dos dados de absorção de cimento quando correlacionados com a profundidade. A Fig. 8 registra tal correlação. Na ordenada está lançada a profundidade da base do trecho injetado.

Verifica-se claramente, na figura, a predominância de pontos nas faixas de aceitação nula ou insignificante. Observa-se, também, que as maiores aceitações ocorrem a pequena profundidade e que isso parece obedecer a uma regra bem definida: à medida que crescem as profundidades, decrescem as absorções. Observe-se como as absorções superiores a cerca de 100 kg/m somente ocorrem até dez ou doze metros de profundidade, com exceção de um ponto. As que são superiores a cerca de 30 kg/m somente se verificam até a vintena de metros de profundidade, com algumas exceções. Um outro limiar parece existir em torno dos 38 a 40 metros de profundidade,

para absorções superiores à dezena de kg/m. Registra-se, assim, mais uma vez, uma clara melhora das condições geomecânicas do maciço com a profundidade, obedecendo a uma seqüência de horizontes que se aproxima muito daqueles apontados pelas outras duas formas de análise.

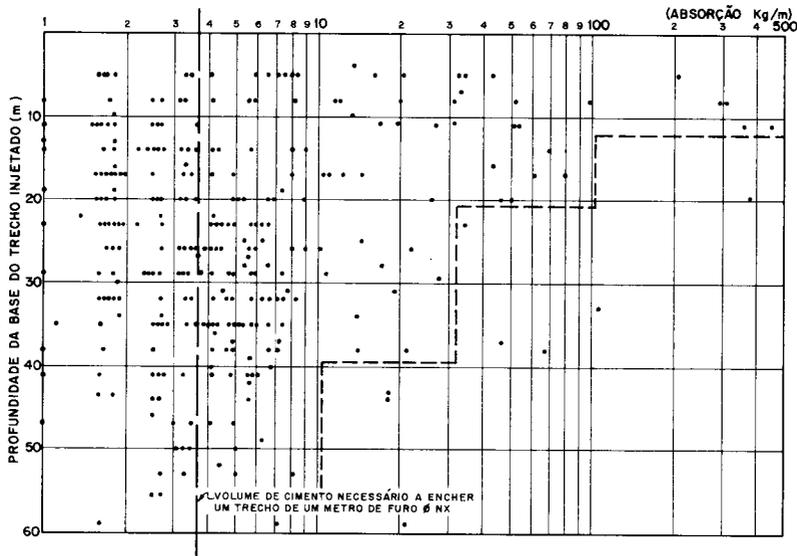


Fig. 8 — Testes de injetabilidade — distribuição das absorções de cimento com a profundidade

4 – ANÁLISE CONJUGADA E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise, de início setorial, em seguida conjugada, das características de condutividade hidráulica e de aceitação de cimento, somada a um melhor entendimento do significado do fenômeno de retorno nos ensaios de perda d'água, levou a resultados congruentes.

A pequenas profundidades, o maciço, parcialmente desconfinado, se caracteriza por uma maior relaxação, suas discontinuidades se acham mais abertas e isso, conseqüentemente, acarreta maior aceitação de volumes de água e de calda, nos ensaios de perda d'água sob pressão e de injetabilidade, respectivamente.

Este fato, decorrência natural do processo de desnudamento ao longo tempo geológico, implica também em uma diminuição dos módulos de deformabilidade do maciço em profundidades reduzidas, ainda que de forma moderada.

Tudo converge para a constatação que o maciço de Santa Isabel se apresenta «estratificado» em suas características de deformabilidade, condutividade hidráulica e injetabilidade, nele diferenciando-se alguns horizontes ou faixas típicas, em certos intervalos de profundidade.

QUADRO DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA PRELIMINAR DO MACIÇO ROCHOSO					
FONTE DE DADOS		FENÔMENO DE RETORNO	ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA		TESTES DE INJETABILIDADE
HORIZONTE	PROFUND. (m)	RELAÇÃO ENTRE MÓDULOS DE DEFORMABILIDADE	-k- MÉDIO EQUIVALENTE (cm/s)		SUSCEPTIBILIDADE À INJEÇÃO DE CALDA DE CIMENTO
			MACIÇO EM PRESENÇA SOMENTE DE DESCONTINUIDADES F ₃	MACIÇO EM PRESENÇA DE DESCONTINUIDADES F ₁ e F ₂ ALÉM DE F ₃	
I	0-10	1	10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻⁴	MÉDIA (até 300 kg/m)
II	10-20	2	5 × 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	BAIXA (até 100 kg/m)
III	20-40	4	10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵	MUITO BAIXA (até 30 kg/m)
IV	> 40	6	5 × 10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	NULA

Cada uma das análises setoriais acabou elegendo as profundidades aproximadas de 10, 20 e 40 metros como sendo os limites de um para outro horizonte.

A conjugação de todas as informações coligidas acabou levando à montagem do quadro acima, onde se acham sintetizados os principais traços geotécnicos de cada horizonte.

É interessante notar que o fenômeno de alívio não se manifesta pelo aparecimento das clássicas juntas paralelas à superfície do terreno, que, como soi acontecer, refletem as condições de desconfinamento. Tais juntas, aparentemente, inexistem no sítio de Santa Isabel. Isso pode ser atribuído, ao que tudo indica, à forte anisotropia do micaxisto, atraindo todos os efeitos provenientes da relaxação do maciço, através da dilatação das descontinuidades paralelas à própria xistosidade.

Deve-se também salientar o fato que os parâmetros de resistência do maciço rochoso não parecem ter sido afetados pelo processo de desconfinamento, pois este

não deu margem ao aparecimento de zonas de alteração, condição que propiciaria uma redução sensível de tais parâmetros. A maior sensibilidade ao desconfinamento fica, assim, por conta da condutividade hidráulica, em primeiro lugar e da deformabilidade do maciço, como um todo, em segundo. O parâmetro resistência não parece ser suficientemente sensível para refletir o referido fenômeno, na magnitude em que ele se manifestou em Santa Isabel.

A análise assim levada a termo representou um subsídio importante na discussão e elaboração do projeto do tratamento das fundações. Ela permitiu a elaboração de um modelo hidrogeotécnico preliminar, que pôs em evidência a conveniência de se limitar a profundidade das linhas de drenagem e da cortina de vedação aos horizontes superficiais, isto é, àquela porção do maciço capaz de responder positivamente a estes tipos de intervenção. Isso acarretou uma redução sensível dos custos previstos com os trabalhos de perfuração e injeção, comparativamente a outras obras de condições geométricas semelhantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETRONORTE S.A. e ENGEVIX S.A. — ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA pela permissão para divulgação dos dados objeto do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M.; CORNIDES, A.T. de; BERRINO, S.E.B.; CELLA, P.R.C. e FERNANDES, J.R. (1984) — *O fenômeno de «retorno» nos ensaios de perda d'água e seu possível significado em termos geomecânicos*. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 4.º, Belo Horizonte, Anais... Belo Horizonte, ABGE, Vol. 3, pp. 333-349.