

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO DE ALGUMAS ROCHAS
CARBONOSAS APLICADA A GEOTECNIA**

Manolo Morales Melo

Orientador: Prof. Dr. Georg Robert Sadowski

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2005/25)

SÃO PAULO
2005

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900018042

Caracterização de algumas rochas carbonosas
aplicada a Geotecnia

Manolo Moraes Melo



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. George Robert Sadowski

Prof. Dr. Maria da Gloria

Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

São Paulo

2005

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO DE ALGUMAS ROCHAS CARBONOSAS
APLICADA A GEOTECNIA**



Manolo Morales Melo

Orientador: Prof. Dr. Georg Robert Sadowski

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/2005-25)

São Paulo
Novembro de 2005

TF
M528
MM.C

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERÍSTICAS DE ALGUMAS ROCHAS CRISTALINAS
ALBUQUERQUE, LUIZ



Manoel Moisés Melo

Química, Prof. Dr. Carlos Roberto de Almeida

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE MONITORIA
(1972-73)

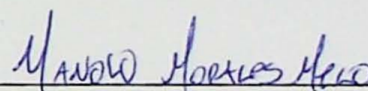
São Paulo
Instituto de Geociências

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

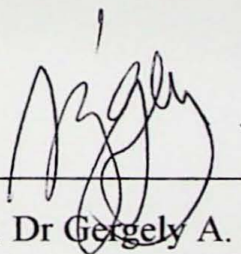
**CARACTERIZAÇÃO DE ALGUMAS ROCHAS CARBONOSAS
APLICADA A GEOTECNIA**

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/2005-25)

Prof. Dr. Georg R. Sadowski



Manolo Morales Melo



Prof. Dr. Gergely A. J. Szabó

São Paulo
Novembro de 2005

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente as diversas pessoas que estiveram comigo durante este período, a minha família, minha avó Divina , minha mãe Rita Isabel, meu pai Giovani, meu irmão Jonas e minha namorada Márcia, que me ajudaram durante todo este período da graduação com carinho, paciência e compreensão.

Aos professores do instituto de geociências e das diversas unidades em que passei durante a graduação pela atenção e comprometimento, com o conteúdo que estavam aplicando, em especial ao meu Orientador o professor Sadowski que me acolheu inicialmente como estagiário e posteriormente como orientando neste trabalho de formatura, a professora Giana que me ajudou durante as investigações petrográficas e a professora Glória que me orientou na finalização deste trabalho.

Ao Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, em especial ao Geólogo Fabio Magalhães pela atenção e compreensão durante este período e aos técnicos do laboratório de mecânica das rochas.

A CNEC Engenharia pela oportunidade de realizar o estágio durante este ano de 2005, principalmente aos Geólogos Martim Afonso, Fábio Canzian e ao Engenheiro João Vicente que forneceram dados para a realização deste trabalho de formatura e proporcionaram o enriquecendo de meus conhecimentos de geologia aplicada durante todo este ano.

E a todos os amigos que fiz durante estes anos na GEO.

SUMÁRIO

1. IDENTIFICAÇÃO	1
2. RESUMO	1
3. ABSTRACT	2
4 . INTRODUÇÃO	3
5. METAS E OBJETIVOS	3
6. RELEVÂNCIA DO PROJETO	4
7. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	4
8. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	5
9. MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
10. ASPECTOS RELEVANTES.....	8
10.1 OCORRÊNCIA DE ROCHAS CARBONOSAS	8
10.2 A INTERAÇÃO DA GRAFITA E SEDIMENTOS CARBONOSOS COM OS SULFETOS ..	9
11. RESULTADOS OBTIDOS	11
11.1 UHE SERRA DO FACÃO	11
11.1.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	12
10.1.2 GEOLOGIA LOCAL	13
10.1.3 ESTUDOS PETROGRÁFICOS.....	15
11.1.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X.....	19
11.1.5 DADOS GEOMECÂNICOS.....	20
11.2 UHE IRAPÉ.....	30
11.2.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	30
11.2.2 GEOLOGIA LOCAL	31
11.2.3 ESTUDOS PETROGRÁFICOS.....	33
11.2.5 DADOS GEOMECÂNICOS.....	37
11.3 TALUDE/ VIADUTOS DA RODOVIA SP-348	40
11.3.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	41
11.3.2 GEOLOGIA LOCAL	43
11.3.3 ESTUDOS MINERAIS	43
10.3.4 CARACTERÍSTICAS GEOMECÂNICAS	44
12. CONCLUSÕES	45
13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

ANEXOS

ANEXO1 (Mapas Geológicos)

Mapa Geológico 1a	i
Mapa Geológico 1b	ii
Mapa Geológico 1c	iii

ANEXO 2 (Fotografias dos empreendimentos)

Foto1 (UHE-Serra do Facão)	iv
Foto2 (UHE-Serra do Facão)	iv
Foto3 (UHE-Serra do Facão)	v
Foto4 (UHE-Serra do Facão)	v
Foto5 (UHE-Irapé)	vi
Foto6(UHE-Irapé)	vi
Foto7 (SP-348)	vii
Foto8 (SP-348)	viii
Foto9 (SP-348)	ix
Foto10 (SP-348)	x
Foto11 (SP-348)	x

ANEXO 3 (Fotografia de Amostras -Fotomicrografia de Seções polidas e delgadas)

Foto Pa-i (Serra do Facão)	xi
Foto P-i (Serra do Facão)	xi
Foto Pa-ii (Serra do Facão)	xii
Foto P-ii (Serra do Facão)	xii
Foto P-iii (Serra do Facão)	xiii
Foto P-iv (Serra do Facão)	xiii
Foto Pa-iii (Irapé)	xiv
Foto P-v (Irapé)	xv
Foto P-vi (Irapé)	xv
Foto P-vii (Irapé)	xvi
Foto P-viii (Irapé)	xvi
Foto SP-i (Irapé)	xvii
Foto SP-ii (Irapé)	xvii
Foto SP-iii (Irapé)	xviii
Foto Pa-iv (Irapé)	xix
Foto P-ix (Irapé)	xx
Foto P-x (Irapé)	xx
Foto P-xi (Irapé)	xxi
Foto P-xii (Irapé)	xxi
Foto P-xiii (Irapé)	xxii
Foto P-xiv (Irapé)	xxii
Foto P-xv (Irapé)	xxiii
Foto P-xvi (Irapé)	xxiii
Foto SP-iv (Irapé)	xxiv
Foto SP-v (Irapé)	xxiv
Foto SP-vi (Irapé)	xxvi

ANEXO 4 (Espectrogramas – Difração de Raios X)

Amostra da UHE Serra do Facão	xxvi
1SE Amostra da SP-348	xxvii

2SE Amostra da SP-348	xxviii
3SE Amostra da SP-348	xxix
4SE Amostra da SP-348	xxx

ANEXO 5 (Perfis de Sondagem Fotografias - testemunhos de sondagem)

Perfil de Sondagem SR-174	xxxi
Perfil de Sondagem SR-160	xxxii
Perfil de Sondagem SR-128	xxxiv
Testemunhos da sondagem SR-128.....	xxxvi
Perfil de Sondagem SM-181.....	xxxvii
Perfil de Sondagem SM-131-B	xxxix

ANEXO 6 (Parâmetros Geotécnicos Adotados)

Parâmetros Geotécnicos Adotados	xl
---------------------------------------	----

ANEXO 7 (Ensaio geomecânicos - Equipamentos e dados obtidos)

Figura EG1	xli
Figura EG2	xli
Figura EG3	xlii
Figura EG4	xlii
Figura EG5	xliii
Figura EG6	xliii
Planilha Amostra 1 – Cisalhamento Direto (UHE Serra do Facão)	xliv
Planilha Amostra 2 – Cisalhamento Direto (UHE Serra do Facão)	xliv
Planilha Amostra 3 – Cisalhamento Direto (UHE Serra do Facão)	xlvi
Planilha Amostra 4 – Cisalhamento Direto (UHE Serra do Facão)	xliv
Planilha – Ensaio Uniaxial (UHE Serra do Facão)	xliv

1. IDENTIFICAÇÃO

- **Número:** TF 2005/25
- **Título:** Caracterização de algumas rochas carbonosas aplicada a Geotecnia.
- **Aluno:** Manolo Morales Melo
- **Orientador:** Prof. Dr. Georg Robert Sadowski

2. RESUMO

O objetivo central do presente trabalho é relacionar a ocorrência de certos minerais carbonosos a eventuais deslizamentos ou outros tipos de incidentes em fundações de obras de engenharia, caracterizando-os por meio de análises geomecânicas e petrográficas.

Como base, foram utilizadas rochas ricas em minerais carbonosos, como os sedimentos ou meta-sedimentos formados por matérias orgânicas argilosas ou parcialmente grafitosas, com exceção dos carvões e associados próximos, materiais que suscitam diversas discussões no meio geológico e geotécnico.

Três empreendimentos foram utilizados como base de dados, desta constituição mineral / litológica: A Usina Hidroelétrica de Serra do Facão, situada em meio a rochas metamórficas do Grupo Araxá, na faixa móvel Brasília no estado de Goiás, constituída por diversos xistos e anfibolitos; a Usina Hidroelétrica de Irapé, situada em rochas metamórficas do Grupo Macaúbas na zona de transição entre o Cráton do São Francisco e a Faixa móvel Araçuaí, no Estado de Minas Gerais e um Talude da Rodovia dos Bandeirantes SP-348 em rochas sedimentares do Sub-grupo Itararé na Bacia do Paraná.

Essas rochas foram analisadas, traçando-se, uma relação entre a presença desses minerais com a instabilidade e a potencialidade para sua alteração e decomposição, embasando-se em características geomecânicas, químicas, litológicas, petrográficas e geotécnicas obtidas durante o período destes estudos.

Finalizando, pretendeu-se relacionar, mas não como alvo central, a influência de alguns, sulfetos acessórios (piritas, calcopirita, pirrotitas, entre outros), principalmente no que se refere a potencialidade para a fragilização física e química das rochas e as conseqüências que podem interferir na estabilidade do empreendimento.

3. ABSTRACT

This work is concerned not only with the relation between the presence of certain carbon minerals and eventual sliding or other types of incidents in the foundations of engineering work, but also with their characterization through geomechanical analyses, as well as through petrographic techniques and X-ray differentiation.

This study was based on rocks containing a great amount of carbon, such as sediments or meta-sediments formed by loamy organic matters or partially by graphite matters, except for coals and close associates, materials that generate intense discussions in the geological and geotechnical fields.

We used rocks from three enterprises, which presented this mineral and this lithological constitution. The Hydroelectric Plant Serra do Falcão, which is located on the metamorphic rocks of the Araxá Group, located in the movable strip of Brasília in the state of Goiás, which is comprised of several schists and amphibolites; the Hydroelectric Plant of Irapé, located on the metamorphic rocks of the Macaúbas Group in the transition area between Cráton of São Francisco and the movable strip of Araçuaí, in the State of Minas Gerais and a Slope of the Bandeirantes Highway (SP- 348) located on sedimentary rocks of the Sub-group Itararé in the Paraná Basin.

These rocks were analyzed through the establishment of a link between the presence of these minerals and the instability, potentiality for alteration and decomposition of the minerals. This link was established according to the geomechanical, chemical, lithological, petrographic characteristics of the rocks, which were identified during the period of this study.

At last, we also tried to establish a link, but not as the central aim of this work, between the influence of some additional sulfites (pyrites, chalcopyrite, pyrrotites, among others), mainly in relation to their physical and chemical deterioration potential and the consequences which can interfere with the stability of the enterprise.

4 . INTRODUÇÃO

Este estudo tem por tema principal a influência das rochas ricas em minerais carbonosos, com exceção dos carvões e associados próximos, como os sedimentos formados por matérias orgânicas parcialmente grafitosas e argilosos, que suscitam discussões no meio geológico e geotécnico.

Tais minerais são freqüentemente encontrados em rochas de diversas filiações, como em rochas sedimentares e metassedimentares – no Brasil, em rochas pré-cambrianas e sedimentos fanerozóicos – são várias vezes associados a sulfetos devido sua formação em meio anaeróbico, ambiente geoquímico ideal para a formação destes minerais.

A pesquisa foi desenvolvida com base na comparação de três empreendimentos em que há ocorrência desses minerais:

- Duas grandes barragens (UHE- Usinas Hidroelétricas de Irapé e Serra do Facão) situadas em metassedimentos proterozóicos;
- Uma rodovia (Rodovia dos Bandeirantes) em sedimentos fanerozóicos.

Parte dos dados obtidos ao longo deste período foram fornecidos gentilmente por projetistas e construtoras responsáveis pelas obras citadas e constituem estudos realizados naqueles empreendimentos.

5. METAS E OBJETIVOS

Este projeto tenciona relacionar a ocorrência de certos minerais carbonosos em rochas a eventuais deslizamentos ou outros tipos de incidentes em grandes obras de engenharia, empregando técnicas petrográficas e de difração de Raios-X para caracterização mineral; utilizando-se de análises petrográficas, geomecânicas e geotécnicas para a caracterização da resistência da rocha.

Esse tema, ainda não explorado em sua totalidade no âmbito dos estudos geotécnicos, revela sua importância em aplicações que fazem uso de suas propriedades de resistências mecânicas e químicas, sobretudo em áreas de barragens ou taludes. Dessa forma, é mister o estudo geomecânico e mineralógico destas rochas, enfocando a relação entre a mineralogia e as suas capacidades mecânicas.

Esperando-se a definição da relação entre a formação dos minerais acessórios como sulfetos e alguns metais (este evento apenas nos xistos) e os processos de alteração destes materiais em suas decomposições (presentes em camadas, preenchendo falhas, disseminados na matriz da rocha e na foliação), através de características geomecânicas dos materiais, relacionando-os à suas resistência mecânica e química.

Adicionalmente, pretende-se analisar, mas não com enfoque central, a influência de alguns, sulfetos acessórios (piritas, calcopirita, arsenopirita, entre outros) e as

conseqüências que podem inferir ao empreendimento, como a formação de águas ácidas através da decomposição desses mesmos sulfetos, causando danos na fase de cimentação (estruturas/ injeções) e, sobretudo, às estruturas metálicas (comportas, turbinas, dutos etc), provocando a decomposição prematura do maciço, com consecutivas instabilidades.

6. RELEVÂNCIA DO PROJETO

Enquanto há estudos das propriedades de carvões em locais de mineração deste material, naqueles em que a matéria carbonosa está mais dispersa ou então totalmente grafitizada são poucos os trabalhos editados.

A presença de rochas carbonosas tanto no Brasil como em outras regiões do mundo ainda não foi assunto plenamente abordado para a aplicação geotécnica e permanece restrito ao âmbito da exploração mineral, torna-o uma proposta relevante para este projeto.

Atente-se ainda que as feições texturais, estruturais, petrográficas e minerais presentes nestes maciços oferecem uma exposição privilegiada que permitem a investigação das relações entre a quantidade dos minerais carbonosos e sua resistência a determinado esforço e a processos intempéricos que influenciam demasiadamente a caracterização destas rochas.

Fundamentalmente estudados por construtoras e projetistas sendo ainda restrito a esses meios, almeja-se com este trabalho acrescentar contribuições significativas no meio acadêmico, devido ao seu ineditismo em relação aos resultados esperados, através de suas análises comparativas entre as características geomecânicas e petrográficas, realizadas durante este período.

7. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Nesse período, os principais tópicos desenvolvidos tratam de estudos anteriores ligados presença dos minerais carbonosos relacionadas à influência da Xistosidade/Acamamento em rochas na orientação dos planos de corte (Lopes, 2000).

Estudos sobre os mecanismos de alteração dos sulfetos para sulfatos nas rochas (Pye, K. e Miller, 1990), se têm a formação destes sais que apresentam durante sua precipitação e cristalização variações volumétricas com desenvolvimento de pressões de expansão muito comuns causando micro-fraturamento.

Este tipo precipitação de sais ocorre em ambientes extremamente saturados de solutos, com pouca água em relação à quantidade de sais existentes, com a formação muito freqüente de esmectitas (argilo mineral expansivo) que são freqüentes nos empreendimentos estudados pela disponibilidade de material carbonoso (grafita) associados aos sulfetos (Bowley, 1996).

Tópicos como Geologia regional e local de cada empreendimento estudados serão tratados com maiores detalhes nos itens de trabalhos realizados como uma forma de introdução para cada obra.

8. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Em função de dificuldades encontradas, como a liberação de alguns dados por parte de algumas empresas e a não realização de ensaios junto à alguns institutos por necessidades técnico-financeiras, alguns métodos de trabalho que originalmente foram propostos nos relatórios inicial e de progresso, não puderam ser empregados neste estudo, no entanto atividades de grande relevância para o projeto foram efetivadas a relação de todas as etapas de trabalho e distribuição temporal durante o ano, pode ser conferida na Tabela 1.

Ativ.\Mês	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	
Pesquisa Bibliográfica										
Petrografia macroscópica										
Petrografia de lâminas										
Petrografia de seção polida										
Trabalho de Campo										
Ensaio Geomecânicos										
Análises Geomecânicas										
Elaboração de Projeto Inicial										
Elaboração Relatório Progresso										
Elaboração Monografia e Resumo										
Apresentação e arguição do trabalho										

Tabela 1. Principais atividades desenvolvidas neste trabalho e sua distribuição em relação aos meses do ano de 2005.

Pesquisa Bibliográfica

Durante a pesquisa bibliográfica recolheram-se informações sobre o contexto geológico dos três empreendimentos tratados neste trabalho do subgrupo Itararé (estado de

São Paulo), do grupo Araxá (estado de Goiás) e da Formação Salinas (estado de Minas Gerais).

Consultaram-se as metodologias experimentais utilizadas, princípios teóricos pertinentes a ensaios geomecânicos e petrográficos relacionados às rochas carbonosas. Estas informações adquiridas foram empregadas na elaboração do Projeto Inicial, utilizadas como guia para as atividades mais importantes a se realizarem e as interpretações dos dados obtidos posteriormente.

Análise Petrográfica

A petrografia macroscópica englobou a descrição de testemunhos de sondagem e de algumas amostras provenientes de afloramentos. Durante esta etapa observaram-se detidamente as características geotécnicas destas rochas que se relacionam diretamente com suas alterações.

A petrografia microscópica representou uma das etapas minuciosas deste trabalho, na qual obteve-se dados significativos e imprescindíveis para sua continuidade, destinado-se ao reconhecimento de estruturas, texturas e principalmente da associação mineralógica de origem metamórfica. Possibilitou-se a quantificação estatística dos minerais presentes e a análise dos pontos de maior acumulação dos minerais estudados.

As concentrações de grafita e sulfetos minerais opacos observados geraram a necessidade da realização do estudo dos minerais opacos através de seções polidas, cuja análise permitiu identificar e diferenciar de forma mais nítida os tipos de sulfetos presentes.

Dados Geomecânicos

Os dados compõem-se dos resultados fornecidos por consultores e empresas que cederam os materiais obtidos em ensaios realizados pelo (a): IPT, CESP, Furnas, Universidade de Brasília, Universidade Federal do Paraná e Universidade Federal de Minas Gerais.

Acrescentem-se visitas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo, em que se analisaram alguns testemunhos de sondagem para a avaliação da possibilidade de realização de ensaios geomecânicos (Cisalhamento simples ou direto), embora não tenham se realizados por questões técnicas do laboratório.

Atividades de campo

As atividades de campo proporcionaram um contato com o desenvolvimento de trabalhos geotécnicos, acompanhamento de sondagens, análise de testemunhos, descrição ensaios típicos em maciços (perda d'água e infiltração), coleta de materiais em poços, mapeamentos geológicos de detalhe na região do reservatório e do eixo da barragem.

Esses trabalhos deram-se principalmente junto a UHE Tijuco Alto, no Vale do Ribeira

em que se encontram porções menores das rochas estudadas, junto a metacalcários.

9. MATERIAIS E MÉTODOS

- Estudos petrográficos efetuados com o microscópio *Olympus*TM modelo BX-40-F3 e *Zeiss*TM modelo Axioplan-pol, sob luz transmitida, do Laboratório de Óptica do GMG-IGc/USP, trata-se de um equipamento binocular que possui três lentes objetivas de aumento 4x, 10x, e 40x, com campos de observação, respectivamente, de 5,5 mm, 2,2 mm e 0,54 mm de diâmetro; que se utilizou em seções delgadas convencionais e polidas; visando-se o reconhecimento dos minerais principais e acessórios, bem como as texturas que caracterizam os diferentes litotipos (MacKenzie *et al.* 1995);
- As análises de seções polidas foram realizadas no mesmo equipamento *Olympus*TM modelo BX-40-F3 e *Zeiss*TM modelo Axioplan-pol, sob luz transmitida, do Laboratório de Óptica do GMG-IGc/USP, este é um equipamento binocular e possui três lentes objetivas de aumento 4x, 10x, e 40x, com campos de observação de, respectivamente, 5,5 mm, 2,2 mm e 0,54 mm de diâmetro em blocos polidos para o reconhecimento e a caracterização dos minerais opacos acessórios, priorizando a identificação e quantificação da grafita, sulfetos e alguns metais;
- Documentação fotográfica das lâminas e seções foram obtidas no laboratório de Óptica do IGc-USP. Utilizou-se um microscópio binocular da marca OLYMPUS, modelo BX-50-F4, de fabricação japonesa, acoplados por uma máquina fotográfica digital OLYMPUS;
- Preparação de amostras para as análises por Difração de Raios-X (FRX), realizadas no LTA (Laboratório de Tratamento de Amostras, do GMG-IGc/USP);
- Análises por Difração de Raios X, utilizando equipamento do Laboratório do GMG-IGc/USP, aparelho da marca SIEMENS, modelo D-5000, de fabricação norte-americana. A técnica de análise utilizada é conhecida por método do "pó", que empregado neste equipamento fornece uma exatidão de 99% dos resultados;
- Preparação de bloco circular polido, no Laboratório de Microsonda eletrônica e preparação de amostras;
- Softwares empregados: para a interpretação dos dados obtidos nas análises por difratometria de raios X foi empregado o programa SOCABIM – EVA 7,00 (direitos

autorais da SACOBIM 1996-2001), para a elaboração dos relatórios e da monografia foram empregados os programas MS-Word-200 e Ms-Excel da Microsoft Corporation (direitos autorais 1983 – 1999) e para elaboração e tratamento das fotos e figuras foram utilizados os softwares Corel Drawn e Corel Photo Paint de propriedade da Corel Corporation (direitos autorais 1999 – 2001).

10. ASPECTOS RELEVANTES

10.1 OCORRÊNCIA DE ROCHAS CARBONOSAS

Estes locais são comuns no mundo todo, há possibilidade de ocorrerem tanto em bacias sedimentares que cobrem mais de 75% das terras emersas quanto na área do cristalino, caracterizam-se pela presença da grafita – comumente em rochas calcárias, xistos e gnaisses.

A grafita é encontrada em camadas ou disseminada em porções do maciço, derivada de material de origem orgânica convertido em grafita durante metamorfismo, como camadas de carvão, a exemplo da Rhode Island e em Sonora, México.

Está presente ainda – em veios hidrotermal associado ao quartzo – como biotita, ortoclásio, turmalina, apatita, pirita, e titânita, nos depósitos de Ticonderoga, Nova Iorque. A grafita nestes veios, ao que tudo indica, formaram-se por hidrocarbonetos introduzidos durante o metamorfismo ou derivados de carbono das regiões circunvizinhas. E, raramente, será um componente original de rochas ígneas como: nos basaltos na Groelândia, em rochas alcalinas na Índia e em pegmatitos.

Vale ressaltar que no mundo, há grandes extensões ricas em matéria carbonosa, mas destaca-se o México, a China, a Coreia do Sul, a Coreia do Norte, a Índia, a Etiópia e a África do Sul.

No entanto, casos que se tratará com maior destaque serão as UHEs Serra do Facão e Irapé e o viaduto da Rodovia SP-348. Haverá menção de registros históricos e pioneiros, de atividades promovidas em áreas em que existe a presença desta constituição mineral, como: na barragem de Serra da Mesa no Brasil e da Kangaroo Creek Dam na Austrália e alguns incidentes ocorridos em minas de ouro (muito comuns a ocorrências de xistos grafitosos).

Outro grupo de áreas carbonosas, estas muito pesquisado, devido principalmente ao grande interesse econômico na sua exploração, para a aquisição de energia térmica, são as camadas de carvão encontradas em diversas localidades do mundo como EUA, Inglaterra, Rússia, e até mesmo no Brasil (economicamente viável somente no sul do país), não é alvo deste estudo.

10.2 A INTERAÇÃO DA GRAFITA E SEDIMENTOS CARBONOSOS COM OS SULFETOS

Abrange um tipo de estudo, ao contrário do problema exclusivo das grafitas, registrado há mais de 50 anos fora do Brasil, devido a problemas causados principalmente pela dissolução seletiva dos sulfetos. Exemplos encontrados sobretudo fora do país relacionados a minas de ouro como: Moyale na Etiópia, Rajpura-Dariba na Índia, Barberton na África do Sul, Tarkwaian em Gana e A UHE da Serra da Mesa em Goiás.

Os sulfetos acarretam na geração de vazios por lixiviação seletiva e na formação de material ácido. De forma geral esta assembléia tem origem a partir da sedimentação em ambiente parálico que deu origem às rochas locais e, posteriormente, recristalização durante a diagênese ou o metamorfismo.

Os sulfetos alteram-se quimicamente, transformando-se em sais, hidróxidos e ácidos quando submetidos ao contato direto com a água e o oxigênio, os produtos resultantes variam de acordo com a proporção de solvente (água) e soluto (sulfetos) disponíveis.

Os sulfetos de ferro (pirita e pirrotita) se alteram quimicamente, ou seja, transformam-se em novos compostos químicos (sais, hidróxidos e ácidos) quando expostas a um ambiente oxidante e úmido (água + oxigênio).

Os produtos resultantes dependem fundamentalmente da quantidade de água presente, pois esses sais precipitam-se em ambiente de grande concentração de soluto (pouca água) e são dissolvidos em ambiente de grande concentração de solvente (água), ou seja, ambientes saturados e insaturados respectivamente.

Na natureza, ou seja, nos maciços rochosos, o processo de alteração está normalmente limitado à zona de variação do nível de água do terreno (zona vadosa), nas fissuras, poros e fraturas da rocha.

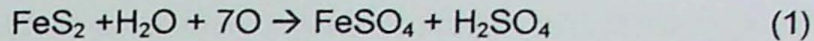
O alívio e rearranjo das tensões pretéritas, derivadas dos processos erosivos, promoveram a abertura de novas fraturas e juntas, aberturas de planos de fraqueza preexistentes e inerentes ao tipo de maciço rochoso, tais como foliação, acamamento, etc.

A alta permeabilidade ao ar e as soluções e porosidade das rochas nesse horizonte aliviado facilitam o acesso do oxigênio, resultando em zonas com lixiviação intensa próximas da superfície atual do relevo.

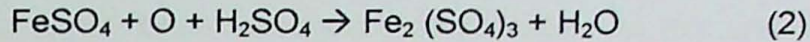
Com a evolução geomorfológica do terreno, porções do maciço rochoso que estiveram na faixa de variação do nível d'água, podem estar acima do nível d'água atual e, portanto estarem com as piritas totalmente lixiviadas.

Em porções inferiores do maciço rochoso, onde a percolação de água oxigenada é mais difícil, com o fraturamento fechado e porosidade reduzida, as piritas encontram-se quase sempre inalteradas.

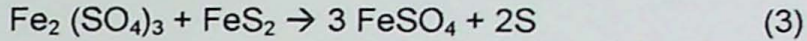
A reação química comum da alteração das piritas, FeS_2 , em presença de pouca água e oxigênio é a formação de sulfato de ferro e ácido sulfúrico:



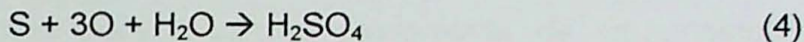
O sulfato de ferro, FeSO_4 , pode reagir com o oxigênio e o ácido sulfúrico, H_2SO_4 , e formar sulfato férrico mais água, essa reação é auxiliada pela ação catalítica das bactérias *Thiobacillus sp.*



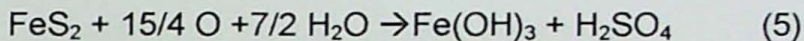
O sulfato férrico, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, é um poderoso agente oxidante e pode reagir com a pirita e formar o sulfato de ferro e o elemento enxofre.



Na presença de oxigênio e água o enxofre, S, é rapidamente convertido em ácido sulfúrico, com os *Thiobacillus Ferrooxidans* novamente atuando como catalisadores da reação.



Se o oxigênio é abundante, a oxidação aquosa da pirita pode conduzir a formação de hidróxido de ferro, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, e ácido sulfúrico.



Em fragmentos de rocha, testemunhos de sondagem, britas e enrocamentos, taludes e fundações, com aumento da superfície específica e das condições de exposição – umidade e variação do nível de água – e dependendo da reatividade do tipo de pirita (sulfetos) podem ocorrer e se formarem quaisquer dos compostos indicados nas reações (1) a (5).

Com a oxidação dos sulfetos, os maciços grafitosos perdem gradualmente a sua coesão face ao aumento de porosidade – seja por lixiviação, como também ao fato de estarem associados à formação de ácidos sulfuroso e sulfúrico com as suas diferentes consequências práticas.

Estas alterações, ocorrendo em determinados pontos do maciço, causam, em muitas situações alívios e rearranjo de tensões, derivados dos processos decomposicionais e erosivos.

É possível a ocorrência de deterioração do maciço em um curto espaço de tempo, que gera, como consequência, águas aciduladas que provocam corrosão das ferragens, reações com o cimento e o desgaste das partes mecânicas de um empreendimento.

A influência dos produtos de alteração de sulfetos em concretos fabricados com cimento portland comum pode ser resumida em dois tipos de ações: internas e externas.

As ações internas devidas ao uso de britas ou agregados contendo sulfetos podem ser divididas em duas ações diferentes.

1ª Etapa:

- oxidação parcial do estoque de rocha para britagem com liberação de sulfatos; oxidação dos sulfetos existentes nas faces dos agregados na pilha de estoque; preparação do concreto com essas britas com sulfatos. Durante o preparo, a água de

amassamento torna-se ácida, o ácido sulfúrico não neutraliza pela cal livre que poderão atacar os produtos secundários da hidratação do cimento.

- oxidação parcial, no concreto endurecido, do agregado contendo sulfeto, ou de pouca quantidade de sulfetos anteriormente oxidados. Reação com produtos de hidratação do cimento, desenvolvimento de pressões de expansão em fissuras do agregado ou na sua superfície, com desintegração física do concreto, com pouco ou nenhum ataque químico à pasta do cimento.

2ª Etapa:

- soluções ácidas de ácido sulfúrico, sais ácidos contendo sulfatos diluídos em água, provenientes da oxidação dos sulfetos que estiverem contidas nos agregados, ou ainda de agregados com sulfetos já parcialmente oxidados, podem desencadear novas reações com a calcita, proveniente da carbonatação da portlandita, Ca(OH)_2 e formar novamente gesso (gipsita), que havia sido totalmente consumido no processo de hidratação do cimento. A hidratação da gipsita é também expansiva e pode fissurar a matriz cisalhante.
- estas são consequências da imersão de concretos em águas ácidas sulfatadas, provenientes da solubilização dos produtos de alteração dos sulfetos e são um fenômeno extrínseco de superfície.

As reações com o cimento ocorrem porque ele é um meio altamente básico (pH 12,5), que tendem a neutralizar imediatamente as soluções ácidas de sulfatos ou ácidos sulfúricos diluído que entrem em contato com a pasta do cimento.

Para tanto é necessário a utilização de Cimentos e concretos resistentes aos sulfatos que é dada por apresentarem baixo teor de C_3A e adicionalmente pouco cal livre CaO . Que devem ser utilizados em empreendimentos com estas características para as estruturas, nas caldas de injeção e no concreto projetado. Estas resistências devem seguir as normalizações internacionais (DIN, BSI, ASTM)

11. RESULTADOS OBTIDOS

Neste item, serão apresentados os dados obtidos durante o período de estudo, embora sejam expostos de maneira independente os empreendimentos em que ocorrem minerais carbonosos, são eles: a UHE Serra do Facão, a UHE Irapé e o Talude na Rodovia dos Bandeirantes.

11.1 UHE SERRA DO FACÃO

Empreendimento Hidroelétrico em fase de estudos de Projeto básico, realizado entre Goiás e Minas Gerais junto à faixa Brasília, apresenta como característica a presença de

lentes de xistos grafitosos, esta área é ilustrada pelas fotos de 1 a 4 (anexo 1). Localizada na cidade de Catalão, no Estado de Goiás, nas proximidades no rio São Marcos – observe figura L1.



Figura L1 – Localização da do aproveitamento UHE Serra do Facão.
Do Guia Quatro Rodas, Estradas, 2005.

11.1.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área de inserção deste empreendimento encontra-se assente sobre rochas metamórficas meso a neo-proterozóicas, pertencentes ao grupo Araxá, grupo Canastra e grupo Ibiá, representadas por rochas metamórficas diversas (Almeida e Hasui, 1977).

Situada na faixa de dobramentos Brasília, que se encontra tectonicamente instalada entre o Cráton de São Francisco a leste e a faixa de dobramentos Uruaçu a oeste. Caracteriza-se por intenso dobramento linear holomórfico com direções que, em conjunto, descrevem um grande arco, adaptando-se à borda ocidental do Cráton de São Francisco e manifestando vergência para leste. Suas principais feições regionais encontram-se representadas pelo sistema de falhas Minas – Goiás, de idade Brasileira, que consiste num conjunto de falhas de empurrão de baixo ângulo com direção aproximada NW.

Os esforços compressivos responsáveis por essa zona de cisalhante, além de provocar importante encurtamento crustal na região, com o desenvolvimento de “Nappes de Charriage”, também propiciaram o desenvolvimento, mais para leste, do sistema de falhas

da Serra de São Domingos de caráter inverso, entretanto com alto ângulo e direção geral N-NW (Baeta Jr. 1994; Moreton, 1994).

Subordinados ocorrem ainda as Coberturas detrítico-lateríticas terciárias e corpos de granitos tipo Ipameri e corpos de rochas ultrabásicas, ilustrado pelo mapa geológico 1a (anexo 1).

O Grupo Araxá representa a unidade geológica mais antiga, é constituído essencialmente de muscovita-clorita xisto às vezes com cloritóide, biotita-muscovita-quartzo xisto, granada-muscovita-clorita xisto, clorita-quartzo xisto, grafita xisto, apresentando, subordinamente lentes de anfibolito e de xisto grafitoso, (Jost et al 1994).

O comportamento regional da xistosidade das rochas do Grupo Araxá na região possui direção NW-SE, com mergulho de baixo ângulo para SW.

Estruturalmente a área é complexa, observam-se falhas inversas, dispostas com direção noroeste, que limitam o Grupo Araxá do Grupo Ibiá e este do Grupo Canastra através de dobramentos lineares configurando um conjunto estrutural que manifesta vergência para leste, em direção ao Cráton do São Francisco (Barbosa, 1995).

10.1.2 GEOLOGIA LOCAL

A área de implantação da UHE Serra do Facão assenta-se sobre uma seqüência de rochas metamórficas de idade proterozóica do Grupo Araxá e de depósitos recentes inconsolidados, constituídos por aluviões marginais, as coberturas coluvionares e o corpo de talus (Camargo. M.A.C.M. 2002).

O Grupo Araxá é representado, predominantemente, por micaxisto feldspático e/ou quartzo-micaxisto feldspático de granulação fina e mais raramente média. Essas litologias demonstram vários graus de alteração, principalmente nos planos de fraturamento e da xistosidade, compreendidos, via de regra, por uma sericitização dos grãos dos feldspatos e das biotitas.

As falhas de empurrão estão na área do reservatório, da UHE Serra do Facão, limitam, por contato tectônico, as rochas do Grupo Araxá e do Grupo Ibiá e, pouco mais à montante, as rochas do Grupo Ibiá com a do Grupo Canastra. Nessas áreas ocorrem nas maiores concentrações de lineamentos, quase sempre com direção gerais N - NW e mergulho para SW (Pimentel et al. 1995).

O fraturamento da rocha, observada tanto em afloramento quanto em testemunhos de sondagens, exhibe cinco direções preferenciais, sendo a mais importante aquela representada pela atitude sub-paralela a xistosidade, secundada pelas direções N 45°-65° W, N 75° E e E-W, cujos mergulhos são subverticais e N 65° E / 50° SE (Camargo. M.A.C.M. 2002), associadas ao processo erosivo de entalhamento do rio e favoreceram o aparecimento de juntas de alívios paralelas ao vale e abertura das preexistentes (Foto 3).

A xistosidade e o bandamento constituem as principais estruturas das rochas, ambos concordantes. As mudanças de atitudes não são bruscas e indicam a existência de dobramentos na área, comprovados pela ocorrência de inúmeras micro-dobras tanto em afloramentos quanto em testemunhos de sondagens.

Localmente, ocorrem lentes descontínuas de xisto grafitoso de cor cinza escuro e preto, cujas dimensões variam desde de decímetros a alguns metros, estando o maior corpo detectado a jusante da futura barragem. Também na margem direita, em sua porção topograficamente mais elevada, foi detectada a presença de um corpo de rocha metabásica inserido dentro do maciço grafitoso, cuja sondagem SR-128 pode ilustrar bem o comportamento destas rochas (anexo 5).

O capeamento do solo é pouco expressivo, normalmente inferior a 2m, e a passagem para a rocha é brusca, inexistindo praticamente uma transição. Afloramentos de rocha encontram-se associados preferencialmente aos talwegues das principais drenagens, geralmente originam a rápidos e corredeiras.

O maciço de quartzo-mica-xisto e grafitoso do sítio da barragem, também contém quantidades consideráveis de pirita disseminada de forma praticamente homogênea, com níveis mais alterados (junto à superfície) e outros são situados em horizontes mais profundos.

Características geotécnicas

De modo geral, o maciço rochoso mostra-se com baixos valores de permeabilidade, sendo esta pouco mais elevada em sua porção superior, onde geralmente se encontra mais fraturado, com fraturas abertas e evidências de percolação. O nível do freático, observado a partir das investigações de subsuperfície, foi encontrado em torno dos 15m aos 30m de profundidade nas porções topograficamente mais elevadas, enquanto que nas proximidades do rio encontram-se a poucos metros.

Ocorre uma gradação de alteração dos sulfetos em ambiente oxidante com presença de água, motivo pelo qual a alteração é mais pronunciada quando a percolação de água ocorre com fácil oxigenação, fraturas e foliações abertas e desconfinadas litostaticamente, sobretudo nas proximidades da superfície do terreno.

Maciço	Alteração	Coerência	Fraturamento	Cond. Hidráulica
Horizonte I	A4-A5	C4-C3	F5-F4	10 l/min x m x Kg/cm ²
Horizonte II	A2-A3	C2-C3	F3-F5	1a 10 l/min x m x Kg/cm ²
Horizonte III	A1-A2	C1-C2	F3-F5	< 5 l/min x m x Kg/cm ²
Horizonte IV	A1	C1	F1-F2	< 5 l/min x m x Kg/cm ²

Tabela 2 – horizontes geotécnicos adotados como característicos do empreendimento, se utilizando os padrões da IPT – 1984 (em Anexo 6).

Ao se observar os logs e as fotos dos testemunhos de sondagem executadas, podendo-se dividir o maciço rochoso em quatro horizontes completamente distintos, utilizando-se critérios adotados pelo IPT e pela ABGE, quanto à competência da rocha através de dados de alteração, coerência, fraturamento e condução hidráulica, na tabela 2.

10.1.3 ESTUDOS PETROGRÁFICOS

Foram cedidos, pela CNEC engenharia, lâminas e acervo fotográfico para re-análise ao microscópio no Laboratório de Óptica do GMG-IGc/USP, em que se examinaram as características das rochas de interesse, os perfis de sondagem, das respectivas lâminas descritas, podem ser observadas no anexo 5.

Amostra e Lâmina 1: testemunho de sondagem SM –128 a 53,5 metros

Descrição Macroscópica:

Apresenta cor cinza-claro, com granulações muito finas, constituídas por minerais equigranulares. Apresenta xistosidade incipiente definida pela orientação de muscovita, biotita e clorita. Esses minerais apresentam-se em níveis preferenciais com espessura milimétrica (Foto Pa-i – Anexo3).

No trecho de ocorrência do xisto grafitoso, o testemunho de sondagem possui um alto grau de fraturamento e RQD (índice que correlaciona quantitativamente o número de fraturas em um metro de sondagem), característica muito comum nos trechos grafitosos, deste maciço.

Descrição Microscópica:

➤ Textura / estrutura.

Exibe textura granoblástica predominantemente com gradações para domínios lepidoblásticos, a estrutura é xistosa muito crenulada.

➤ Composição Modal Estimada Visualmente.

(30%) Plagioclásio (Albita), (40%) Quartzo, (15%) Actinolita / Tremolita, (5%) Grafita, (5%) Biotita, (5%) Muscovita, traços de Clinozoisita/Epidoto, Clorita, Zircão e outros opacos (óxidos de ferro/ sulfetos).

➤ Relações Mineral e Texturais:

Caracteriza-se como rocha metamórfica proveniente de um processo de baixa temperatura, na fácies xisto verde, da zona da clorita/biotita. A rocha protérita é de origem sedimentar.

O quartzo e o plagioclásio têm forma anédrica, forte extinção ondulante e cristais muito fraturados. A biotita, Actinolita/tremolita e a grafita ocorrem, embora de forma discreta,

em níveis preferenciais, responsáveis pela foliação da rocha. Com as estruturas de orientação subparalela da muscovita, biotita e grafita definem a xistosidade incipiente e a textura granolepidoblástica (foto P-i e Pa –i, Anexo 3).

➤ *Classificação.*

Meta-arcóseo ou Biotita/grafita – quartzo – albita xisto.

Amostra e Lâmina 2: testemunho de sondagem SR –181 (35,50m de profundidade)

Descrição Macroscópica:

Rocha escura de coloração cinza, com lâminas e filetes anastomosados e delineando dobras de cor preta envolvendo porções de coloração cinza de tonalidade variável. Nos planos de foliação observa-se brilho típico de grafita. A estrutura é xistosa aparecendo domínios lenticulares esbranquiçados de composição predominantemente, quartzosa.

O testemunho de sondagem nesta região tem um alto grau de fraturamento e baixos valores de RQD muito baixo, característica muito comum nos trechos grafitosos, apesar de ter um grau de alteração baixo (Pa-ii – Anexo3).

Descrição Microscópica:

➤ *Textura / estrutura.*

A rocha exibe textura granolepidoblástica com gradações para domínios lepidoblásticos ou granoblásticos de granulação fina a média. A estrutura é gerada por uma clivagem de crenulação que delimita micrólitos com ápices de dobras isoclinais e formas sigmoidais (foto Pa –ii).

➤ *Composição Modal Estimada Visualmente.*

(43%) Quartzo, (25%) Minerais opacos (grafita/hematita/sulfetos), (25%) Muscovita, (20%) Clorita, (8%) Turmalina, (1%) Rutilo, (<1%) Carbonatos e (<1%) Apatita.

➤ *Relações Mineralógicas e Texturais.*

Rocha de origem metassedimentar lamítica (psamo-pelítica) submetida a metamorfismo de fácies xisto verde alto ou mais provavelmente anfibolito baixo a médio, com retrometamorfismo sin-cinemático para fácies xisto verde. Observa-se uma foliação composta por muscovita de granulação média, quartzo e minerais opacos (Sn) transposta por outra foliação (Sn+ 1) desenvolvida em condições de menor temperatura, em que se alojam grafita, sulfetos e óxidos, gerando uma foliação de crenulação levemente anastomosada com aspecto de fluxo milonítico (fotos P-ii e P-iii no Anexo 3). Nos micrólitos observam-se sigmóides (quartzo e mica) e charneiras de microdobras isoclinais (fotos P-ii e P-iii no Anexo 3). Estes aspectos evidenciam a passagem de fluido durante o processo de

crenulação, responsável pela deposição de sulfetos e óxidos (pirita, hematita e possivelmente calcopirita).

O quartzo ocorre sobre a forma de agregados poligonizados de granulação fina, intercrescidos com opacos, filossilicatos e agregados poligonais de maior granulação, límpidos, resultantes de mobilizados sin-cinemáticos a S_{n+1} deformados. Nos domínios mais ricos em sulfetos chega-se a formar filetes com fibrosidade perpendicular a parede (tardi-cinemáticas a S_{n+1}).

A muscovita ocorre sob a forma de cristais de até 2,0mm de comprimento, deformada, formando "mica fish", sigmóides (foto P-iii no Anexo 3) e minúsculas palhetas (sericita) intercrescida com quartzo.

Os minerais opacos concentram-se ao longo da clivagem de crenulação, porém também aparecem no interior dos micrólitos, desenhando os sigmóides e dobras juntamente com os filossilicatos. Formam cordões descontínuos, filetes e pontuações e são representados por grafita, pirita, hematita, possivelmente calcopirita e blenda. Associados aos minerais opacos localmente aparecem filetes de goethita.

A clorita aparece dispersa pela rocha associada e/ou intercrescida com muscovita. Nas proximidades dos opacos, exibe cores mais acentuadas e concentra-se em alguns domínios constituindo juntamente com a sericita, pseudomorfos de granada de dimensões milimétricas.

A turmalina ocorre sob a forma de pequenos prismas, sub-milimétricos, de cor marrom amarelado a amarelo pálido, quase incolor. Está fragmentada evidenciando ser pré S_{n+1} .

O rutilo é anedral e pequeno e ocorre disperso pela rocha.

O carbonato constitui pequenos cristais associados aos opacos, sendo que localmente aparenta ocorrer filmes de malaquita.

A apatita forma pequenos cristais dispersos pela rocha.

➤ *Classificação.*

Grafita-muscovita-quartzo xisto rico em sulfetos.

Lâmina 3: testemunho de sondagem SR -131 B (27,30m)

Descrição Macroscópica:

Rocha de coloração cinza médio e estrutura xistosa apresentando leve bandamento, localmente dobrado. Com alteração moderada.

O testemunho de sondagem do trecho investigado encontra-se intensamente fraturado, com RQD é igual a zero, o que preocupa quanto sua estabilidade, durante uma escavação.

Descrição Microscópica:

➤ *Textura / estrutura*

Rocha de textura lepidogranoblástica, com domínios lepidoblásticos e granoblásticos. A granulação média é da ordem de 0,2 mm e a estruturação principal é dada por clivagem de crenulação (fotos Pv e Pvi no Anexo 3).

➤ *Composição Modal Estimada Visualmente.*

(2%) Turmalina, (45%) Quartzo, (28%) Muscovita, (20%) Minerais opacos, (2%) Clorita, (1%) Rutilo, (<1%) Montmorillonita e (<1%) Apatita.

➤ *Relações Mineralógicas e Texturais.*

Trata-se de sedimento fino (psamo pelítico) submetido a metamorfismo no limite superior da fácies xisto verde, ou provavelmente, na porção inferior a intermediária da fácies anfibolito, com retro-metamorfismo sincinemático para as condições moderadas da fácies xisto verde.

Apresenta uma foliação paralela a um difuso bandamento composto por muscovita de granulação média, quartzo recristalizado e minerais opacos (Sn), transposta por outra foliação (Sn+ 1) (fotos P-v e P-vi no Anexo 3), desenvolvida em condições de menor temperatura (xisto verde), onde se aloja grafita, óxidos e sulfetos, gerando uma clivagem de crenulação anastomosada envolvendo micrólitos lenticulares a sigmoidais. Nos micrólitos, localmente aparecem fechamentos de microdobras isoclinais, foliação tectônica anterior dobrada e transposta (fotos P-v e P-vi no Anexo 3), mica fish e mobilizados de quartzo dobrado e recristalizado. Os aspectos mineralógicos e microtexturais evidenciam a passagem de fluido durante o processo de transposição, possivelmente associado a cisalhamento, responsável pela deposição de sulfetos, grafita e óxidos.

O quartzo ocorre como agregados sacaroidais de granulação mais grossa (normalmente inferior a 0,5 mm), praticamente livre de inclusões, resultante de mobilizados sin-tectônicos recristalizados. A maior parte ocorre como cristais granulares de granulação média inferior a 100 µm com grau variável de inclusões de minerais opacos e sericita.

A muscovita ocorre sob a forma de cristais com até 2mm de comprimento, bem orientados e deformados, formando mica fish e sigmóides juntamente com o quartzo. Aparece também como minúsculas palhetas (sericita) intercrescidas com o quartzo.

Os minerais opacos concentram-se nos planos de clivagem de crenulação (Sn+ 1), porém também aparecem nos planos de Sn, delineando dobras. Ocorre na forma de pontuações, cordões e filetes descontínuos, de aspecto pulverulento e é constituído por grafita, hematita e sulfetos (principalmente pirita).

A clorita ocorre dispersa e quando em contato com opacos ou inclusa neste e exibe cor verde forte.

A turmalina constitui cristais prismáticos sub-milimétricos de cor amarelo acastanhado a quase incolor. Está bem orientada e fraturada, com os fragmentos

separados, evidenciando ser pré ($\text{Sn}+1$), provavelmente sin-Sn .

O rutilo constitui pequenos cristais anedrais arredondados, normalmente, bordejado por minerais opacos pulverulentos. A apatita foi observada como raros cristais pequenos.

➤ *Classificação.*

Grafita - muscovita xisto com sulfetos e hematita.

11.1.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Efetuarão-se testes de difração de raios-X utilizando-se técnicas analíticas por combustão, detecção por infravermelho e técnicas de lixiviação seletiva – possibilitando a identificação de diferentes formas químicas de carbono e enxofre.

Durante a difração de raios-X, identificou-se fases cristalinas nas frações insolúveis geradas durante o processo de lixiviação seletiva. Para tanto, utilizou-se a técnica em ambiente de pH neutro, para extração dos sulfatos por alteração na composição iônica, utilizando-se água destilada a 80°C . Em outra etapa, adotou-se um ambiente com $\text{pH} < 1,0$ (meio ácido) para a extração dos minerais solúveis ao HCl reagente utilizado a 20% da concentração a uma temperatura de 80° .

Os teste de difração utilizaram-se amostras submetidas a análises semiquantitativas por difratometria de raios-X realizada em um Difratometro Philips, modelo PW1710, utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$ e cristal monocromador de grafita, velocidade de varredura $0,06^{\circ}2\Theta/\text{s}$, tempo de contagem 1s, intervalo de varredura de 3° ate $100^{\circ}2\Theta$.

O método de análise baseia-se na comparação dos valores das distâncias interplanares e das intensidades dos picos nos difratogramas das amostras analisadas e uma amostra de referência, utilizando o padrão do banco de dados da Internacional Centre dor Diffraction Data.

Para tanto foram realizadas análises em duas amostras distintas de uma mesma sondagem a 10 e 15 metros de profundidade respectivamente, dando como resultado concentrações de 0,071 e 0,076% de S(%), e concentrações minerais indicadas na tabela abaixo:

Amostra	Quartzo	Muscovita	Clorita	Albita	Sulfetos	Grafita
10 m	Alta concentração	Baixa concentração	Baixa concentração	Média concentração	Média concentração	Média concentração
15 m	Alta concentração	Baixa concentração	Baixa concentração	Média concentração	Baixa concentração	Média concentração

Tabela 3 –Resultados obtidos pela difração.

Os resultados da Difração de raios-X – DRX mostram presença nas determinações químicas realizadas, tem-se o enxofre proveniente de minerais portadores de sulfato, e de sulfetos, como pirrotita, no espectrograma 1 (anexo 4) observa-se o dado obtido com maior nitidez.

11.1.5 DADOS GEOMECÂNICOS

Analisaram-se diversos dados geomecânicos fornecidos pela projetista e priorizaram-se resultados de ensaios de compressão uniaxial e cisalhamento direto, realizados em 2002, pela LACTEC. Durante os ensaios, utilizaram-se rochas que não existiam interferências de alteração, com o intuito de definir a resistência de pico e residual do xisto grafitoso são.

O ensaio de compressão uniaxial buscou determinar a resistência, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson da rocha, equipamento utilizado e ilustrado na figura EG 1 (anexo 7). O cisalhamento direto tem como principal parâmetro a ser obtido, a resistência máxima e a residual da rocha em sua foliação até a estabilização da tensão de cisalhamento e após a descarga das tensões. Os ensaios se apoiaram nas normas e diretrizes do ISRM, ABNT, ABGE e ABMS.

É importante revelar que o cisalhamento direto não permite a determinação de parâmetros de deformidade da rocha, nem mesmo o módulo de cisalhamento, pois não se têm os dados da distorção; para se obter estes valores seriam necessários a realização de ensaios de cisalhamento simples, entretanto este tipo de ensaio é de difícil execução (vide, por exemplo, Pinto et al. 2002).

Os resultados dos ensaios processados nos Xistos grafitosos foram adquiridos em amostras saturadas em água 24 horas e não saturadas. Em equipamentos semelhantes ao ilustrado na figura EG3 (anexo 7).

O ensaio de Cisalhamento direto é o procedimento mais comum para a determinação da resistência ao cisalhamento e se baseia diretamente no critério de Coulomb, aplicando-se uma tensão normal num plano e verifica-se a tensão cisalhante que provoca a ruptura.

Neste ensaio, produz-se inicialmente uma força vertical N e uma força tangencial T que é aplicada ao anel que contém a parte superior do corpo de prova, levando ao descolamento, como se ilustrada na figura EG2 e EG3 (anexo 7).

As forças T e N , divididas pela área da seção transversal do corpo de prova, indicam as tensões $T_{\max}$ (resistência de pico) e T_{res} (resistência residual) que nelas estão ocorrendo.

Este ensaio de cisalhamento envolve alta praticidade, entretanto a análise do estado de tensões durante o carregamento é complexa. O plano horizontal é o principal antes da aplicação das tensões cisalhantes do ensaio. Com a aplicação das forças T , ocorre rotação dos planos principais, que são conhecidas num plano, pois este cisalhamento pode ser precedido de rupturas internas em outras direções.

- Ensaio1: Cisalhamento direto em amostras da sondagem SM-128 - Prof. 53,5 a 54,5 m

Os ensaios ocorreram em um trecho de amostragem de 1 metro, com amostra de 20 centímetros em rochas constituídas por: (30%) Plagioclásio (Albita), (40%) Quartzo, (15%) Actinolita/ Tremolita, (5%) Grafita, (5%) Biotita, (5%) Muscovita, traços de Clinozoisita/ Epidoto, Clorita, Zircão e outros opacos (óxidos de ferro/ sulfetos). Com a tensão aplicada paralela a foliação

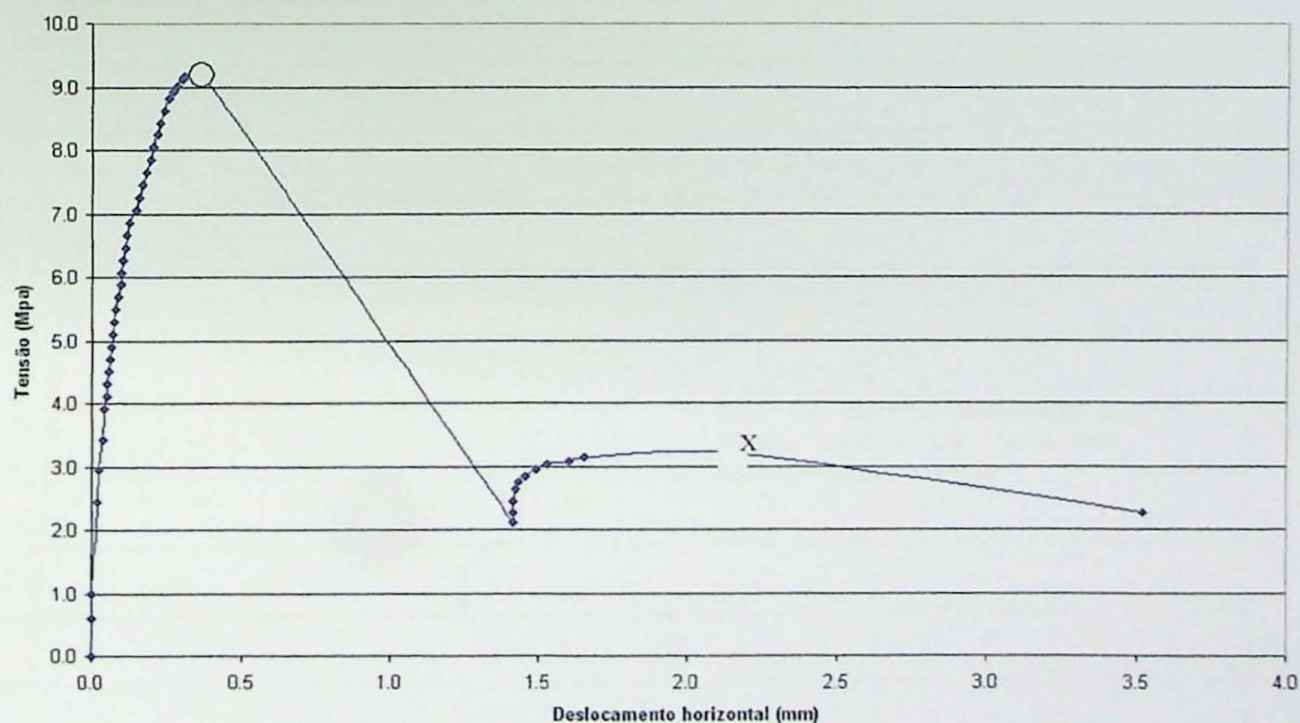
A resistência residual foi verificada de duas maneiras: após o rompimento até a estabilização da tensão de cisalhamento e após descarga de tensões – posteriormente à determinação da resistência residual (estabilização da Tensão de cisalhamento).

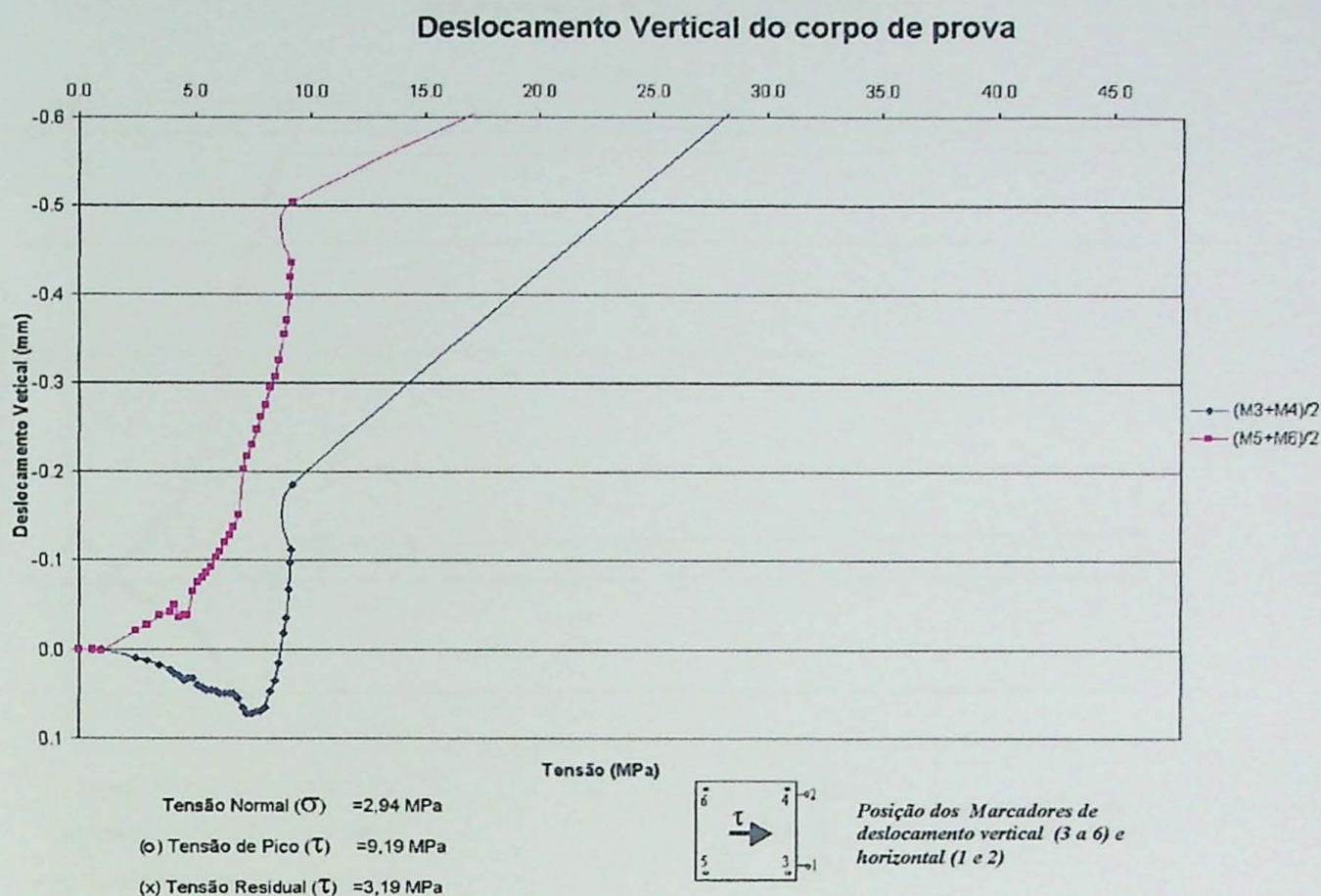
Para tanto se separaram amostras com a finalidade de adquirir um número maior de resultados e realizar um tratamento estatístico nestes, obtendo-se valores mais precisos.

Os gráficos de alguns ensaios são apresentados a seguir, as tabelas com os dados adquiridos ver anexo 7.

Amostra 1

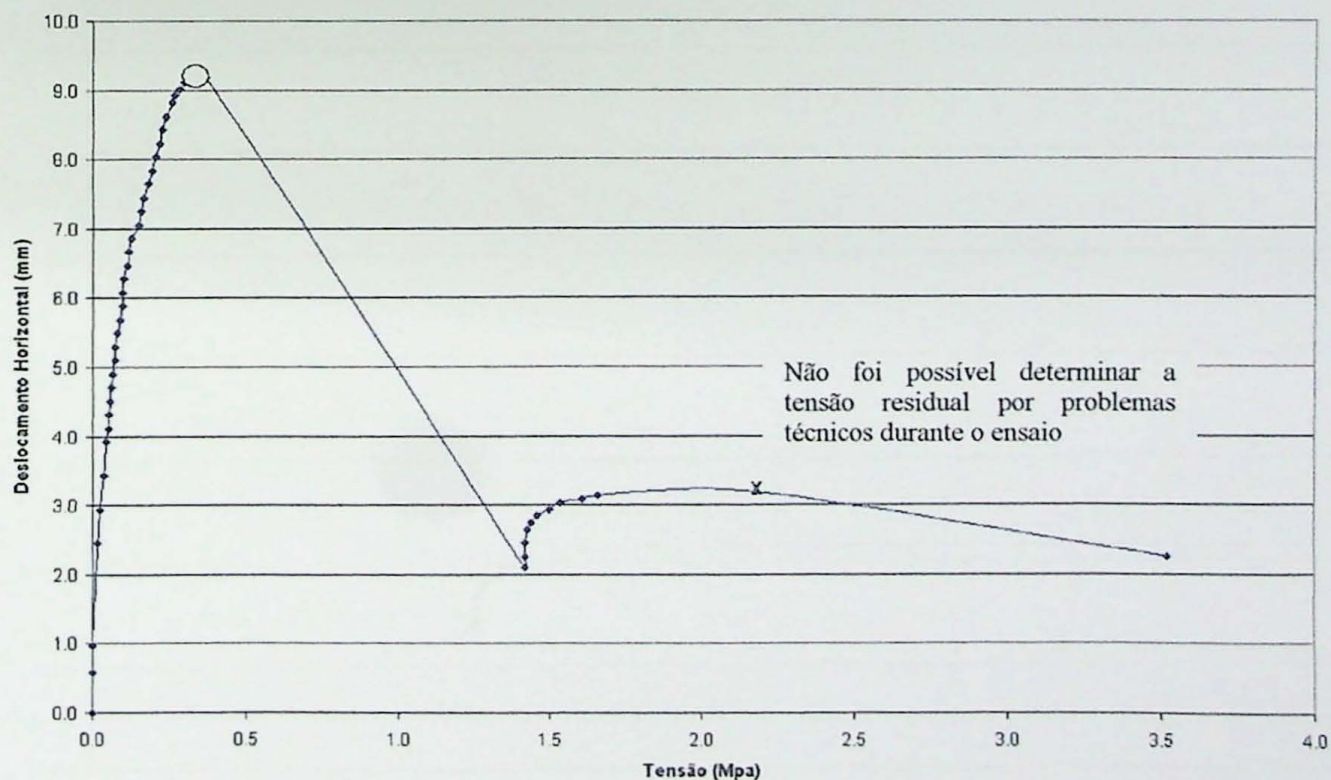
A tensão normal e de cisalhamento foram aliviadas e o corpo de prova posicionado na origem do ensaio, na seqüência aplicou-se a tensão normal original e levou-se o deslocamento até o final do equipamento, com tensões normais, sendo esta amostra inundada por água durante 24 horas.



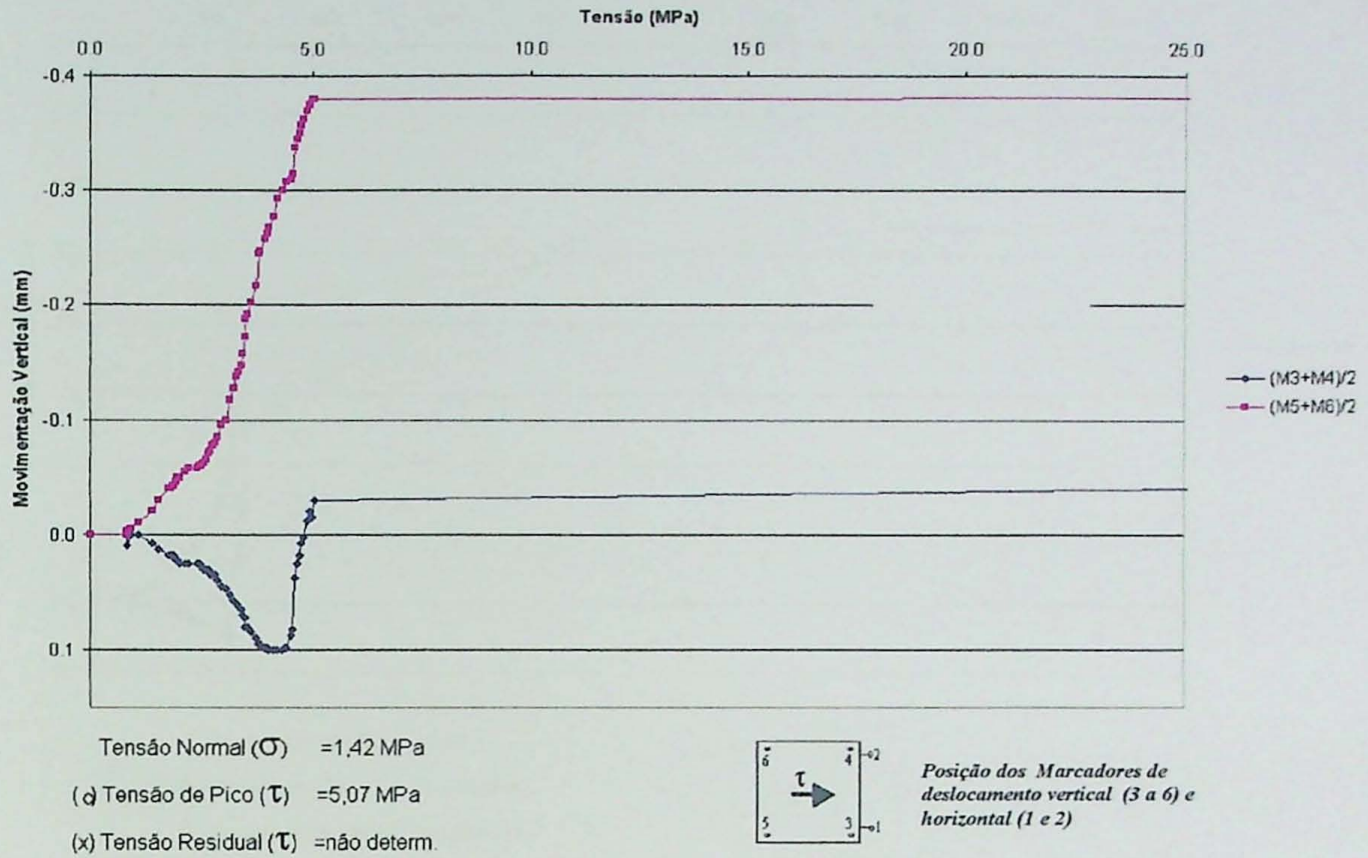


Amostra 2

A tensão normal e de cisalhamento foram aliviadas e o corpo de prova posicionado na origem do ensaio, na sequência aplicou-se a tensão normal e levou-se o deslocamento até o final do equipamento, com tensões normais.

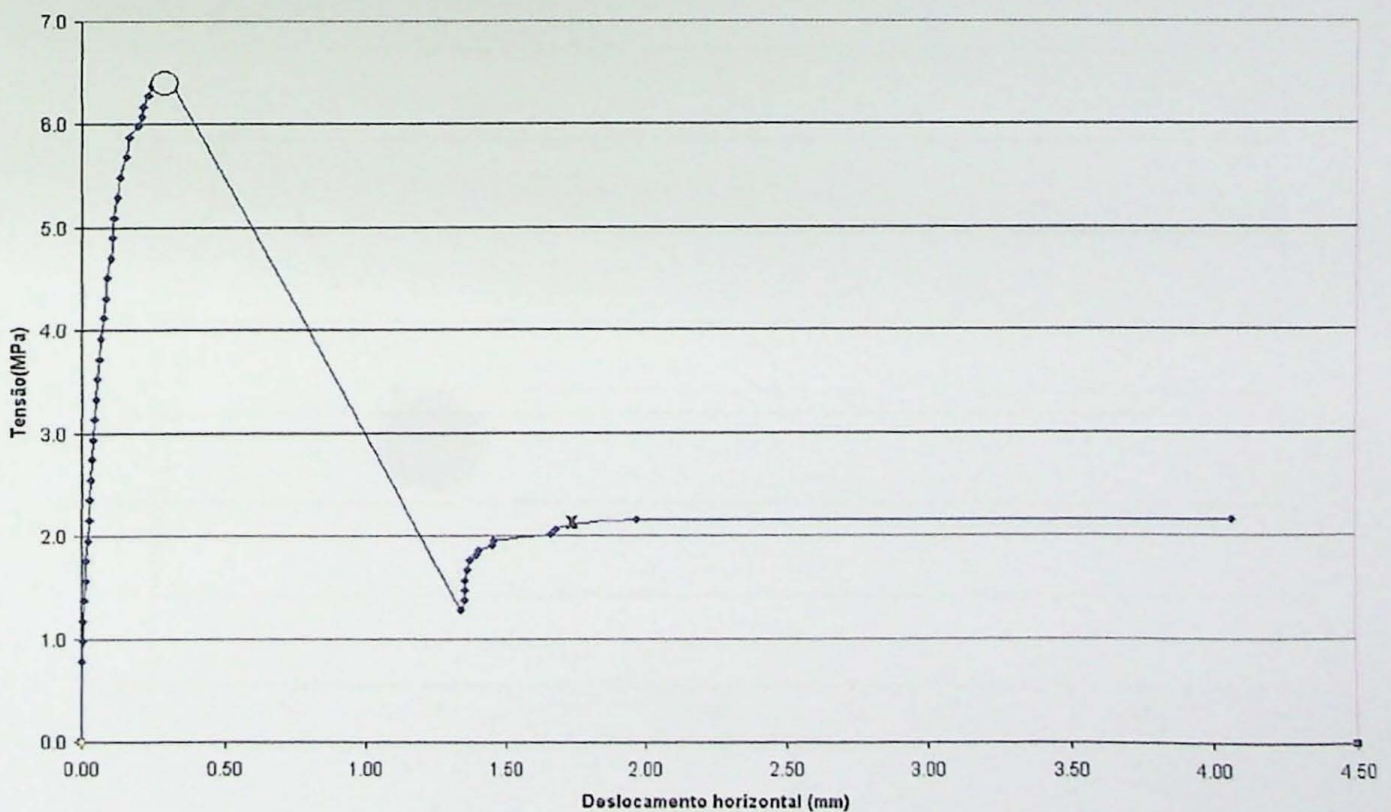


Deslocamento Vertical do corpo de prova

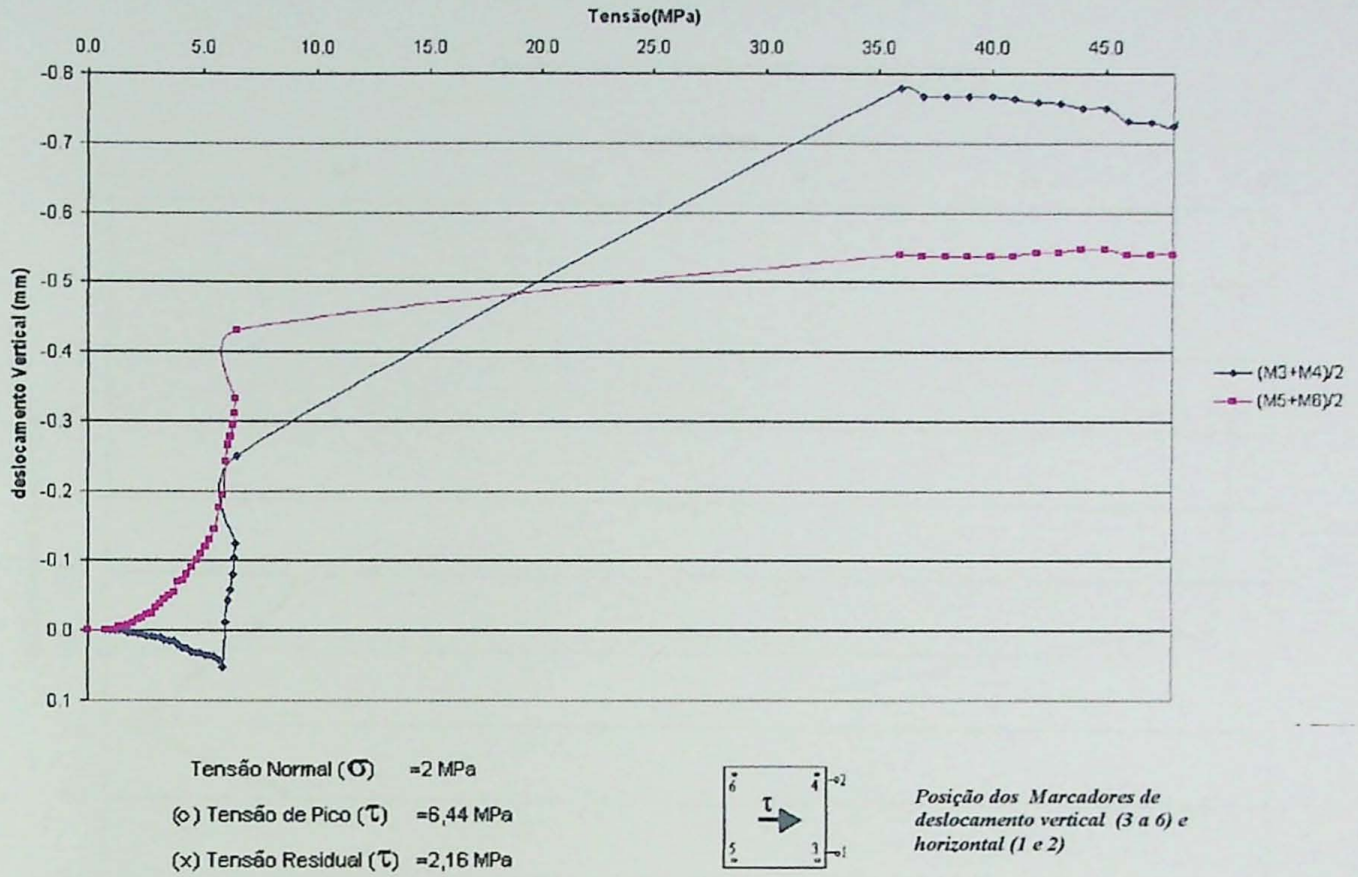


Amostra 3

A tensão normal e de cisalhamento foram aliviadas e o corpo de prova posicionado na origem do ensaio, na sequência aplicou-se a tensão normal e levou-se o deslocamento até o final do equipamento, com tensões normais.

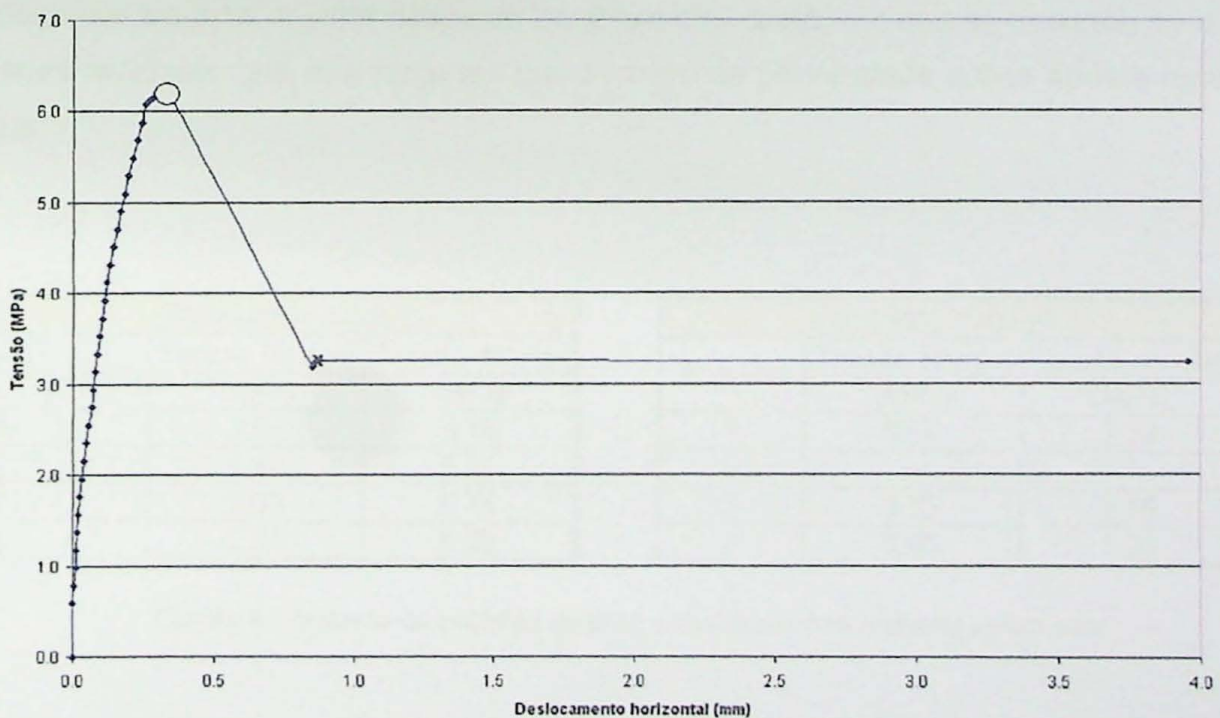


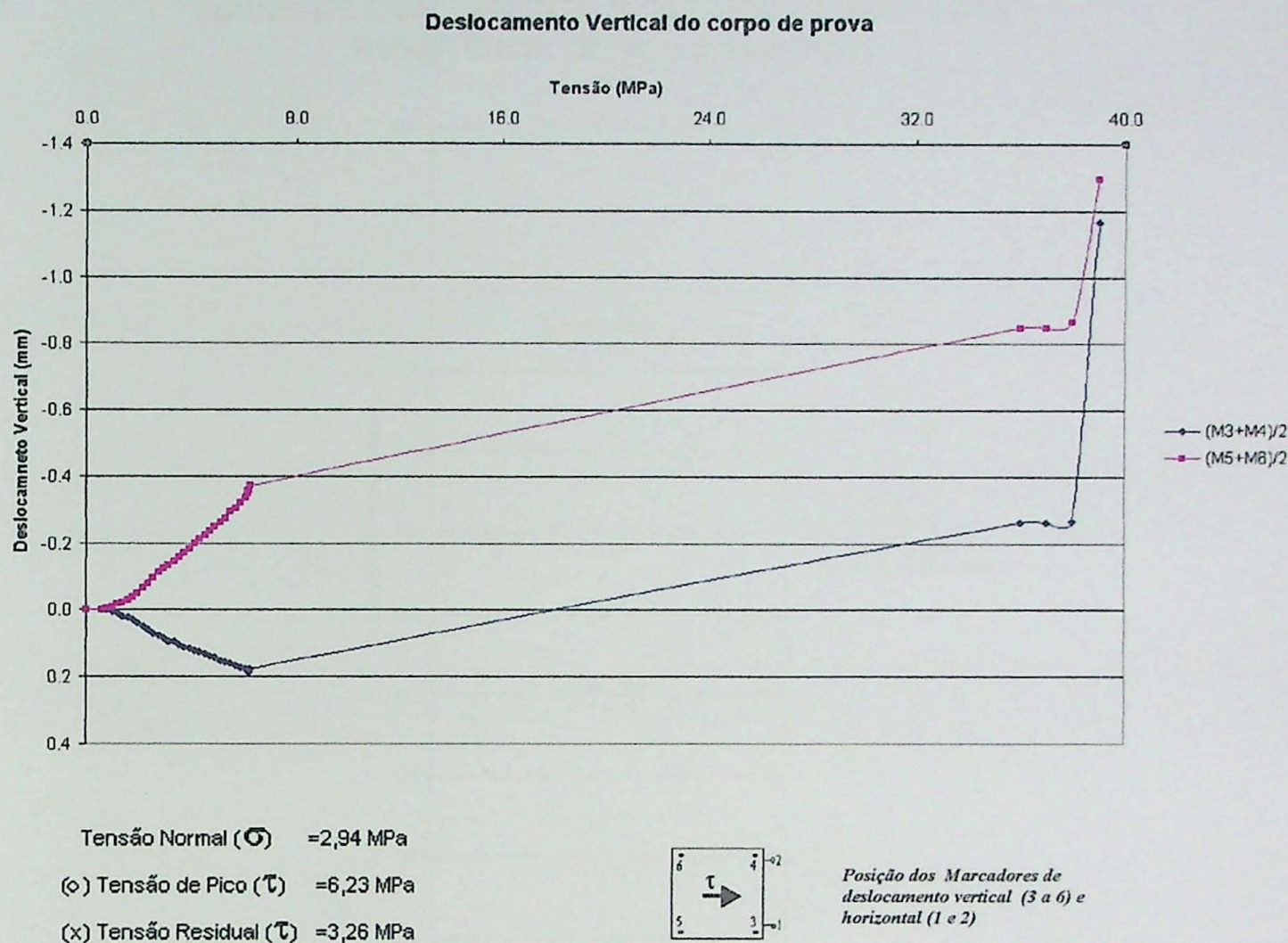
Deslocamento Vertical do corpo de prova



Amostra 4

A tensão normal e de cisalhamento foram aliviadas e o corpo de prova posicionado na origem do ensaio, na sequência aplicou-se a tensão normal e levou-se o deslocamento até o final do equipamento, com tensões normais.





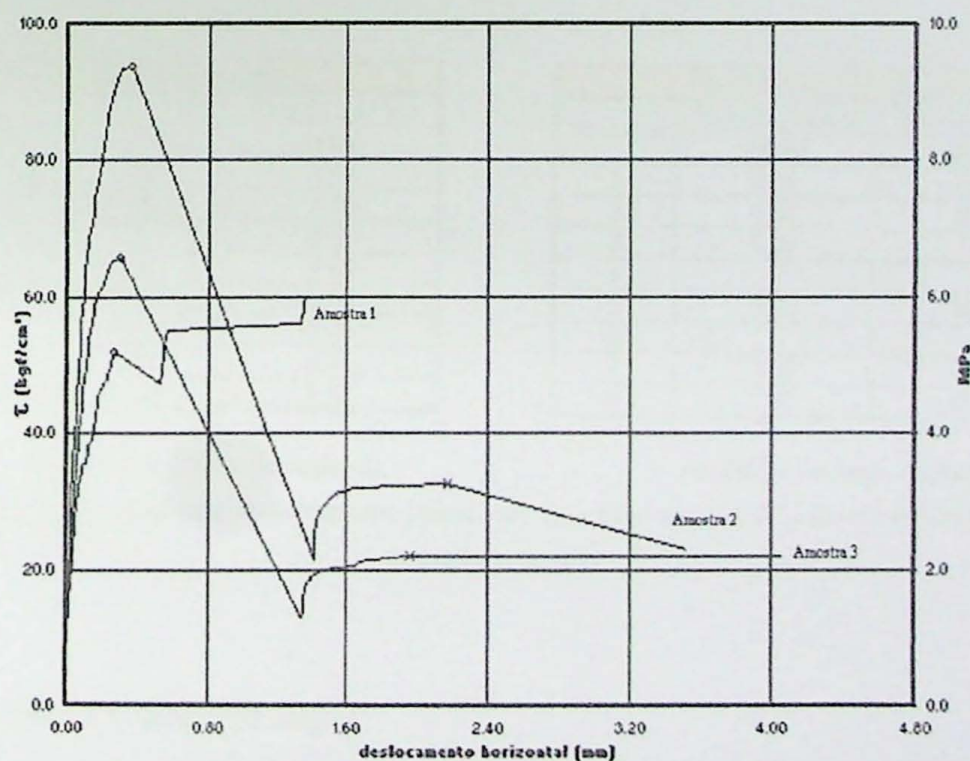
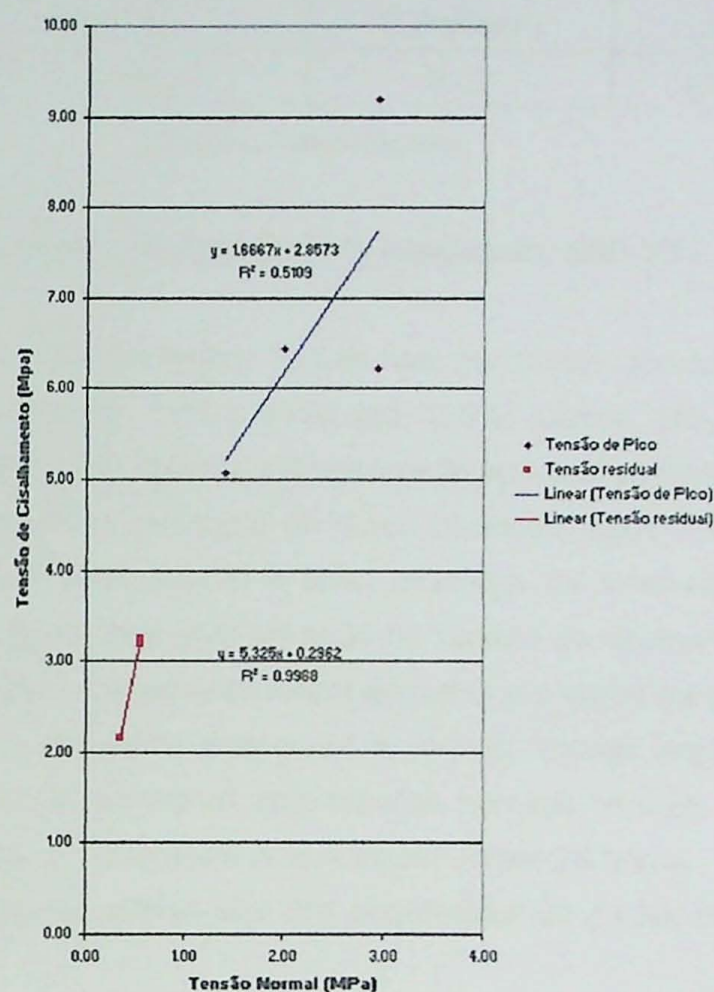
Tais ensaios possibilitaram a produção de um diagrama em que se obteve uma reta preferencial traçada, a partir dados de cisalhamento direto, em que se detectou as diversas tensões residuais, isto é, a força em que o corpo de prova ainda aplica após a ruptura da rocha.

Resistência Máxima		
Amostra	Tensão Normal (MPa)	Tensão de Pico (MPa)
1	2.94	9.19
2	1.42	5.07
3	2.00	6.44
4	2.94	6.23

Resistência Residual		
Amostra	Tensão Normal (MPa)	Tensão residual (MPa)
1	0.55	3.19
2		
3	0.35	2.16
4	0.55	3.26

Tabela 4 - Valores de tensões de pico e residuais dos ensaios anteriores

ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA **ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO XISTO GRAFITOSO -** **RESISTÊNCIA DE PICO E RESIDUAL**



Através destes resultados calcula-se os dados apresentados, a seguir:

(◆) PICO		(■) RESIDUAL	
COESÃO	ANG. ATRITO	COESÃO	ANG. ATRITO
C (kgf/cm ²)	φ°	C (kgf/cm ²)	φ°
11.91	69.8	0.07	47.4

Tabela 5 –Valore Obtidos

- Ensaio2: Cisalhamento direto em amostras da sondagem SM - 131 - Prof. 53,5 m

O ensaio foi realizado em amostras constituídas por (43%) Quartzo, (25%) Minerais opacos (grafita/hematita/sulfetos), (25%) Muscovita, (20%) Clorita, (8%) Turmalina, (1%) Rutilo, (<1%) Carbonatos e (<1%) Apatita. Com a tensão aplicada paralela a foliação

A resistência residual foi verificada de duas maneiras: após o rompimento até a estabilização da tensão de cisalhamento e após descarga de tensões – obtida após a determinação da resistência residual (estabilização da Tensão de cisalhamento).

A tensão normal e de cisalhamento foram aliviadas e o corpo de prova posicionado na origem do ensaio, na seqüência aplicou-se a tensão normal original e levou-se o deslocamento até o final do equipamento, com tensões normais de 0,25; 0,5; 1,0; 2,0 Mpa em amostras não saturadas e 1,0 Mpa em amostras saturadas 24 horas.

Os dados apresentados abaixo são das seqüências de dados obtidos durante os ensaios:

Resistência Máxima		
Amostra	Tensão Normal	Tensão de Pico
	(Mpa)	(Mpa)
1	1.17	4.10
2	1.99	7.10
3	2.21	8.00
4	1.36	4.80
5	0.61	2.00
6	2.29	8.28
7	1.55	5.17
8	2.00	6.57

Resistência pós ruptura		
Amostra	Tensão Normal	Tensão residual
	(Mpa)	(Mpa)
1	0.25	0.30
2	0.50	0.85
3	1.00	1.95
4		
5	0.25	0.30
6		
7	0.50	0.75
8	1.00	0.85

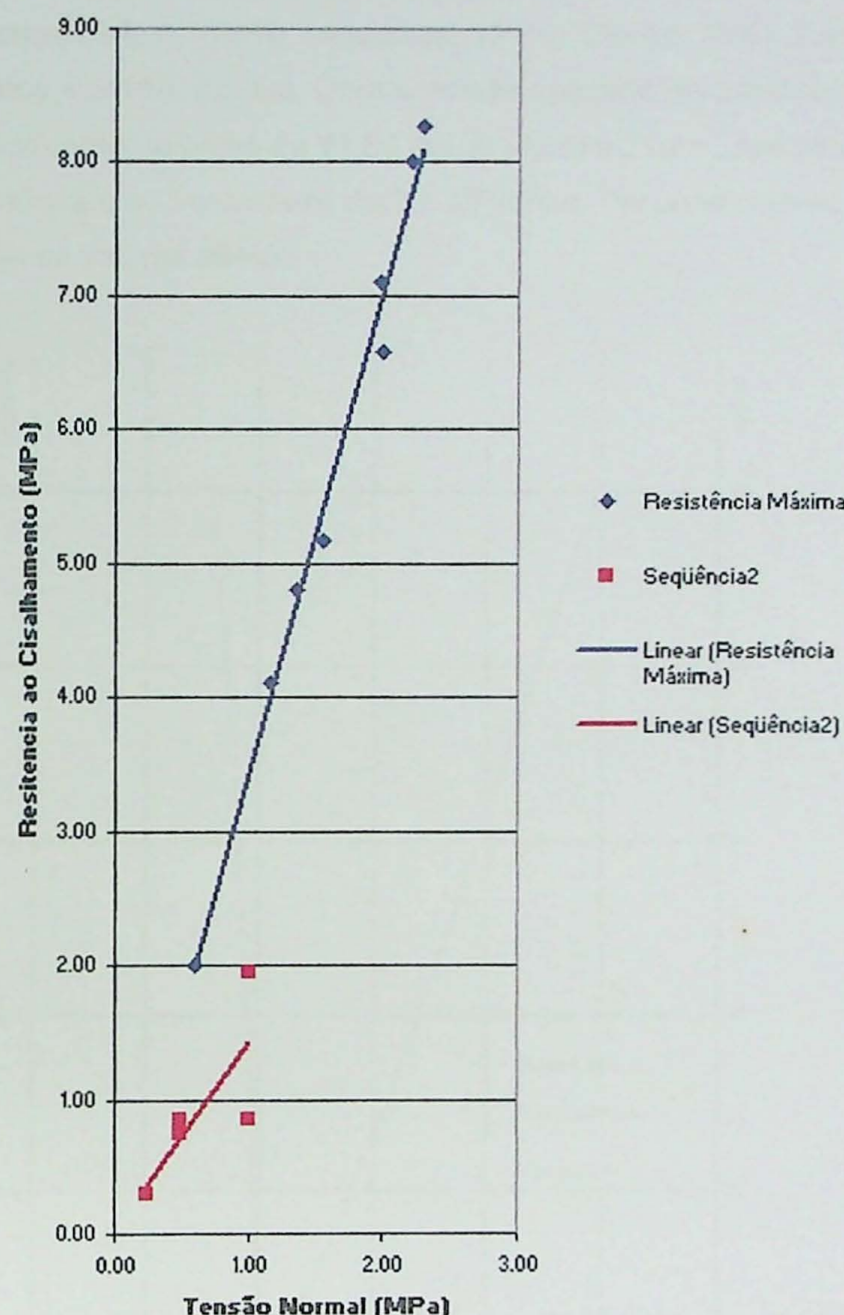
Tabela 6 - resistência antes da ruptura.

resistência pós- ruptura.

Os valores de resitencia pós-ruptura (residual) das amostras 4 e 6 não foram obtidos, por falhas durante o ensaio.

Obtendo-se o gráfico a seguir:

ENVOLTÓRIA DE RESISTÊNCIA
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO XISTO GRAFITOSO -
RESISTÊNCIA DE PICO E RESIDUAL

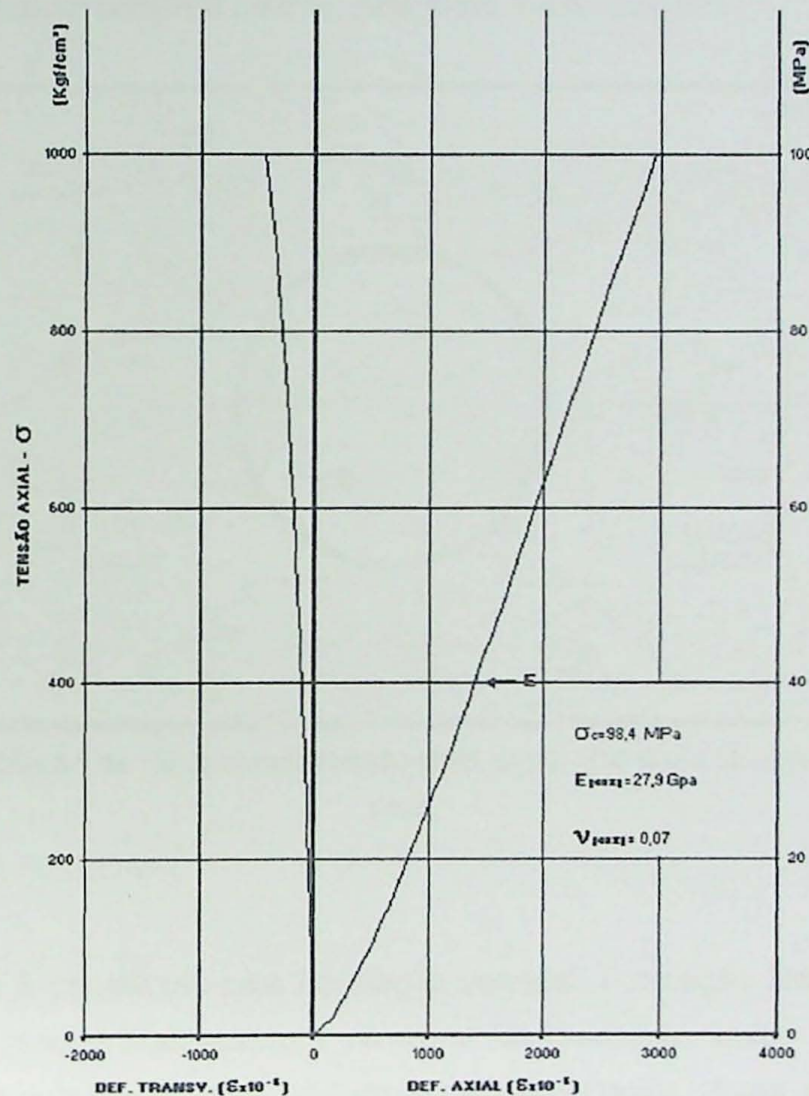


- Traçou-se a reta preferencial utilizando os diversos dados do ensaio de cisalhamento direto, em que se obteve as diversas tensões residuais, isto é, a força que o corpo de prova aplica após a ruptura da rocha, plotadas no gráfico acima com envoltória igual a 55, 0°, com dispersão de 0,65.
- Traçando uma envoltória na resistência de Pico, temos a envoltória $\tau = \sigma \tan 75,0^\circ$ Mpa, com dispersão de R^2 0,98, valor considerado muito elevado para este tipo de material.
- Os valores obtidos neste ensaio são considerados elevados para uma amostra saturada formada com uma concentração de cerca de 5 a 10 % de grafita.

- Ensaio 3: Compressão uniaxial em amostras da sondagem SM - 131 - Prof. 53,5 m

Realizou-se o ensaio em amostras constituídas por (43%) Quartzo, (25%), Minerais opacos (grafita/hematita/sulfetos), (25%) Muscovita, (20%) Clorita, (8%) Turmalina, (1%) Rutilo, (<1%) Carbonatos e (<1%) Apatita. Com a tensão aplicada perpendicular à foliação.

Empregou-se um corpo de prova de 11,65 cm de altura e 21cm², aplicando-se tensão que chegou a 100,3 MPa a uma velocidade de 2,5 MPa/min. Perpendiculares ao plano de xistosidade, obtendo-se os valores abaixo:



- Tensão de Ruptura: 98,4 Mpa
- $E_{40\%} = 27,9 \text{ GPa}$
- Poisson — $\nu_{40\%} = 0,07$

Através destes três conjuntos de ensaios, observou-se que a rocha possui um grau de fraturamento elevado, observada com maior definição em seus testemunhos de sondagem, em muitos casos, provoados mecanicamente durante a execução, forneceu

dados conforme os parâmetros esperados para xistos com resistência em torno 2Mpa no cisalhamento direto (paralelo a foliação) e de 100Mpa no uniaxial (perpendicular a foliação).

11.2 UHE IRAPÉ

Usina Hidroelétrica com potencial instalada de 360 MW, em fase final de construção realizada entre os municípios de Grão Mongol (margem esquerda) e Berilo (margem direita) na região nordeste do Estado de Minas Gerais (localização na figura L2), sendo a segunda barragem mais alta do Brasil – menor apenas que a UHE Campos Novos – e a terceira maior da América Latina com 208 metros. (Ver fotos 5 e 6, anexo2).

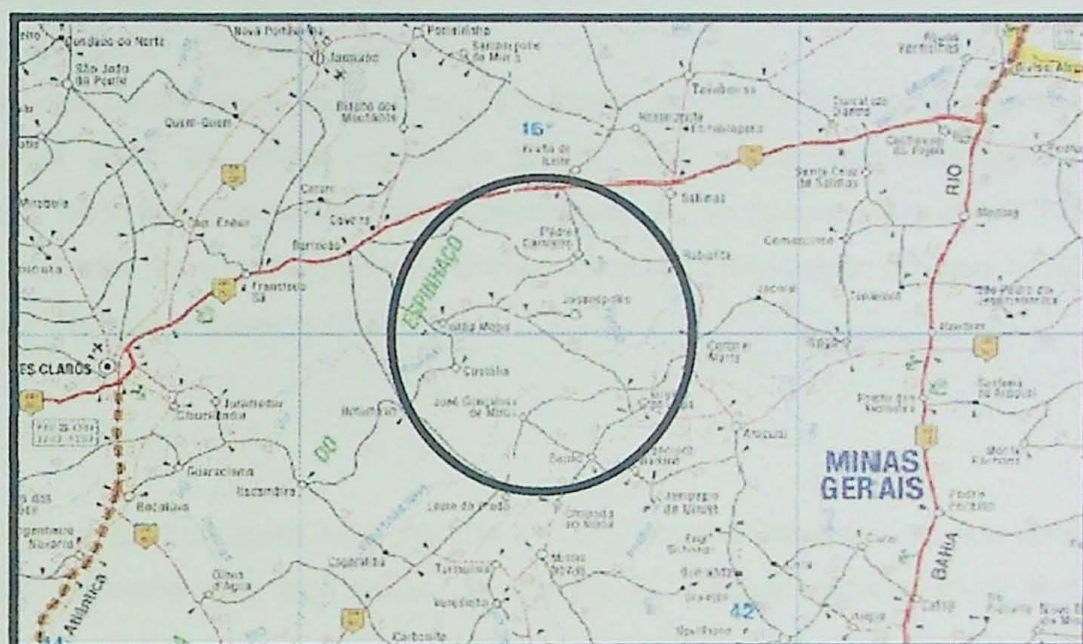


Figura L2 – Localização da do aproveitamento UHE Irapé. Do Guia Quatro Rodas, Estradas, 2005.

11.2.1 GEOLOGIA REGIONAL

Esta região é constituída pela Formação Jequitaiá, Formação Salinas e pelo Grupo Macaúbas. Estas seqüências ocorrem na zona de transição entre o Cráton do São Francisco e a faixa dobrada Araçuaí, no Estado de Minas Gerais, Brasil, Mapa 1b (anexo 1).

A Formação Jequitaiá é composta por diamictitos maciços e estratificados, com até 100 m de espessura. Esta associação de diamictitos é interpretada como glácio-marinha estende-se a leste, no cinturão dobrado Araçuaí, com o Grupo Macaúbas – constituído por metadiamictitos, quartzitos e xistos. Em relação ao Grupo Macaúbas, esta é formada de material glaciogênico sedimentado por fluxos de detritos subaquosos e correntes de turbidez.

A Formação Salinas compreende-se de quartzo-mica xistos (pelitos grauvaquianos) e meta-grauvacas quartzosas, com intercalações menores de rochas calciosilicáticas paraderivadas, metaconglomerados clasto-suportados, metacalcário e xistos grafitosos. Os

dados de campo, petrográficos e litoquímicos evidenciam que essa formação representa uma pilha turbidítica do *tipo deep-sea sand-mud sequence*, depositada na margem passiva Macaúbas (Pedrosa – Soares e Oliveira 1997).

Uma porção distal da Formação Salinas constitui sucessão metavulcano - sedimentar típica de assoalho oceânico (a Fácies Ribeirão da Folha). Esta fácies hospeda lascas tectônicas de rochas meta-ultramáficas. Datações de U-Pb (SHRIMP) em zircões detriticos indicam uma idade máxima para a sedimentação de 568Ma. (Lima et al 2002).

Durante o Evento Brasileiro, diferentes domínios estruturais e metamórficos foram estruturados no setor central da Faixa Araçuai.

As zonas de cisalhamento sulfetadas ocorrem nos domínios estruturais caracterizados por rampas de empurrão frontais oblíquas, de baixo a médio ângulo de mergulho (Lima, S. A. A. et al. 2002).

Nestas zonas, os produtos finais são xistos miloníticos, a quartzo + sericita + pirita + espessartita além de albita, clorita e biotita, que evidenciam alteração hidrotermal incompleta ocorrida a temperaturas comparáveis às da fácies xisto-verde médio a alto próximo do limite superior do intervalo térmico ideal para deposição do ouro e outros metais (Pedrosa – Soares e Oliveira 1997).

11.2.2 GEOLOGIA LOCAL

A área da barragem está situada em um notável "canyon" do Rio Jequitinhonha, controlado sobremaneira por zonas de fratura. O maciço rochoso local é constituído, predominantemente, por um pacote formado por quartzo-mica xisto grafitoso, homogêneo, de coloração cinza escura, com granulação que varia de fina a grosseira, inserida dentro do Grupo Macaúbas de idade proterozóica

É possível reconhecer os seguintes minerais na rocha: quartzo, muscovita, biotita, granada, grafita, cianita, sulfetos (pirita, raramente pirrotita e calcopirita) e acessórios. A grafita perfaz em geral cerca de 10 % e os sulfetos 5 % do total da rocha.

Os minerais placóides e prismáticos, tais como as micas e, eventualmente, as cianitas, imprimem ao maciço uma forte foliação associada com lineação mineral. Esta foliação apresenta normalmente como um bandamento composicional caracterizado pela alternância de níveis cinza claros (predomínio de quartzo) com níveis cinza escuros (concentração de opacos, principalmente grafita). Eventualmente ocorrem níveis de quartzito micáceo intercalados no quartzo-mica xisto, de espessuras métricas e disposição lentiforme, considerados restritos no maciço.

A característica singular, que norteia os conceitos de projeto, é a presença disseminada de sulfetos orientada segundo a foliação principal S2 dos xistos da formação Salinas, exibindo granulação predominantemente fina.

No maciço de fundação da barragem, em superfície, é muito comum a presença de cavidades milimétricas dispostas alongadas junto à foliação, resultantes da lixiviação completa da pirita nos níveis superficiais do maciço que em presença de água e ar podem se degradar quimicamente em hidróxidos de ferro e ácido sulfúrico. O desenvolvimento da reação leva à formação de sulfatos expansivos que podem trazer problemas para o projeto.

Características geotécnicas

A caracterização geomecânica foi baseada em conceitos internacionais sugeridos pela ISRM (International Society for Rock Mechanics - 1981 - Suggested Methods). Os critérios e parâmetros da ISRM foram associados, ajustados e complementados aos da ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (Ver parâmetros geotécnicos adotados no anexo 6).

Pode-se afirmar que o padrão de distribuição plano de alteração (A1 a A5), consistência (C1 a C5), fraturamento (F1 a F5) e permeabilidade (H1 a H5) é pouco complexo e regular. Existe uma variação vertical, a partir da superfície topográfica original e uma quase ausência de variação lateral. Essa ausência de variação horizontal dá-se em função da homogeneidade litológica e estrutural.

A variação da alteração do maciço em relação à profundidade exhibe um modelo clássico de meteorização de rochas homogêneas com minerais estáveis, consequência principal envolvendo a relaxação das juntas e foliações ocorridas durante o processo erosivo.

No local, a meteorização está concentrada na lixiviação dos sulfetos nos horizontes relaxados e secundariamente na matriz rochosa, constituída de minerais menos suscetíveis a ataques químicos. Variações verticais localizadas na distribuição das características do maciço devem-se principalmente à distribuição dos sistemas de juntas subverticais e eventualmente em faixas com maior concentração de grafita.

A lixiviação das piritas, assim como as demais características do maciço rochoso, decomposição, consistência, fraturamento e permeabilidade, são reflexos diretos da evolução geomorfológica do relevo e diretamente correlacionáveis.

A homogeneidade litológica e textural dos quartzo-mica xistos, sem intercalação de horizontes aquíferos notáveis, gerou um padrão de alteração que diminui de cima para baixo, indo em geral do A5 (rocha extremamente decomposta) ao A1 (rocha sã), passando por todos os graus da mesma forma que no caso da alteração, os graus de consistência/resistência distribuem-se subordinado ao mesmo padrão.

As juntas tendem a estar mais abertas quanto mais próximas à superfície, devido aos efeitos de descompressão litostática. Por outro lado, em profundidade, podem estar localizadamente abertas, provavelmente por consequência dos efeitos das tensões atuais no maciço.

Geralmente, na zona lixiviada, os fraturamentos variam de extremamente fraturado a muito fraturado e alguns trechos medianamente fraturado. Abaixo deste nível os graus costumam não terem um fraturamento alto, relacionando-se, quase sempre, a juntas abertas verticais, as descontinuidades das juntas de foliação são da ordem métrica a, raramente, decamétrica, na zona lixiviada. Nas zonas mais profundas, a persistência das foliações abertas diminui bastante devido à fraca atuação da descompressão litostática, principal causa da abertura desta estrutura.

As foliações e juntas do maciço da barragem são quase que exclusivamente rugosas raramente em superfícies sedosas, mesmo em porções mais micáceas e grafitosas dos xistos.

Pode relacionar-se às tensões tectônicas que promoveriam a abertura de certas estruturas. A abertura da foliação nos primeiros metros da zona relaxada, de modo geral, conduz a um maciço com permeabilidade alta a muito alta. Em trechos inferiores dessa zona, o maciço rochoso apresenta uma permeabilidade média. Nos trechos não relaxados (fraturados) do maciço a permeabilidade diminui sensivelmente, muito baixa e baixa.

Na zona lixiviada do maciço a permeabilidade está ligada à foliação aberta e às juntas subverticais. Na zona não lixiviada, quando existem zonas mais permeáveis, estas estão normalmente associadas às juntas subverticais singulares.

Para permitir a individualização e delimitação de horizontes de maciço relativamente homogêneos, quanto às características geológico-geotécnicas de resistência e deformabilidade, adotou-se a classificação de Bieniawski (1989). Dessa forma, o maciço do sítio de Irapé, possui classes de I a V, sendo incluídos nesta última os solos de alteração/residuais ou depósitos transportados, todos considerados pouco espessos (ver tabela 2).

11.2.3 ESTUDOS PETROGRÁFICOS

Para caracterizar melhor estas rochas, analisaram-se quatro lâminas de duas amostras da rocha estudada, no laboratório de amostragem e preparação de lâminas delgadas, no instituto de Geociências da Universidade de São Paulo em Janeiro e Julho de 2005, e duas seções polidas das porções com maiores concentrações de opacos (principalmente os sulfetos). Essas duas Lâminas foram verificadas sob luz transmitida e refletida do Laboratório de Óptica do GMG-IGc/USP.

Os resultados petrográficos permitiram caracterizar além dos principais minerais constituintes da rocha – como quartzo, feldspato K, cianita, granada, opacos (sulfetos e grafita), muscovita e alguns minerais acessórios como a clorita, biotita, hematita, magnetita, zircão –, suas texturas e extruturas predominantes.

Descrição Macroscópica:

A descrição macroscópica apresenta uma rocha de cor cinza-claro, com granulações muito finas, essas constituídas por minerais equigranulares. Xistosidade bem marcada em toda rocha, definida principalmente pela orientação de muscovita, biotita e clorita. Esses minerais apresentam-se em níveis preferenciais e possuem espessura milimétrica.

O testemunho de sondagem tem um alto grau de fraturamento em um curto trecho, com conseqüente RQD muito baixo, característica muito comum nos trechos grafitosos, deste maciço, fotos Pa-III no anexo 3.

Descrição Microscópica:

➤ *Textura / estrutura*

Rocha de textura lepidogranoblástica, com domínios lepidoblásticos e granoblásticos. A granulação média é da ordem de 0,2 mm e a estruturação principal é dada por clivagem de crenulação (fotos P- v e vi no anexo 3).

➤ *Composição Modal Estimada Visualmente.*

(40%) Quartzo, (20%) Muscovita, (16%) Minerais opacos, (2%) Clorita, (10%) Granada, (2%) Turmalina, (1%) Rutilo, (5%) Feldspato K, (2%) cianita, (<1%) clorita, (<1%) Biotita e (<1%) zircão.

➤ *Seção Polida*

Na seção foi possível identificar os minerais opacos e quantifica-los. Dos 16 % dos minerais opacos identificados na seção delgada cerca de 8% constituía-se de grafita, 6% de sulfetos e o restante de minerais como hematita e magnetita.

Dos 6% de sulfetos, cerca de 65% era de pirrotita (mal formadas e por vezes alterado), 30 % de pirita (mal formadas sem preservar o seu sistema cristalino cúbico), o restante é representado por esmectitas (4%), calcopirritas (<1%) que estão sempre associadas as pirrotitas (muitas vezes inclusas) arredondadas.

➤ *Relações Mineralógicas e Texturais.*

Revela-se como um sedimento fino (psamo pelítico) submetido a metamorfismo no limite superior da fácies xisto verde ou mais provavelmente na porção inferior a intermediária da fácies anfíbolito, com retro-metamorfismo sincinemático para as condições moderadas da fácies xisto verde.

Apresenta uma foliação paralela a um difuso bandamento composto por muscovita de granulação média, quartzo recristalizado e minerais opacos (Sn), transposta por outra foliação (Sn+ 1), desenvolvida em condições de menor temperatura (xisto verde), onde se aloja grafita, óxidos e sulfetos, gerando uma foliação de crenulação anastomosada envolvendo micrólitos lenticulares a sigmoidais.

Os aspectos mineralógicos e micro texturais evidenciam a passagem de fluido durante o processo de transposição, possivelmente associado a cisalhamento, responsável pela deposição de sulfetos, grafite e óxidos.

O quartzo ocorre como agregados sacaroidais de granulação mais grossa (normalmente inferior a 0,5 mm), praticamente livre de inclusões, resultante de mobilizados sin-tectônicos recristalizados, foto P-viii (anexo 3). A maior parte ocorre como cristais granulares de granulação média inferior a 100 μ m com grau variável de inclusões de minerais opacos e granadas muitas vezes rotacionadas foto P-vi (anexo 3).

A muscovita aparece sob a forma de cristais com até 2mm de comprimento, bem orientados e deformados, formando mica fish e sigmóides juntamente com o quartzo (foto P-v, anexo 3). Há também como minúsculas palhetas (sericita) intercrescidas com o quartzo (foto p-vii, anexo 3).

Os minerais opacos concentram-se nos planos de clivagem de crenulação (S_{n+1}) e nos planos de S_n , delineando dobras. Representa-se na forma de pontuações, cordões e filetes descontínuos, de aspecto pulverulento e é constituído por grafita, hematita e sulfetos, principalmente pirita (foto P- v no anexo 3).

A clorita, o zircão e a cianita ocorrem dispersos e em cristais muito pequenos.

➤ *Classificação*

Grafita - granada - muscovita xisto com pirrotita e pirita.

Amostra e Lâmina: testemunho de sondagem SR –VT 01 (lâmina _1, 2 e seção polida)

Descrição Macroscópica:

Rocha de coloração cinza médio, de estrutura xistosa apresentando leve bandamento, localmente dobrado. Com alteração moderada.

Nesta amostra temos um alto grau de fraturamento em um curto trecho fotos Pa-IV no anexo 3.

Descrição Microscópica:

➤ *Textura / estrutura*

Rocha de textura lepidogranoblástica, com domínios lepidoblásticos e granoblásticos. A granulação média é da ordem de 0,2 mm e a estruturação principal é dada por clivagem de crenulação.

A lâmina 1 é predominante granoblástica e a lâmina 2 lepidoblástica.

➤ *Composição Modal Estimada Visualmente.*

(40%) Quartzo, (15%) Muscovita, (15%) Minerais opacos, (2%) Clorita, (10%) Granada, (1%) Rutilo, (5%) Feldspato K, (<1%) cianita, (<1%) Turmalina, (<1%) Biotita.

Seção Polida

Nesta seção foi possível identificar os minerais opacos e quantificar a quantidade destes minerais no contexto desta rocha. Dos 15 % dos minerais opacos identificados na seção delgada cerca de 5 % era constituído de grafita, 9% de sulfetos e o restante de minerais como hematita e magnetita (foto P-ix e xv, anexo 3). Exemplifica-se na foto P-xv (anexo 3) parte do material opaco (constituído por pirrotita e calcopirita) parcialmente deformado e arredondado, com inclusões de quartzo e muscovitas.

Neste total de 10% de sulfetos, cerca de 55% era de pirrotita (mal formadas e por vezes alterado) e 35 % de pirita (mal formadas sem preservar o seu sistema cristalino cúbico), o restante é representado por esmectitas (5%), calcopiritas (5%) estão sempre associadas as pirrotitas (muitas vezes inclusas) e estão arredondadas, há presença possível de marcassitas (fotos SP- IV a VI, anexo 3).

➤ Relações Mineralógicas e Texturais.

Rocha de origem metassedimentar lamítica (psamo-pelítica) submetida a metamorfismo de fácies xisto verde alto ou mais provavelmente anfibolito baixo a médio, com retro-metamorfismo sin-cinemáticos para fácies xisto verde.

Observa-se uma foliação composta por muscovita de granulação média, quartzo, granada e opaco (S_n) transposto por outra foliação (S_{n+1}) desenvolvidas em condições de menor temperatura, onde se alojam grafita, sulfetos e óxidos, gerando uma foliação levemente crenulada.

Nos micrólitos observam-se lentes de quartzo e muscovita e microdobras isoclinais abertas e fechadas (fotos P-xii, P-xiii e P-xiv, anexo 3). Estes aspectos evidenciam a passagem de fluido durante o processo de crenulação, responsável pela deposição de sulfetos e óxidos (pirrotita, pirita, hematita e possivelmente calcopirita).

O quartzo ocorre sobre a forma de agregados poligonizados de granulação fina, intercrescidos com opacos, filossilicatos e agregados poligonais de maior granulação, límpidos, resultantes de mobilizados sin-cinemáticos a S_{n+1} deformados. Nos domínios mais ricos em sulfetos chegam-se a formar filetes com fibrosidade perpendicular as paredes (tardi-cinemáticas a S_{n+1}).

A muscovita ocorre sob a forma de cristais de até 2,0mm de comprimento, deformadas e minúsculas palhetas (sericita) intercrescida com quartzo.

Os minerais opacos concentram-se na clivagem de crenulação, porém também aparecem nos micrólitos, delineando os sigmóides e dobras juntamente com os filossilicatos. Formam-se cordões descontínuos, filetes e pontuações e são representados por grafita, pirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita, hematita, magnetita e possivelmente marcassita.

A clorita aparece dispersa pela rocha associada e/ou intercrescida com muscovita. Nas proximidades dos opacos, exibe cores mais acentuadas e concentram-se domínios constituindo de granada de dimensões 0,2 mm junto a porção de textura lepidoblástica

(fotos P-x e xi, anexo 3) e também relacionadas de dimensões milimétricas na porção lepidogranoblástica (foto P-iv no anexo 3), muitas vezes rotacionadas na matriz da rocha evidenciando ser pré Sn+ 1.

A turmalina ocorre sob a forma de pequenos prismas deformados, sub-milimétricos, de cor marrom amarelado quase incolor. Está fragmentada evidenciando ser pré Sn+ 1.

O rutilo é anedral e pequeno e ocorre disperso pela rocha assim como a cianita em minerais prismáticos muito pequeno, dispersos em camadas com textura lepidoblástica.

➤ *Classificação*

Grafita - granada - muscovita xisto com pirrotita.

11.2.5 DADOS GEOMECÂNICOS

Inicialmente, objetivava-se realizar alguns ensaios de cisalhamento direto e simples, que seriam feitos no Instituto de Pesquisa e Tecnologia do Estado de São Paulo, mas que por motivos técnicos não puderam ser realizados durante esse período. Onde se utilizariam testemunhos de sondagem fornecidos para a realização deste trabalho, em que não existiam interferências de alteração no testemunho e tinham como objetivo definir a resistência de pico e residual do xisto grafitoso, em sua foliação.

No entanto, foram realizados ensaios uniaxiais em rochas completamente sãs em corpos de prova em seu estado natural e outros foram imersos em água por um período não inferior a 72 horas.

Utilizaram-se métodos e normas da ISRM – International Society of Rock Mechanics e ASTM – Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression, nos laboratórios de FURNAS.

Estes ensaios foram realizados utilizando-se máquina rígida servo-controlada, com capacidade de aplicação de 5,0MN de carga axial e rigidez de 5,02MN/mm, este equipamento é mostrado na figura 5 (anexo 7), o carregamento foi controlado através de uma razão de deformação circunferencial máxima permitida dos corpos de prova por unidade de tempo.

As deformações foram medidas através de um conjunto de três transdutores de deslocamento do tipo LVDT, dois deles dispostos diametralmente apostos à geratriz do corpo de prova e destinados à obtenção da deformação axial do mesmo, dois anéis no cabeçote de aço em contato com o corpo de prova e o terceiro fixado a meia altura, este é ilustrado na figura EG6 (anexo 7). De modo que a partir dos resultados dos ensaios de compressão uniaxial foram determinados as resistências à compressão uniaxial, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson.

Outro ensaio realizado foi a de densidade natural para a verificação da homogeneidade do material. Utilizando-se dos procedimento de FURNAS, baseado no

método "Suggested Method for Porosity/ Density Determination Using Saturation and Caliper Techniques" da ISRM – International Society of Rock Mechanics.

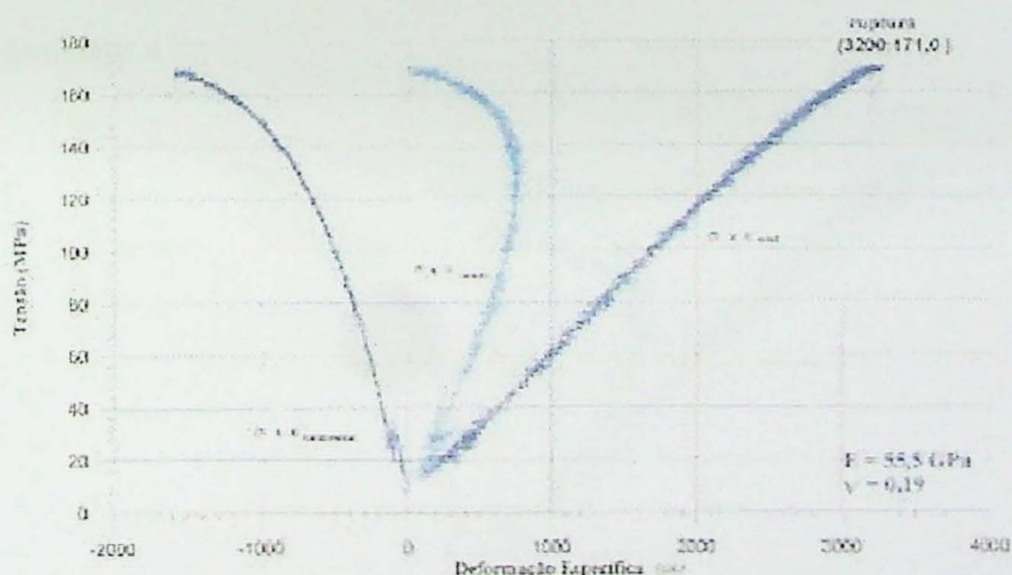
Os Resultados dos ensaios de resistência a compressão uniaxial, bem como os resultados dos ensaios para determinação da densidade natural, encontra-se na tabela 8 (abaixo). O modulo de elasticidade apresentado é a inclinação da reta do trecho linear da curva de tensão pela deformação axial do corpo de prova. O Coeficiente de Possion é a relação entre a inclinação da reta do trecho linear da curva de tensão pela deformação axial e o correspondente da curva de tensão x deformação transversal.

Nº	Condições de Umidade	Relação H/Ø	Rupturas		Modulo de Elasticidade	Coeficiente de Poisson	Densidade Natural (kN/m³)
			Resistência à Compressão (Mpa)	Deformação Axial ($\mu\epsilon$)			
1	Nat.	2,84	171,1	3200	55,5	0,19	27,45
2	Sat.	2,93	167,5	2700	(1)	(1)	27,72
3	Nat.	2,90	166,0	3200	55,7	0,15	27,68
4	Sat.	3,01	156,5	2850	(1)	(1)	27,70
5	Nat.	2,91	165,6	3200	54,3	0,17	27,21
6	Sat.	3,02	154,2	2950	(1)	(1)	27,27

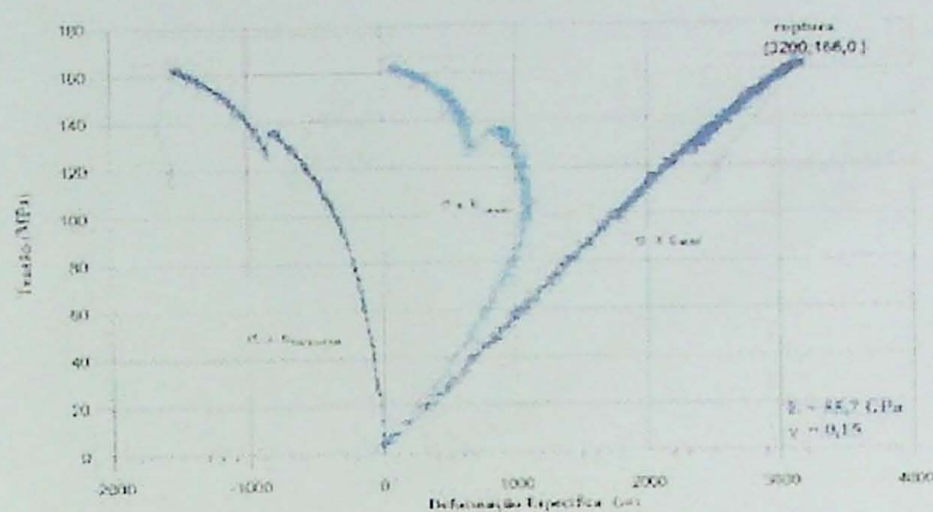
(1) → Não foi possível a determinação dos valores.

Tabela 8 – Resultados dos ensaios realizados com os xistos grafitosos da UHE Irapé em rochas sãs.

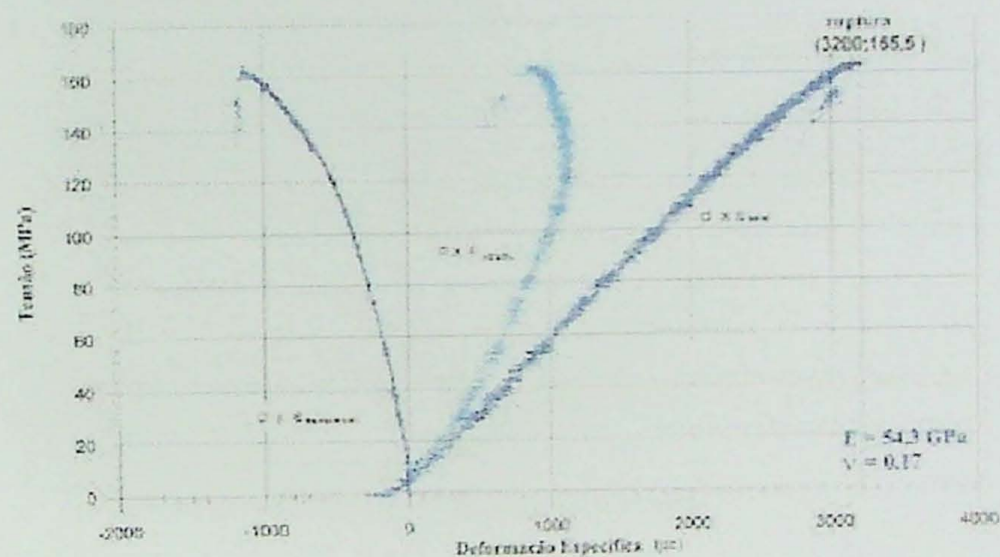
Amostra 1



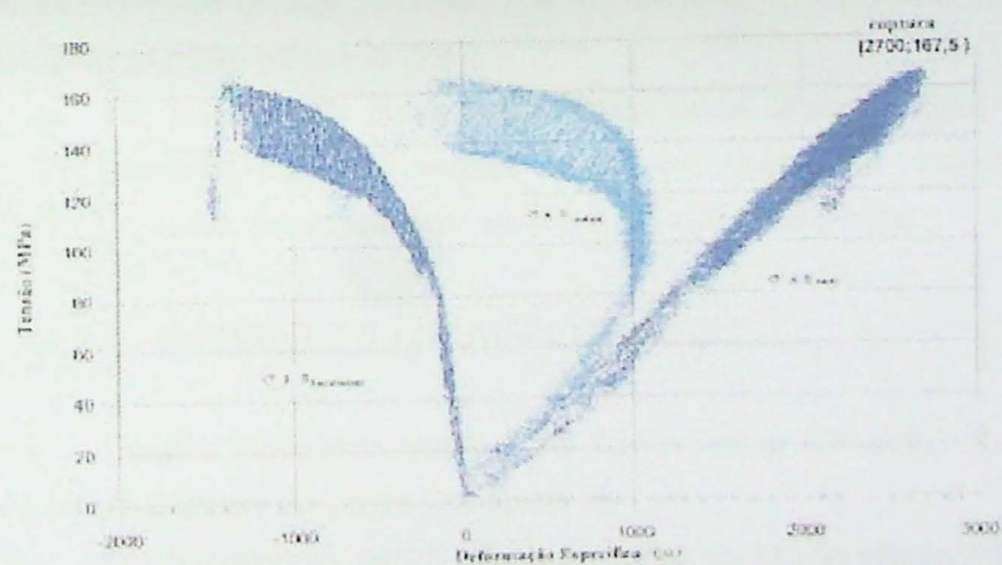
Amostra 2



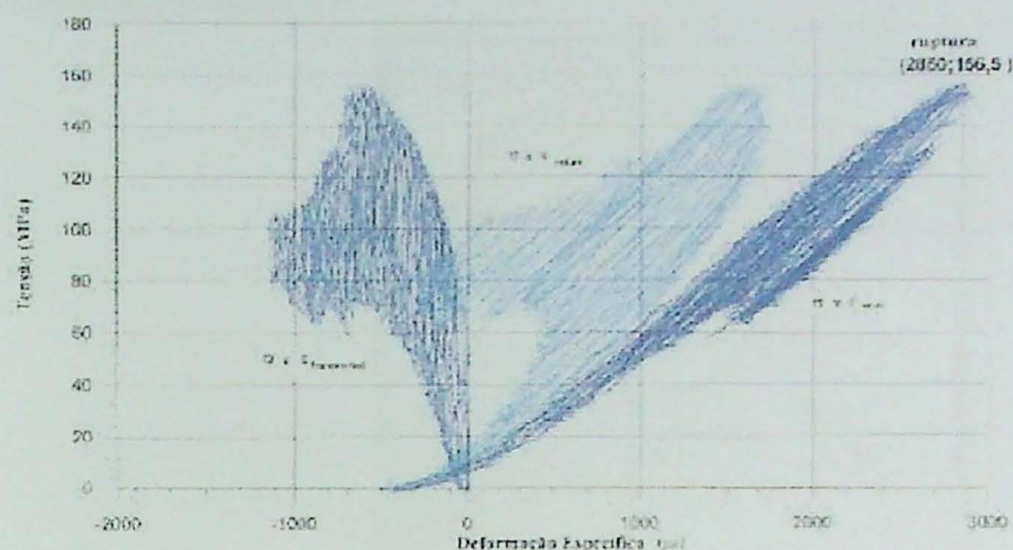
Amostra 3



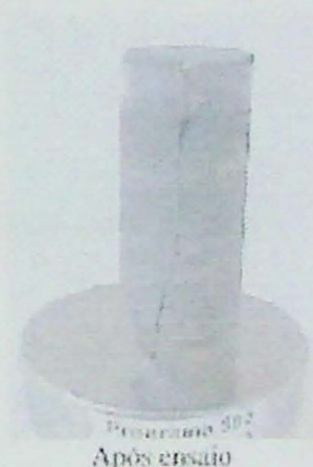
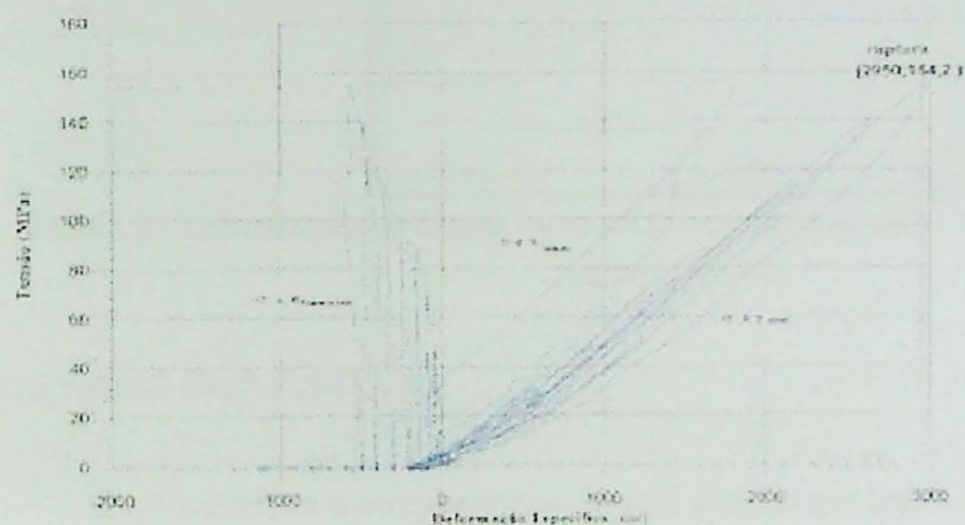
Amostra 4



Amostra 5



Amostra 6



Por meio dos resultados de densidade natural, constata-se que a rocha, de modo geral, é muito homogênea. Em relação aos ensaios de compressão uniaxial, a queda da resistência nos corpos de prova, imersos em água, comparados com os corpos em estado natural, foi muito pequena (5%).

As curvas de tensão por deformação apresentaram alterações, tendo um comportamento para os ensaios saturados, típicos de materiais mais alterados ou microfissurados, provavelmente devido à influência da grafita.

11.3 TALUDE/ VIADUTOS DA RODOVIA SP-348

Talude/ Viaduto na Rodovia dos Bandeirantes (SP-348), nas proximidades da cidade de Santa Bárbara do Oeste (ver figura 3).

Neste exemplo, serão utilizados dados de um incidente ocorrido em uma obra no interior de São Paulo, investigando-se camadas formadas por folhelhos negros ricos em

minerais carbonosos que influenciam significativamente a instabilidade e rupturas, freqüentes no local.

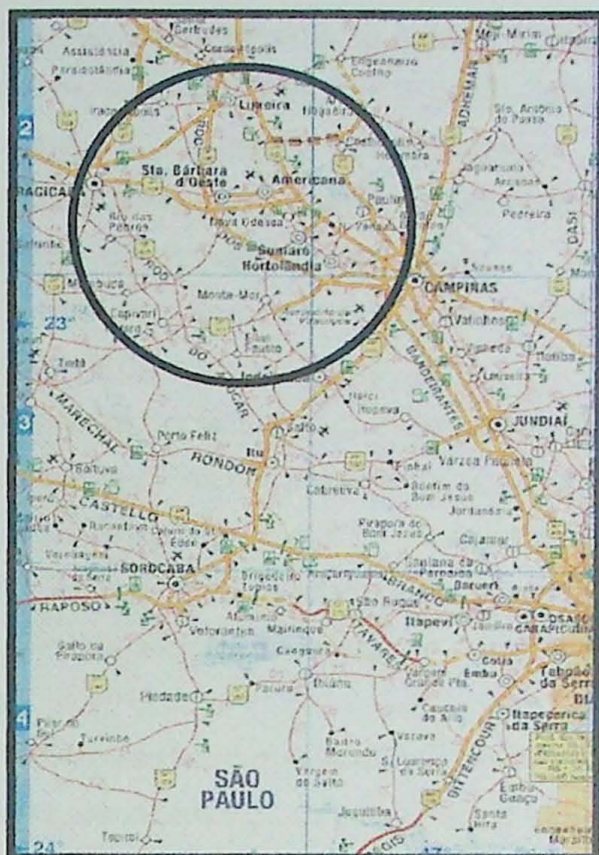


Figura 3 – Localização do Talude na rodovia dos Bandeirantes. Do Guia Quatro Rodas, Estradas, 2005.

11.3.1 GEOLOGIA REGIONAL

Regionalmente o empreendimento está situado em uma unidade aflorante da bacia do Paraná. As Rochas do SubGrupo Itararé afloram ao longo de uma faixa continua de aproximadamente 50 Km de largura, mapa geológico (Anexo 1 mapa 1c).

O Subgrupo Itararé no estado de São Paulo é constituído por sedimentos essencialmente arenosos de diversas granulometrias, desde muito finos a conglomeráticos. Ocorrem também conjuntos expressivos de diamictitos e sedimentos pelíticos, às vezes rítmicos, podendo conter seixos e blocos erráticos. Subordinadamente ocorrem, associados, delgadas camadas de carvão (Rocha Campos et Al. 1983).

As argilas características dos sedimentos do Subgrupo Itararé são predominantemente illíticas e cloríticas (Ramos & Formoso 1975), sendo esta associação mineralógica dependente da área fonte, do clima e do relevo. Os Feldspatos e quartzos estão constantemente presentes.

As Formações deste Subgrupo Itararé são intrudidas regionalmente por diques de diabásio, Almeida & Mello (1981), sendo este fato bem evidente nas proximidades de Campinas.

Massole (1991) apresenta a evolução da classificação e nomenclatura do Subgrupo Itararé ressaltando-se que no presente trabalho adotou-se o termo "Subgrupo", em razão da denominação "grupo" ainda ser aceita por poucos autores e considerando-se, sobretudo, a semelhança entre as unidades Itararé e Guatá (Rocha Campos 1967), relativamente à passagem transicional entre a unidade glacial e pós-glacial.

Soares *et al.* (1977) reconheceram quatro unidades litológicas diferentes na parte superior do Subgrupo Itararé no estado de São Paulo. A ausência de camadas guias impossibilitou a correlação estratigráfica de associações do Subgrupo Itararé em âmbito regional, esta classificação é válida apenas localmente.

Litologicamente são divididos em quatro associações: I – compreende arenitos e pelitos de origem fluvial, com raras camadas de carvão e calcário; II – representada por diamictitos, arenitos e ritmitos de origem glacial retrabalhados em planícies de lavagem ou em ambiente litorâneo; III – exhibe arenitos e siltitos depositados em plataformas deltáicas e IV – representada por arenitos lamíticos, lamitos e ritmitos depositados em ambiente marinho de águas calmas.

França & Potter (1988) classificaram estratigraficamente o Itararé em sub superfície, dividindo-o em três unidades, denominadas, da base para o topo:

- "Formação Lagoa Azul" – com deposição somente ao norte do Arco de Ponta Grossa, iniciando-se por leques aluviais e rios "braided" com evolução para ambiente glacial terrestre no topo;
- "Formação Campo Mourão" – com ambiente de deposição em planícies de lavagem e rios "braided", passando o ambiente marinho, com influência glacial na parte superior;
- "Formação Taciba" – representativa por depósitos deltáicos turbidíticos e de plataforma, na sua parte basal e depósitos de mares profundos e glaciomarinhas, na porção superior.

A Formação Lagoa Azul compreende litologias do tipo arenitos, siltitos e lamitos com seixos, sendo subdividida em dois "membros": Cuiabá Paulista (arenitos) e Tarabaí (siltitos e lamitos seixos), ocorrendo, em caráter local, entre eles, uma lente de folhelhos denominada Folhelhos Roncador. A Formação Campo Mourão (arenosa, com folhelhos, siltitos e lamitos com seixos subordinados) encerraria em sua parte superior, no estado de Santa Catarina, uma lente de folhelho denominada de Membro Lontras. A Formação Taciba foi subdividida em três membros: Rio Ivai (arenitos), Chapéu do Sol (lamitos e seixos) e Rio do Sul (sedimentos argilosos), sendo este último denominado Formação Rio do Sul por Schneider *et al.* (1974).

Não há um consenso quanto às denominações reconhecidamente na Bacia do Paraná, de idade siluriana. Além disso, França & Potter (1988) reconhecem que ainda existem dificuldades em estabelecer-se uma correlação adequada entre rochas de

superfície e subsuperfície. Posteriormente a formação Rio Ivaí foi elevada à categoria de Grupo Rio Ivaí de idade ordoviciano-siluriana (Assine 1994 e Milani *et al.* 1996).

11.3.2 GEOLOGIA LOCAL

A região estudada, insere-se em um conjunto de solos laterizados que cobrem uma espessa camada de solos residuais provenientes da alteração de siltitos, argilitos e folhelhos do Subgrupo Itararé, localmente os sedimentos apresentam-se, geralmente, em camadas sub-horizontais localmente fraturadas associadas a falhas de compressão com componentes de cavalgamento.

Estas rochas em estágio de intensa decomposição intempérica, deram origem à solos saprolíticos estruturados dos sedimentos paleozóicos recobertos localmente por camadas métricas de solos residuais e coluvionares desestruturados, compostos por siltes argilosos.

Pode-se observar a presença – no meio das camadas mais arenosas – de leitos siltosos e folhelhos negros ricos em material carbonoso. As camadas superiores são sucessivamente, sedimentos compostos por silito/argilito amarelo claro com espessura de 1 a 1,5 metro, outra camada de siltitos ou siltes vermelhos intercalados por finos leitos de espessuras centimétricas a decimétricas de siltes brandos a creme, com espessura de cerca de 8 metros e mais superficialmente uma camada de solo (ver foto 7, anexo 2).

11.3.3 ESTUDOS MINERAIS

Nos estudos da mineralogia deste empreendimento têm-se a descrição preliminar de campo, nos indicando por exame tátil-visual a presença de minerais carbonosos de caracteres expansivos.

Estas amostras foram submetidas também a análises por difração de raios-X, que indicaram a presença intrínseca de materiais amorfs, como matéria orgânica e argilas mal cristalizadas. Com principal evidência ocorrem argilo – minerais de camadas mistas entre 25 e 14 Angstrom, de caráter expansivo, possivelmente envolvendo esmectitas, além de caolinita, illita e quartzo.

Amostras ensaiadas

Amostra SE 1

Materiais amorfs: matéria orgânica, argilas malcristalizadas.

Argilo minerais de camadas mistas entre 25 e 14 angstrom, de caracteres expansivos, possivelmente envolvendo argilas do grupo das esmectitas. Além de caolinitas, illita e quartzo (anexo 6, diagrama 1).

Amostra SE 2

Formada por quartzo sericita-muscovita, microclina e caolinita (anexo 6, diagrama 2).

Amostra SE 3

Formada por Óxidos de ferro, quartzo, flogopita ou ilita, caolinita, microclina (anexo 6, diagrama 3).

Amostra SE 4

Materiais amorfos: matéria orgânica, argilas mal cristalizadas.

Argilo minerais de camadas mistas entre 25 e 14 angstrom, de carateres expansivos, possivelmente envolvendo argilas do grupo das esmectitas. Além de caolinita, ilita e quartzo. (anexo 6, diagrama 4).

10.3.4 CARACTERÍSTICAS GEOMECÂNICAS

Observou-se que estas camadas, quando desconfinadas e saturadas, apresentaram comportamento expansivo e com baixa resistência relativa, ocasionando a ruptura dos taludes de corte, conforme ilustrado na foto 8 (anexo 2). Não se têm dados laboratoriais quanto à resistência destes materiais.

A matriz dos solos da área é pouco permeável, o fluxo conduz-se principalmente pelas discontinuidades tais como as fissuras sub-horizontais, dos folhelhos e as juntas e falhas observadas.

O processo de condução de água ao longo das juntas verticais é patente face à descoloração por lixiviação do óxido de ferro ao longo delas por efeito de águas mais ácidas (provavelmente ácidos húmicos).

12. CONCLUSÕES

Através dos dados obtidos neste trabalho se pode dizer que o comportamento geomecânico das rochas carbonosas dependem muito do seu grau de alteração, coerência, fraturamento e condutividade hidráulica, ou seja, em qual classe (nível) de maciço se encontra de acordo com o que foi mostrado na tabela 2.

Foi possível identificar nos empreendimentos através da análise das sondagens e da descrição dos afloramentos e das amostras que à medida que nos aprofundamos no maciço rochoso a qualidade (resistência) das rochas carbonosas aumenta, isso pode ser exemplificado claramente nos logs de sondagem da UHE Serra do Facão onde as sondagens que interceptavam estas camadas em níveis mais elevados se observava um grau de fraturamento e alteração muito superior aos horizontes mais profundos.

Pelos métodos investigativos de petrografia e de difração de raios-X podemos verificar a composição mineral quantitativa, identificado os minerais, as estruturas e a textura constituintes das rochas de cada área estudada, assim como uma análise quantitativa de quanto compreende cada mineral na constituição total de cada rocha analisada.

Através deste estudo se vê que os minerais carbonosos em ambas as UHEs perfaz não mais que 8% do total de cada amostra ou seção analisada, o que não os torna de uma forma geral uma rocha ricamente carbonosa, sendo esta concentração preferencialmente em algumas camadas, onde se compreendem cerca de 70% do total de grafita e 30% de sulfetos e alguns outros metais como a hematita e a magnetita.

Já a difração de raios-x possibilitou identificar de forma mais clara os sulfetos presentes em Serra do Facão (sendo formado por pirrotita e pirita ambas feríferas), o mesmo ocorre nas amostras em Irapé estas investigadas através de seções polidas e os minerais argilosos no Talude da SP-348 que mostraram uma concentração grande de esmectitas em determinados horizontes ensaiados.

Os dados Geomecânicos (quando a realização foi possível) mostram que a rocha apresenta uma resistência dentro dos padrões esperados para um xisto sem a presença de grafita, com valores de resistência a compressão em torno de 100Mpa em Serra do facão e 150Mpa em Irapé.

Já os dados de cisalhamento nos planos de foliação que seriam interessantes a comparação entre os empreendimentos não puderam ser realizados em Irapé, pois segundo os técnicos responsáveis pelo laboratório de mecânica das rochas do IPT e o Geólogo Fábio Magalhães as rochas que se tinha a disposição tinham uma resistência a este tipo de ensaios muito grande, e o equipamento ao invés de nos dar os resultados da resistência na foliação da rocha iria nos dar um valor ideal de Tração do equipamento.

Estes mesmos ensaios realizados na LACTEC nos forneceram valores bons de resistência com tensões normais que variaram de 0,6 a 2,0 Mpa e tensões de pico que variaram entre 2,00 Mpa e 8,00Mpa no pré-ruptura, os resultados pós-ruptura ficaram entre 0,25 e 1,0 Mpa na Tensão Normal e entre 0,3 e 1,95Mpa.

Todavia as ocorrências de camadas ou lentes, destas rochas, associadas a famílias de fraturas, podem ocorrer blocos potencialmente instáveis, tanto na UHE Serra do Facão quanto na UHE Irapé, mesmo em rochas sãs. Estes denominados como blocos-chave, deverá ser estabilizado através de atirantamento para evitar que sua movimentação desencadeie um processo progressivo de quedas no qual poderá ocasionar a instabilidade do maciço onde a resistência intrínseca do maciço rochoso garante a estabilidade da escavação.

Na Rodovia dos bandeirantes os principais aspectos a serem tratados e a expansividade das esmectitas, o que também ocorre nas outro dois empreendimentos através das reações da grafita com os sais sulfatados e a formação de materiais argilosos expansivos do grupo das esmectitas que causam grandes danos, através do fraturamento sucessivo dos taludes.

Ocasionalmente deslizamentos freqüentes dos taludes, sendo necessário o tratamento para este tipo de ocorrência um tratamento que tem um custoso monetário maior através da drenagem do maciço, o abatimento dos taludes e a cobertura por gramíneas (geo-têxteis) ou até mesmo a utilizações de gabiões de enrocamento.

Outro fator importante é que os enrocamentos originários dos Xistos Grafitosos, não podem ser utilizados nas obras. Durante as escavações, este material deverá ser separado e transportado para área de bota-fora, não podendo ser lançado em pilha de estoque, pois contem um grande volume de sulfetos que em pilhas sujeitos a intemperização a céu aberto pela sua concentração de sulfetos e a formação de sais de sulfato o que ocasiona a formação de águas acidas, muito prejudiciais ao empreendimento.

Deve-se ressaltar que os dados obtidos neste trabalho necessitariam de um aprofundamento maior para que se possa obter resultados mais conclusivos, com um maior número de ensaios, análises de campo e análises petrográfica.

No entanto pode-se dizer que os maciços formados com esta constituição mineral se tornam mais frágeis, mas isso devido a sua susceptibilidade a alteração e fraturamento na área de acumulação dos minerais carbonosos.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M.; Melo, M. S. 1981. A Bacia do Paraná e o Vulcanismo Mesozóico. *In*: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000; nota explicativa. São Paulo. p.46-81 (IPT. Monografia, 6).
- Alvarenga, C. J.S.; Uhlein A.; Trompette R. R. 1999. Neoproterozoic glacial and gravitational sedimentation on a continental rifted margin: The Jequitaí--Macaúbas sequence (Minas Gerais, Brazil. UnB, Instituto de Geociências.
- Assine, M.L.; Soares, P.C.; Milani, E.J. 1994. Seqüências tectônicas sedimentares mesopaleozoicas da Bacia do Paraná. *In*: Revista Brasileira de Geociências, v.24, n.2, p.77-89.
- Barbosa, O. 1955. Guia das Excursões. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, V.9, são Paulo. Not... São Paulo: SBG. Not. 3.
- Camargo, M.A.C.M. 2002. Relatório Geológico da Região do Rio São Marcos. *In* Relatório de Projeto Básico da Usina Hidroelétrica da Serra do Facão.
- França, AS.; Potter, P.E. 1988. Estratigrafia ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná. *In*: Boletim de Geociências da Petrobrás, v.2, p. 447-491.
- Franklin, J. A. and Chandra, R. 1972. The slake durability index. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 9:325-342.
- Goodman, R. E. 1989. Introduction to Rock Mechanics. J. Wiley & Sons.562.
- Hargreaves, H. E. F. 1999. Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, Brasil. Escala 1:500.000. Companhia Mineradora de Minas Gerais - COMIG.
- Heath, W.; Saroso, B. S. 1993. Natural Slope Problems related to rods in Java, Indonesia.
- Igarashi, Toshifumi and Oyama Takahiro. 2000. Deterioration of water quality in a reservoir receiving pyrite – bearing rock drainage and its geochemical modeling. *In*: Engineering Geology, p. 45-55.

- Jost, H. Et al. 1994 Litologias, relação de Contato e Estrutura do Bloco Caiamar, Crixás-Goiás. In: Simpósio de Geologia do Centro Oeste, Anais ... Brasília, V.(4) p.18-20
- Lacerda Filho, J. V.; Rezende, A.; Silva, A. 2000. Mapa geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal. Escala 1:500.000. Governo do Estado de Goiás, Ministério de Minas e Energia e Universidade de Brasília.
- Lopes, M. E. 2005. Influencia da xistosidade da Ardósia na orientação dos planos de Corte na Pedreira, In: Boletim de Minas On line. V(37) numero 3.
- Mapa Geológico do Brasil. 2001. Escala 1:5.000.000. Baseada no GIS (sistema de Informação Geográfica). Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia e Serviço Geológico do Brasil.
- Massoll, M. (1991) - Relação entre o embasamento cristalino e os sedimentos basais do Subgrupo Itararé na região de Sorocaba-Salto de Pirapora, SP. São Paulo, 94 p. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- Milani, E.J.; Assine, M.L.; Soares, P.C.; Damon, R.F. 1996. A seqüência ordoviciosiluriana da Bacia do Paraná. In: Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 8, n.2/4, p.257 -273.
- Moreira Filho, R. D.; Magalhães, A. C. 2002. Características geológicas geotécnicas da UHE IRAPÉ – Rio Jequitinhonha – MG.
- Moreton, L. C. 1994. Programa Levantamento Geológicos básicos do Brasil – PLGB. Folha SE.22-V-B-IV – Goiás Escala 1:100.000. Goiânia: CPRM/DNPM.
- Nieble, C. M. 2002. Relatório de vista Técnica, UHE Serra do Facão.
- Oliveira, J. R. P. 1989. Comportamento estrutural dos Grupos Macaúbas e Bambuí na porção centro-norte de Minas Gerais. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Queiroz, W.P.; Renger, F.E.; Almeida-Abreu, P.A.; SIAL, A.N. 2003. Grupo Macaúbas nos arredores de Conto de Magalhães de Minas (MG): caracterização litológica e faciológica dos depósitos glaciogênicos.
- Ramos, A. N.; Formoso, M. L. L. 1975. Argilo minerais das rochas sedimentares da Bacia do

Rocha Campos, A.C. 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. *In: J.J Bigarella, R.D.Becker & I.D.Pinto eds., Problems in Brazilian Gondwana Geology. Proceedings International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Paleontology, p. 27-102.*

Rocha Campos, A.C. 1983. Correlation of the Carboniferous of South America. *In: Congresso Internacional de Estratigrafia y Geologia del Carbonifero, 10, Spain, 1983. Abstracts. Spain, Consejo Nacional Geológico Madrid. 343 p.*

Sadowski, G.R.2001. Trabalho Inédito.

Schneider, R L.; Mühlmann, H; Tommari, E.; Medeiros, RA.; Daemon, RF.; Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28. , Porto Alegre, 1974. Anais. Porto Alegre, SBG. v.1, p. 41-65.*

Seer, H. J.; Brod, J. A.; Fuck, R. A. 2001. Grupo Araxá em sua área tipo: um fragmento de costa oceânica Neoproterozóica na faixa de dobramento Brasília. *In Revista Brasileira de Geociências V 31 (3): 385-396.*

Soares, P.C.; Landim, P. M. B.; Fúlfaro, V. J.; Amaral, G.; Suguio, K.; Coimbra, A.M.; Sobreiro Neto, A. C.; Giancursi, F. D.; Correa, W. A. G.; Castro, C. G. J. 1979. Geologia da região sudoeste do Estado de São Paulo. *In: Simpósio Regional de Geologia, 2, Rio Claro, 1979. Atas. Rio Claro, SBG, v. 2, p. 307-319.*

Soares, P. C.; Landim, P. M. B.; Sinelli, O.; Wernick, E.; WV, T. F. T.; Flori, A. P. 1977. Associação litológica do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental. *In: Revista Brasileira de Geociências, v.7, n. 2, p. 131-149.*

Trompette, R. 1994. Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma). Balkema: Rotterdam p. 350.

Underwood, L. B. 1967. Classification and identification of shales. *J. soil Mech. Found. Div. (ASCE) 93 (SM6):97-116.*

Zálan, P. V.; Conceição, J. C. J.; Wolf, S.; Astolfi, M. A. M.; Vieira, I. S.; Appi, V. T.; Zanotio, O. A. 1987. Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná. *In: Simpósio Sul Brasileiro*

de Geologia, 3., Curitiba. 1987. Atas, Curitiba, SBG. v.1. p. 441-477.

SITE :

Site oficial da barragem de irapé: www.irape.com.br

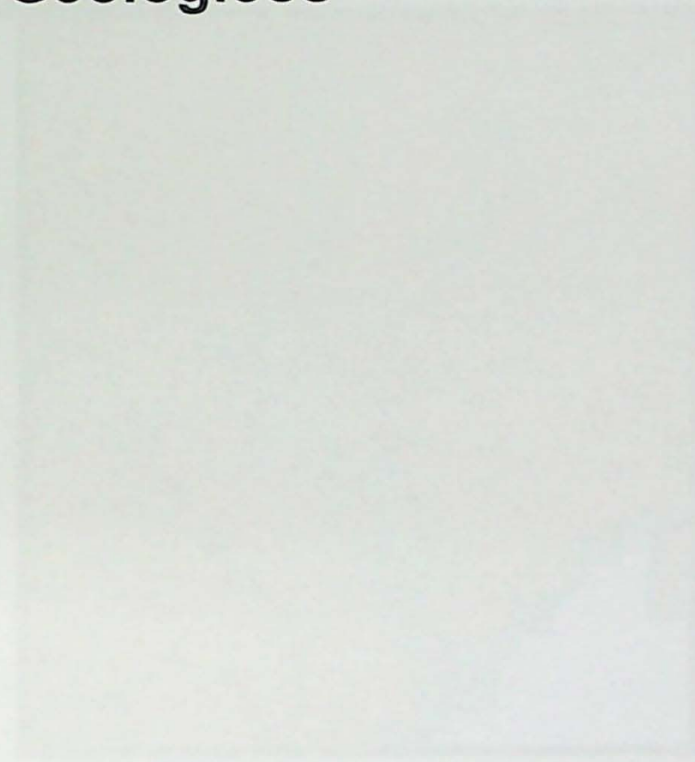
Site oficial da CEMIG: www.cemig.gov.br

ANEXO 1

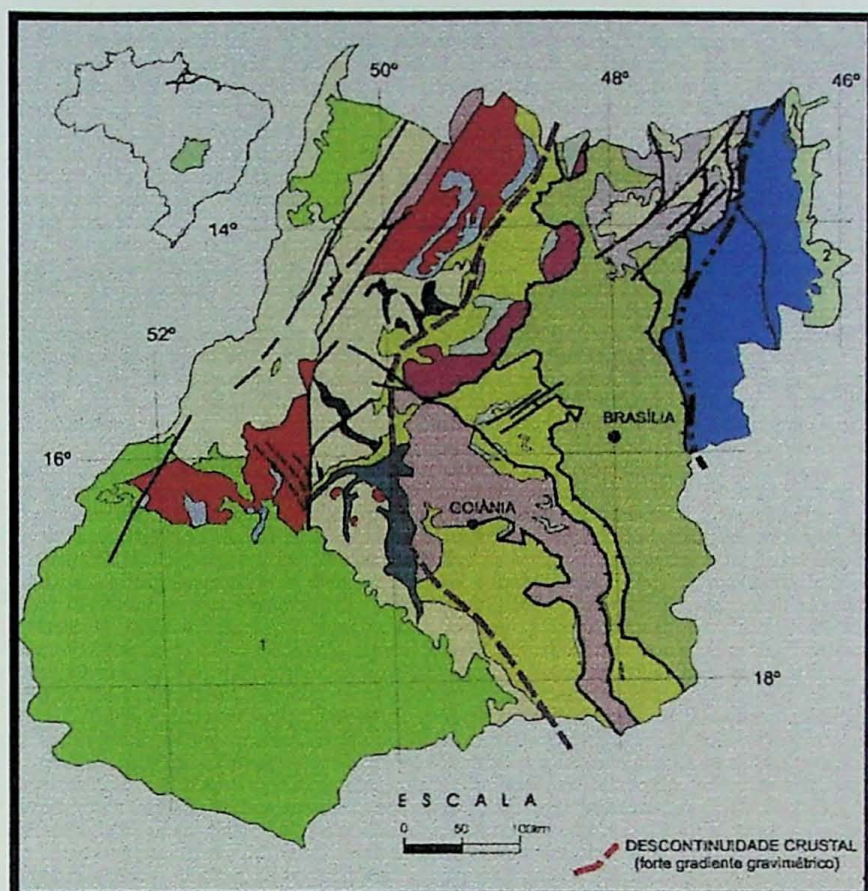
Mapas Geológicos

Legenda

Unidade Geológica

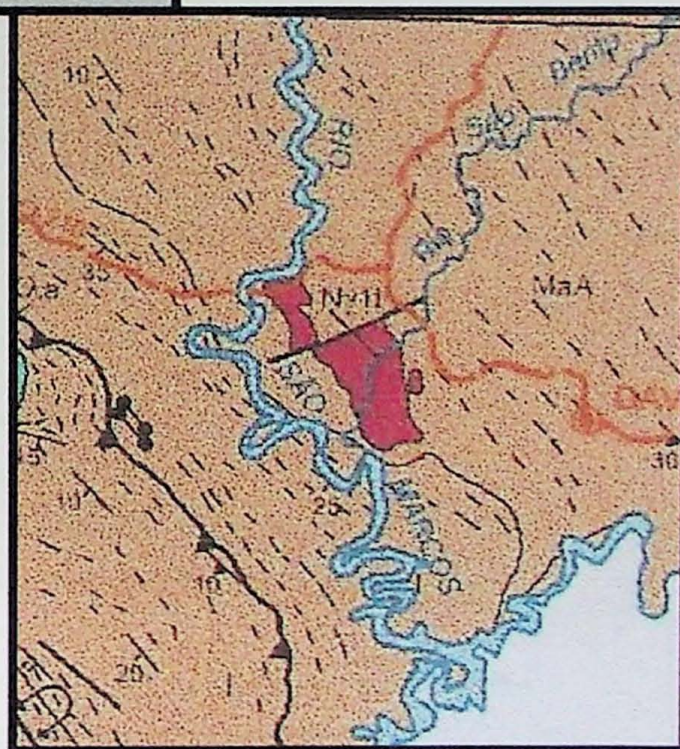


Mapa Geológico- UHE Serra do Facão



Mapa Regional

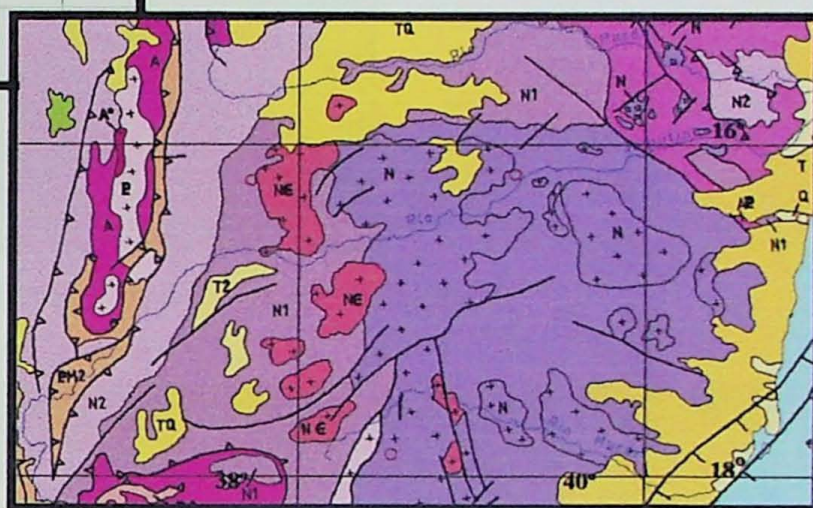
-  Rochas Meso-Proterozóica, do grupo Araxá metamórficas formadas por xistos
-  Rochas Neo-Proterozóica, corpos de granitos tipo Ipameri e corpos de rochas ultrabásicas



Mapa Geológico- UHE IRAPÉ



Mapa Regional



Mapa Local Estudado

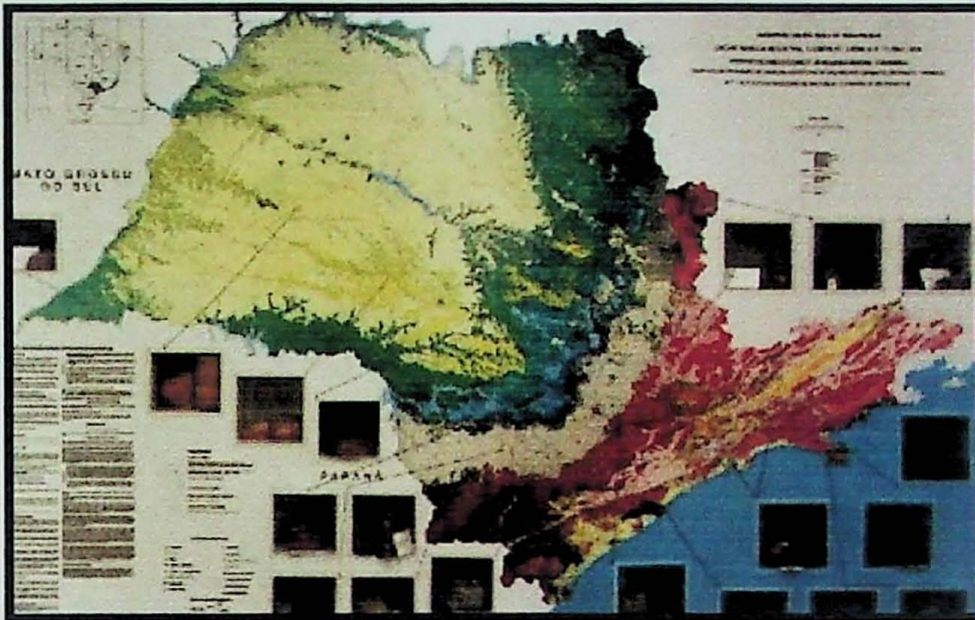
Modificado de Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Brasil. 1999. COMIG (Companhia Mineradora de Minas Gerais)

Legenda

A*	Rochas Arqueanas, Green stone Belt ou alguma unidade similar
Ae	Rocha Metamórficas, Arqueanas a Paleoproterozóica de médio a alto grau metamórfico
P	Rochas Paleoproterozóica plutônicas Ácidas do grupo Macaúbas
eM2	Rochas Metamórficas Paleo a Meso proterozoicas de alto a altíssimo grau metamórfico do Grupo Canastra
NE/2	Rochas Neoproterozóica plutônicas Ácidas do grupo Macaúbas
N	Rochas Neoproterozóica plutônicas e metamórficas de médio a baixo grau metamórfico do grupo Macaúbas
N1	Rochas metamórficas Neoproterozóica de médio a alto grau metamórfico do grupo Macaúbas
TQ	Rochas sedimentares Terciária / Quaternária
T	Rochas sedimentares Terciárias
T 2	Rochas sedimentares Quaternária

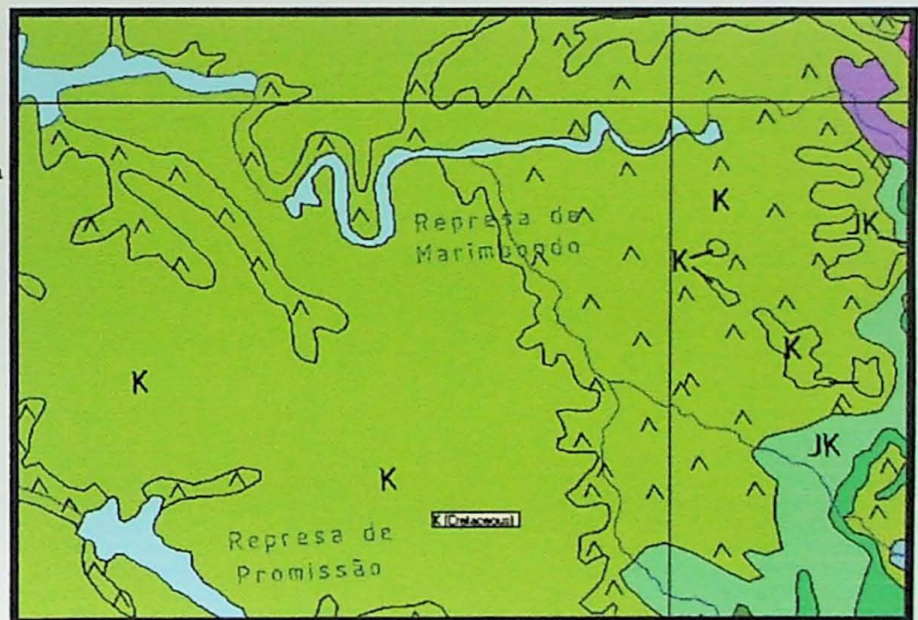
Mapa geológico – 1b

Mapa Geológico- Talude/ viadutos da Rodovia SP-348



Mapa Geológico do do Estado de São Paulo – IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica).

- K** Rochas Cretáceas Básicas e sedimentos de mesma idade pertencentes a Bacia do Paraná,
- JK** Rochas Cristalinas Migmatitos Granitos/ Gnaiss, Proterozóica.



Modificado de Mapa Geológico do Brasil. 2001 . CPRM (Serviço Geológico do Brasil)

ANEXO 2

Fotografias dos empreendimentos

UHE - Serra do facão



FOTO 1: Eixo da Barragem - Serra do Facão, Camargo, M. A. C. M. 2002

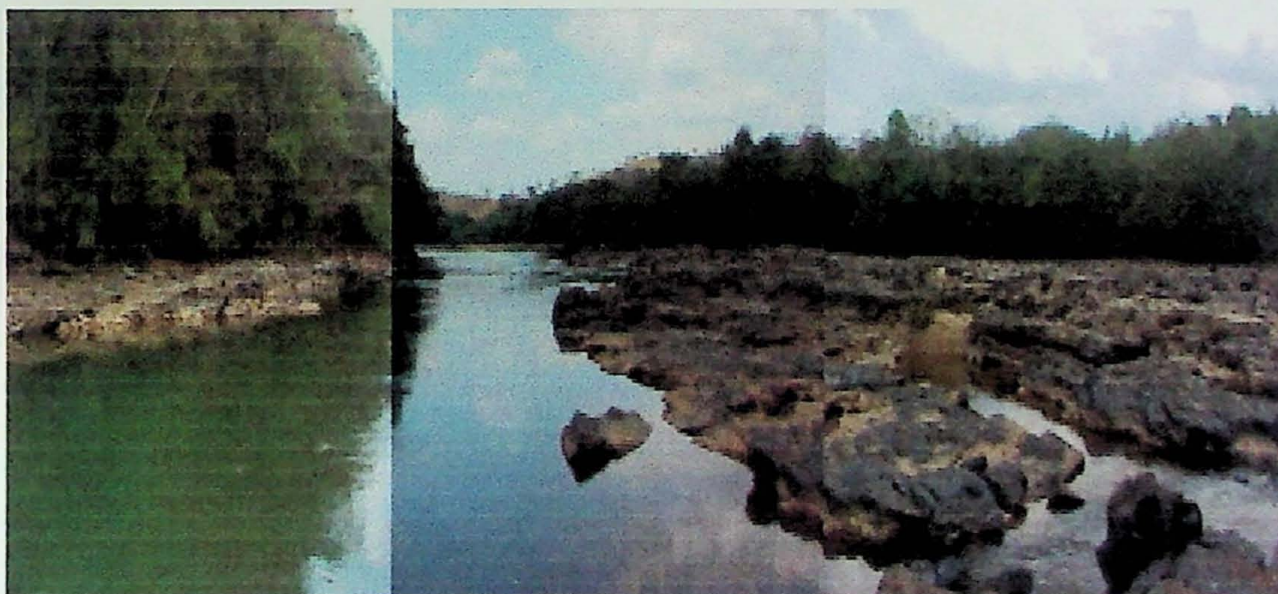


FOTO 2: Leito do rio se localiza o eixo da Barragem, vista de jusante para montante - Serra do Facão, Camargo, M. A. C. M. 2002



FOTO 3: Montante do eixo da Barragem vista de jusante para montante
- Serra do Facão, Camargo, M. A. C. M. 2002



FOTO 4: Ombreira esquerda do eixo da Barragem - Serra do Facão, Camargo, M. A. C. M. 2002

UHE Irapé



FOTO 5: Fase de construção da barragem e casa de força de Irapé, vista para ombreira esquerda. Com um plano principal para jusante do empreendimento – site www.irape.com.br 2004



FOTO 6: Fase de construção da barragem e vertedouro de Irapé, vista da ombreira direita e do elxo da barragem – site www.irape.com.br 2004

Rodovia dos Bandeirantes – SP 348

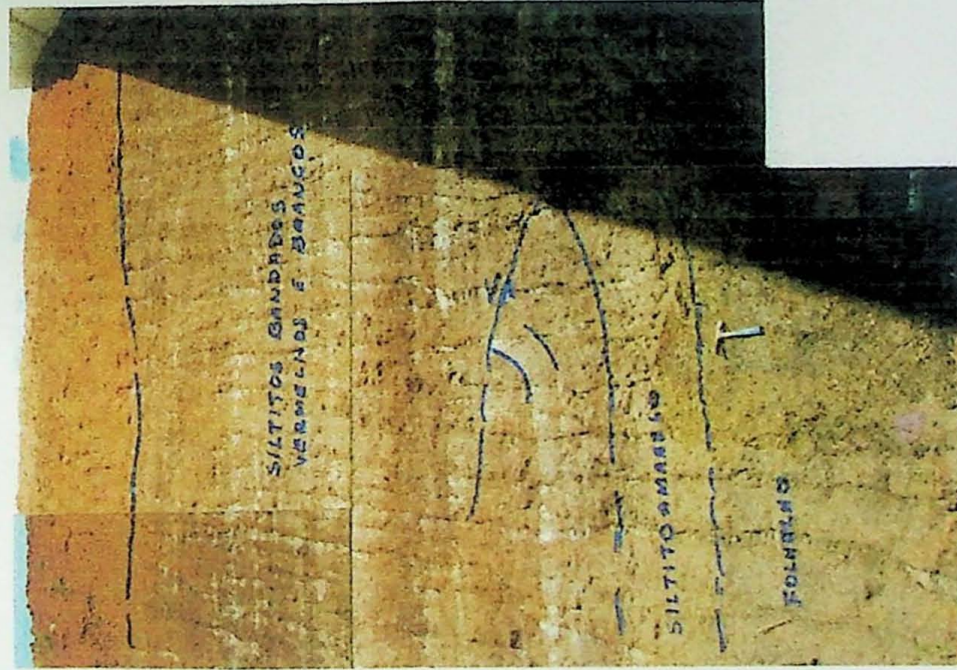


FOTO 7: Sequência litostratigráfica típica da região, trechos com argilas ricas em material carbonoso, de provável origem orgânica, camadas superiores compostas por siltito/argilito e outra de siltitos ou siltes vermelhos intercalados por camadas de siltes brancos e mais superficialmente uma camada de solo, Sadowski 2001.



FOTO 8: Sob o viaduto, observar a extensão da camada de folhelho argilto negro capeado, pelos siltitos vermelhos bandados e falhas que mergulham para dentro do talude, o que promove uma maior estabilidade, Sadowski 2001.

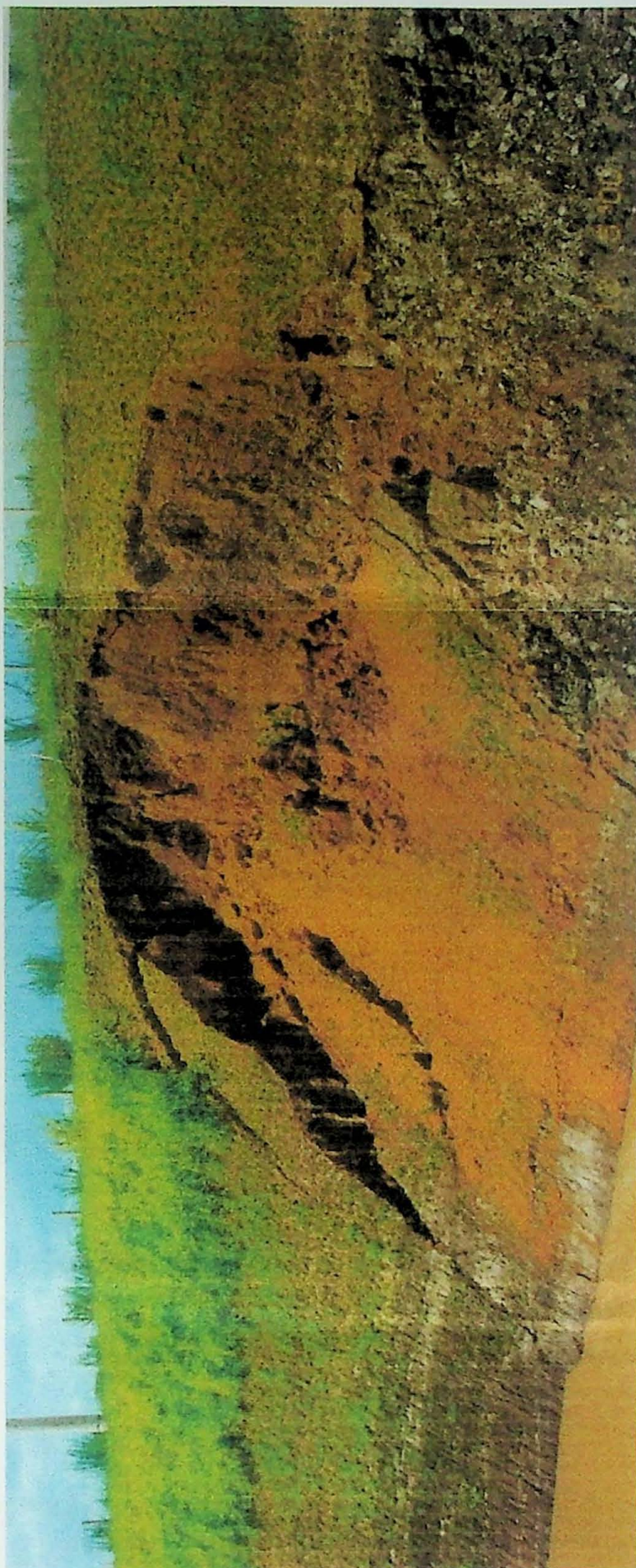


FOTO 9: Ruptura conchoidal na estrada que afeta o solo desestruturado do topo e o solo residual vermelho bandado com camadas claras. O pé é encoberto por grande acúmulo de água o que provavelmente é proveniente do substrato de argila pouco permeável e extremamente rígido, Sadowski 2001.



FOTO 10: Dois deslizamentos no corte da estrada. A base das fraturas, neste afloramento, localizam-se em camadas de argilitos negros com espessura decimétrica, Sadowski 2001.



FOTO 11: Juntas verticais de atitude N30/40E cortando os siltitos vermelhos (paredes lixviadas por ação de percolação), Sadowski 2001.

ANEXO 3

Fotografia de Amostras - Fotomicrografia de Seções polidas e delgadas

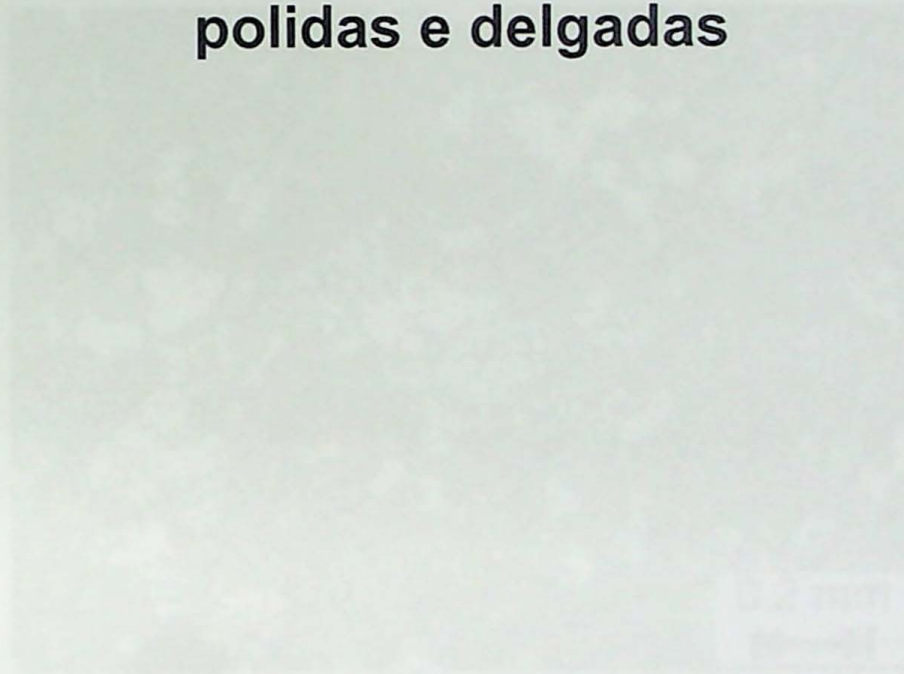


Foto 3-1 - Fotomicrografia de uma amostra de aço 1045, etilada em solução aquosa de nitrato de cobre, mostrando a estrutura de grão. A escala de 0,2 mm está indicada no canto inferior direito.

Serra do Facão



Foto Pa - I – fotografia do testemunho de sondagem de um grafita-muscovita-quartzo xisto rico grafita da sondagem SM –128 respectivamente a 54 e 55,5 metros de profundidade, plano de cisalhamento, junto a concentração de grafita.

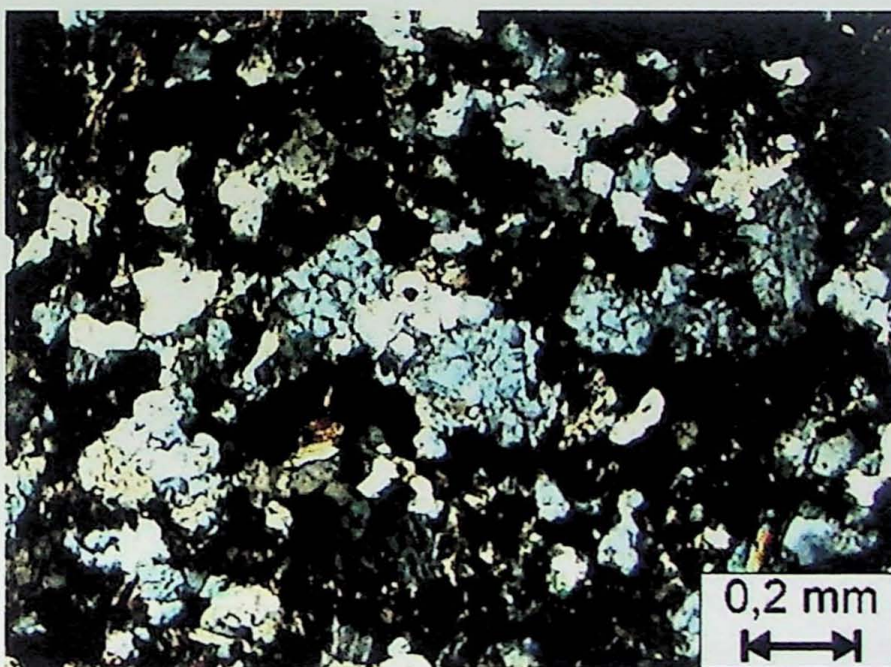


Foto P - I - Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em sulfetos e grafita Imagem em falsa cor com Luz Polarizada. A textura granoblástica pode ser caracterizada pela forma subangulosa dos cristais de quartzo e albita (com cores cinzas-claro a branca). Entre esses minerais é possível observar, minerais opacos (grafita, sulfetos e óxidos de ferro).

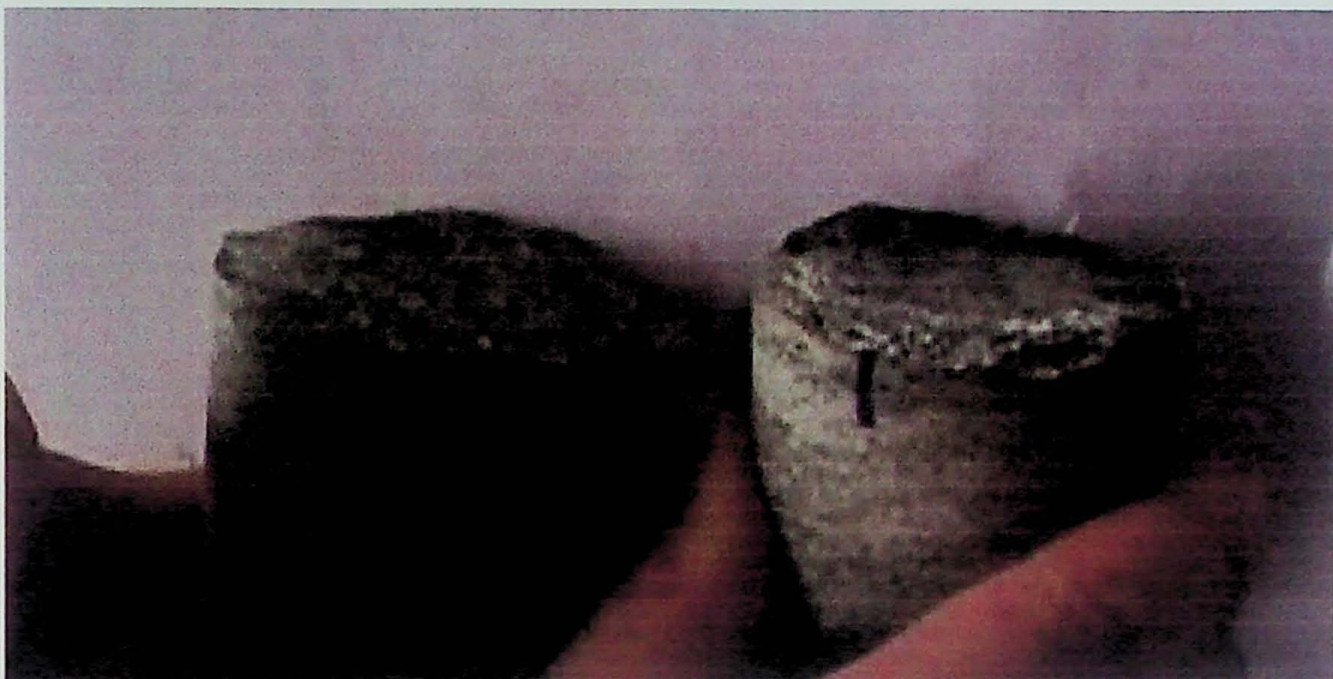


Foto Pa - I I – fotografia do testemunho de sondagem de um grafita-muscovita-quartzo xisto rico grafita da sondagem SM – 128 respectivamente a 35 e 37,5 metros de profundidade mostrando um plano de falha bem claro



Foto P - II - Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em sulfetos (amostra SR-106 - 37,50m) apresentando aspectos estruturais (clivagem de crenulação) e texturais desenhados por quartzo (material branco), muscovita e clorita (filetes e agregados orientados levemente coloridos) e os minerais opacos (material preto). Nicóls paralelos a esquerda e nicóls cruzados a direita, ambas com aumento de 40 vezes.

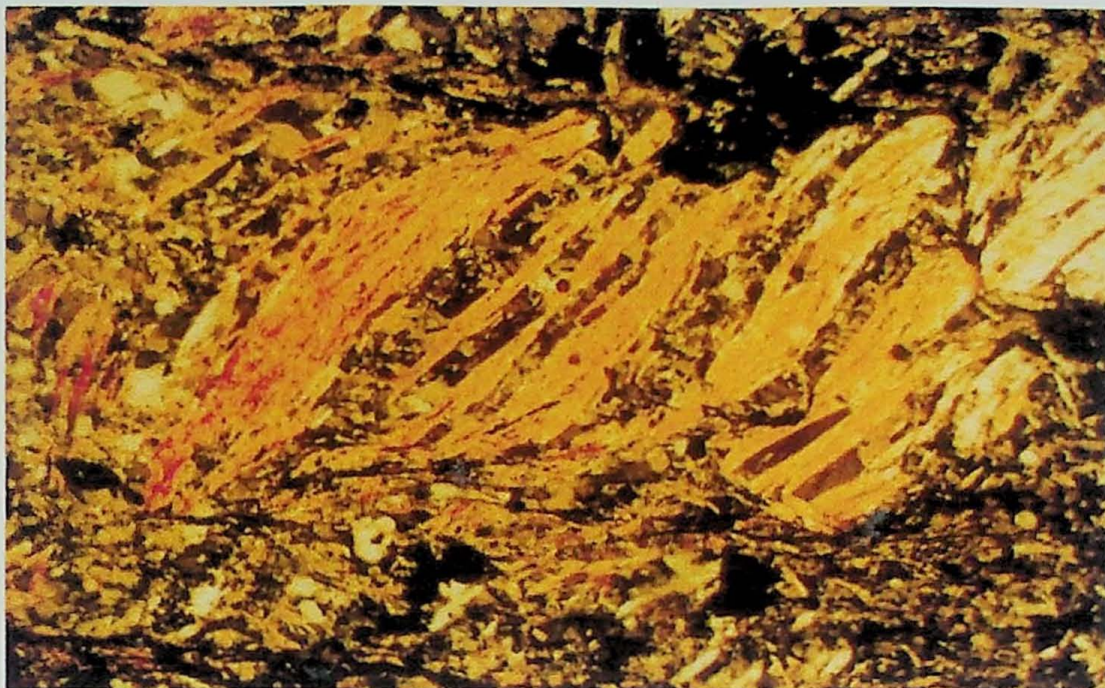


Foto P- III - Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em sulfetos (amostra SR-106 - 37,50m) exibindo detalhes de sigmóides de mica, resultantes do desenvolvimento da clivagem de crenulação. Os cristais de muscovita dispõem-se obliquamente a clivagem de crenulação e na foto pode ser reconhecido também quartzo e minerais opacos. Nicóis cruzados, aumento 40 vezes.



Foto P - iv – Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto com sulfetos e hematita mostrando aspecto estrutural e textural onde se observam dobras, de uma foliação anterior evidenciada pelo quartzo, muscovita e minerais opacos delimitados pela clivagem de crenulação marcada pela concentração de minerais opacos e muscovita. Nicóis paralelos a esquerda e nicóis cruzados a direita ambas com aumento de 40 vezes.

Lâminas de Irapé
Sondagem SR-IV-156



Fotos Pa - III - Testemunho de sondagem, utilizado para a descrição petrográfica, onde observamos uma foliação bem marcada, com concentração de sulfetos e grafita em camadas preferenciais, junto à foliação.

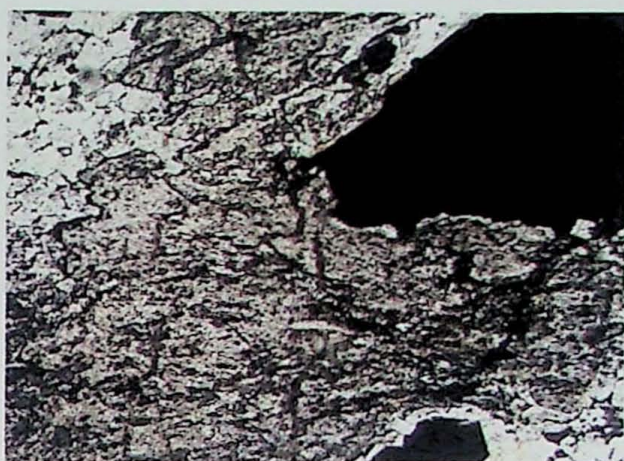
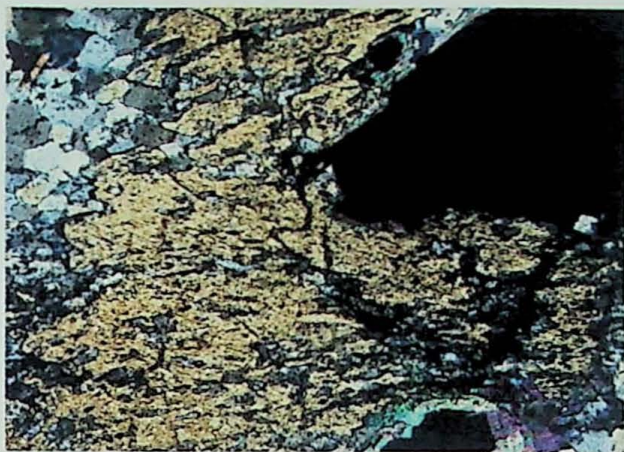


Foto P - v- (SR-IV-156-II) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em sulfetos, com contato da porção granoblástica no canto NW da foto e lepdoblástica na maior porção da foto. Nicóis polarizados a esquerda e paralelos a direita ambas com aumento de 10x.

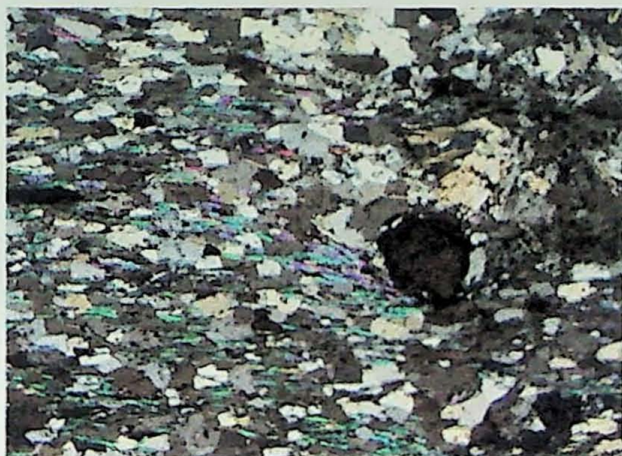


Foto P - vi (SR-IV-156-II) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em quartzo, com uma granada rotacionada, de gênese anterior a xistosidade principal da rocha. Esta porção tem uma textura característica da porção granoblástica. Nicóis polarizados a esquerda e nicóis paralelos a direita ambas com aumento de 40x.

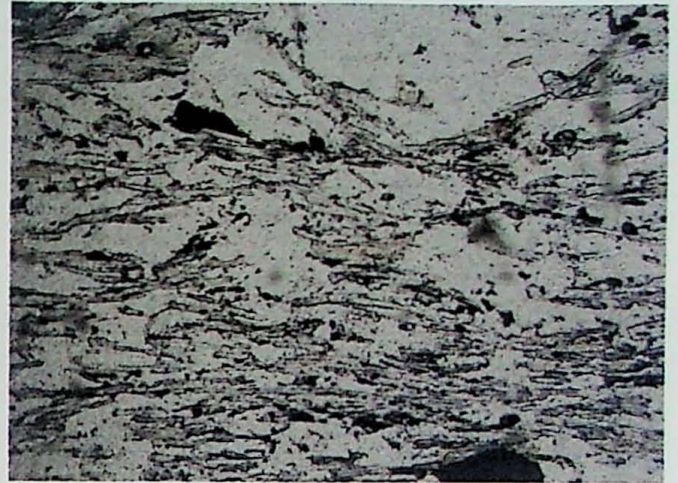
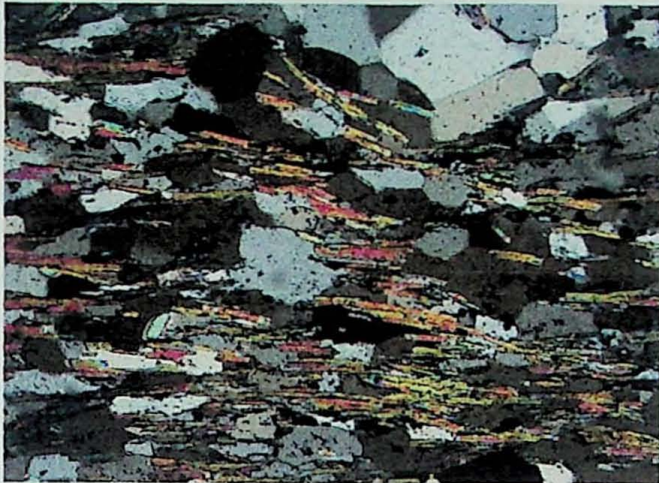


Foto P - vii (SR-IV-156-I) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em quartzo.

Esta porção tem uma textura característica da porção granoblástica.

Nicóis polarizados a esquerda e nicóis paralelos a direita ambas com aumento de 10x.

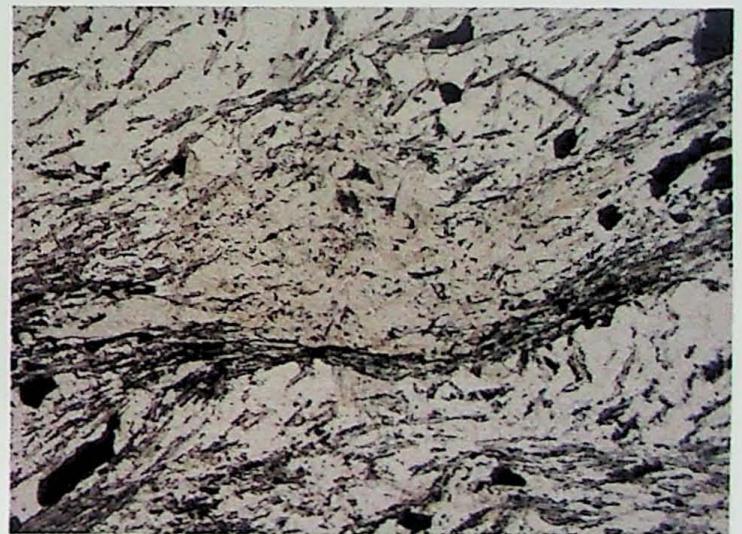
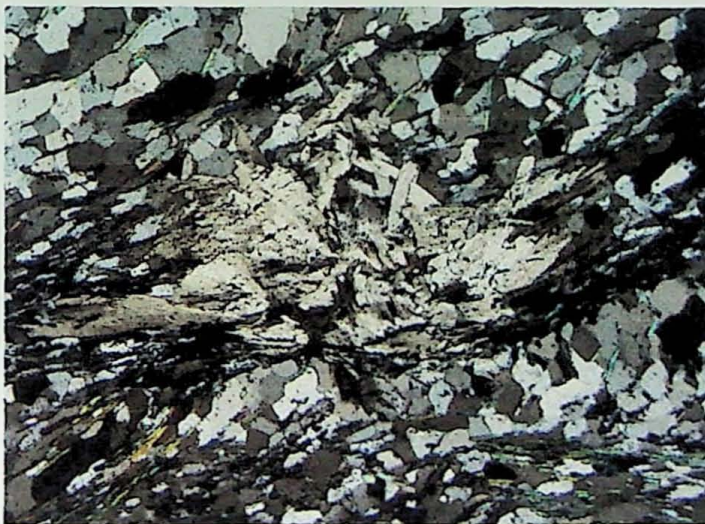


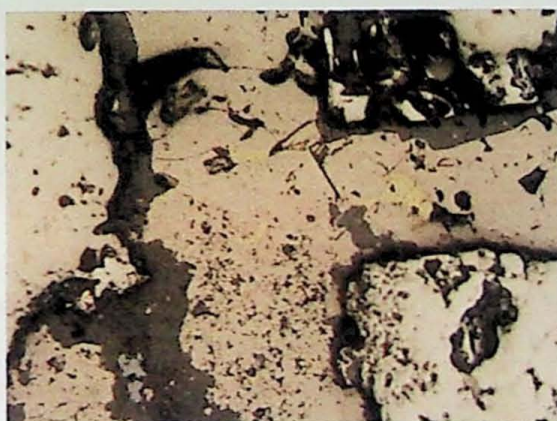
Foto P - viii (SR-IV-156-I) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em quartzo.

Esta porção tem uma textura característica da porção lepidogranoblástica .

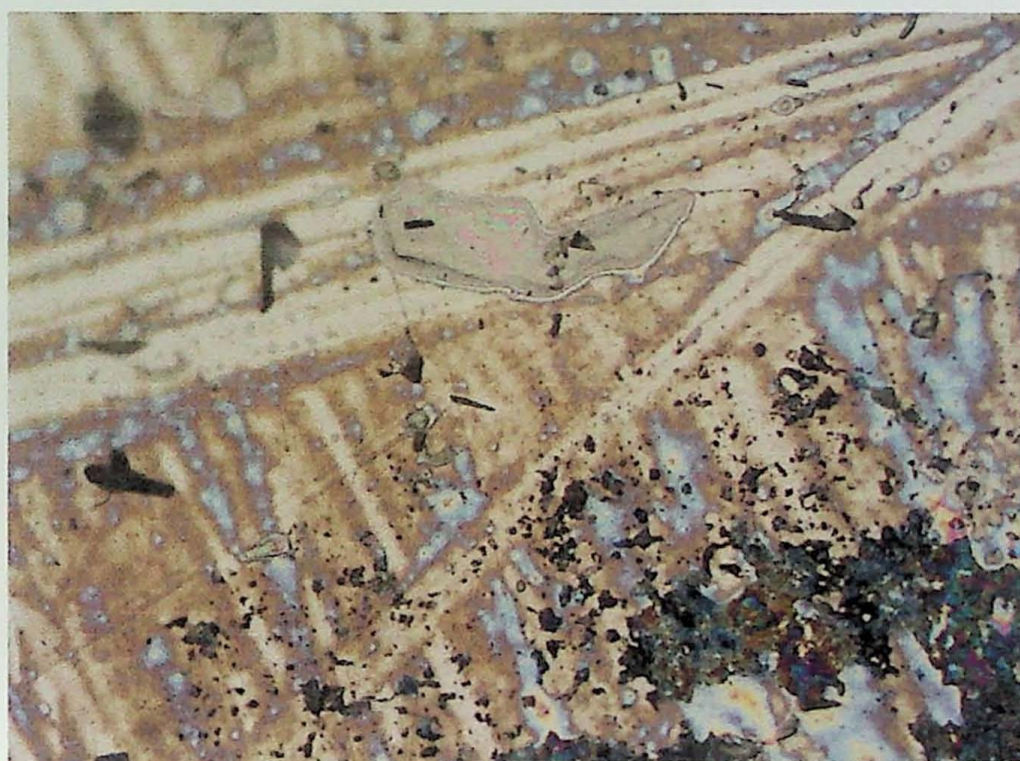
Nicóis polarizados a esquerda e nicóis paralelos a direita ambas com aumento de 10x.



FotoS P - I (SR-IV-156) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto com cristais de Pirrotita com inclusões de cristais de calcopirita e uma área alterada a esquerda da fotografia . Aumento de 8x e Intensidade de luz 10, por método reflexivo.



FotoS P -ii (SR-IV-156) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto com cristais de Pirrotita com inclusões de cristal de calcopirita arredondado, esmectitas e uma possível Marcassita e Hematita. Aumento de 4x, 50x e 8x Intensidade de luz 8, por método reflexivo.



FotoS P -III (SR-IV-156) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto com cristais de Pirrotita com muitas inclusões esmectitas, hematita e magnetita em todo o cristal, e diversas áreas de alteração evidenciando a fragilidade deste tipo de mineral a oxidação . Aumento de 4x, 8x e 16, respectivamente com intensidade de luz 10, por método reflexivo.

Sondagem SR-VT-01



Fotos Pa – IV - Testemunho de sondagem, utilizado para a descrição petrográfica, onde observamos uma foliação bem marcada, com concentração de sulfetos e grafita em camadas preferenciais.



Foto P - ix (SR-vt-01-ii) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em quartzo. Com grande concentração de opacos placóides possivelmente grafita. Nicóis polarizados a esquerda e paralelos a direita ambas com aumento de 10x.

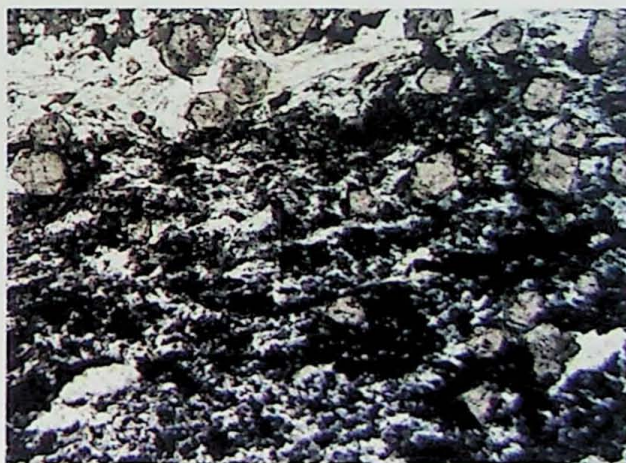
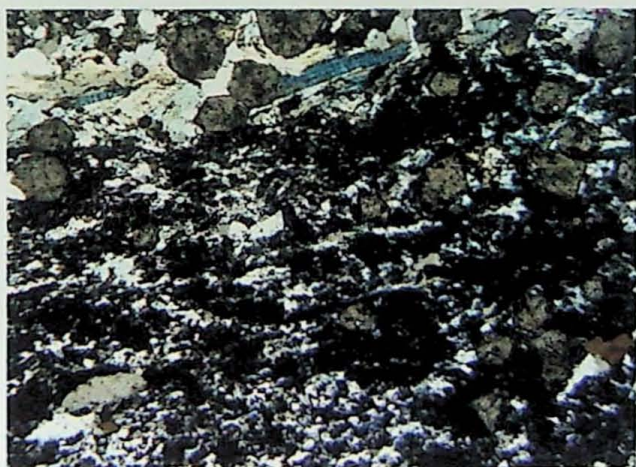


Foto P - x (SR-vt-01-ii) Fotomicrografia de biotita - grafita- granada- muscovita- quartzo xisto. Com grande concentração de grafita e granadas rotacionadas. Nicóis polarizados a esquerda e paralelos a direita ambas com aumento de 4x.

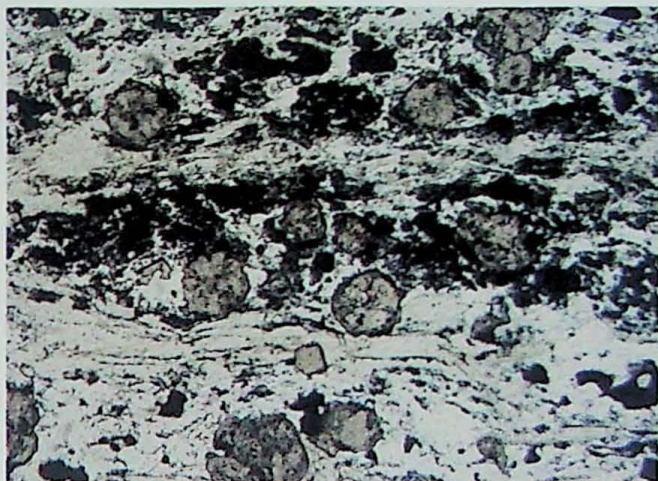
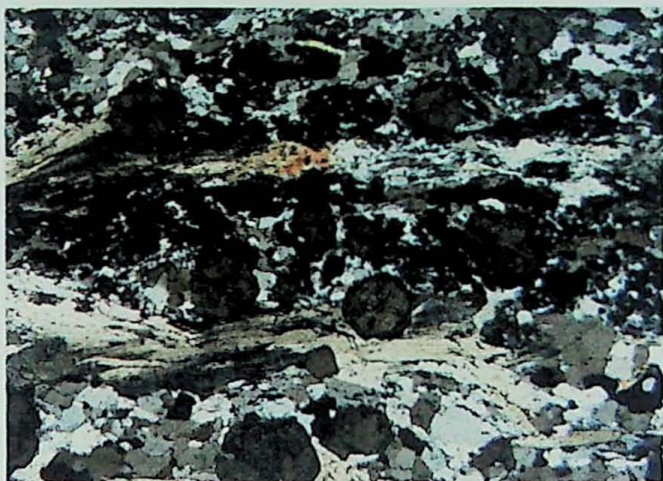


Foto P – xi (SR-vt-01-ii) Fotomicrografia de biotita - grafita- granada- muscovita- quartzo xisto. Com grande concentração de grafita e granadas rotacionadas. Nicóis polarizados a esquerda e paralelos a direita ambas com aumento de 4x.

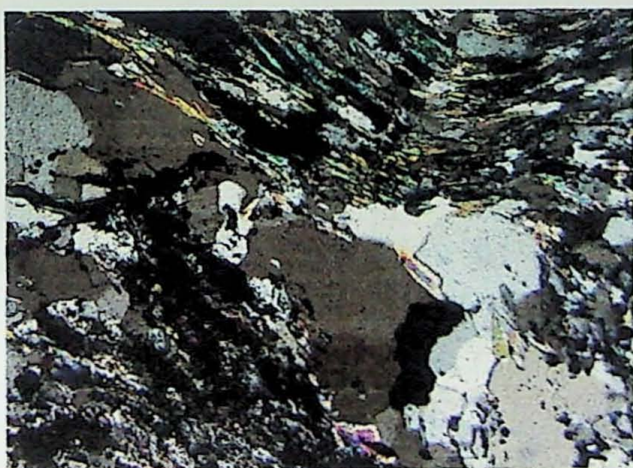


Foto P – xii (SR-vt-01-ii) Fotomicrografia de biotita - grafita- granada- muscovita- quartzo xisto. Com grande concentração de micas e opacos (sulfetos e grafita principalmente), mostrando um dobramento bem pronunciado entre as duas camadas com textura lepidobástica, cortadas por uma camada granoblástica com grandes cristais de quartzo . Nicóis polarizados a esquerda e paralelos a direita ambas com aumento de 10x.

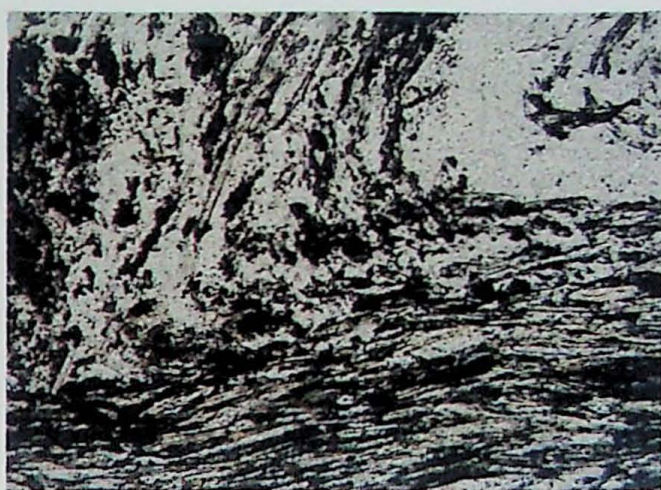


Foto P – xiii (SR-vt-01-ii) Idem ao anterior em um aumento de 20x. Nicóis polarizados a esquerda e paralelos a direita, que mostra claramente que a formação dos opacos é anterior ao evento Sn+1, a foliação principal da rocha.

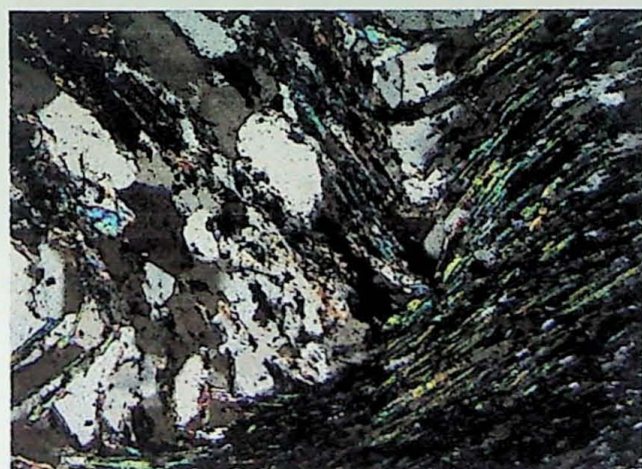


Foto P – xiv (SR-vt-01-ii) Fotomicrografia de biotita - grafita- granada- muscovita- quartzo xisto. Com grande concentração de micas e opacos (sulfetos e grafita principalmente), mostrando um dobramento bem pronunciado lepidogranoblástica com grandes cristais de quartzo . Nicóis polarizados a esquerda e paralelos a direita ambas com aumento de 10x.

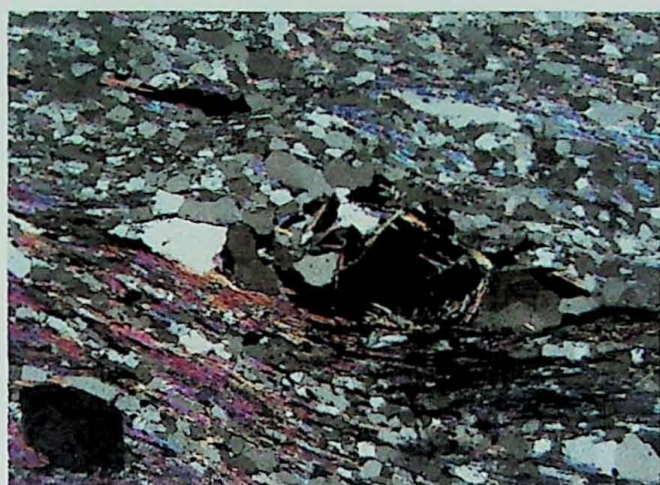


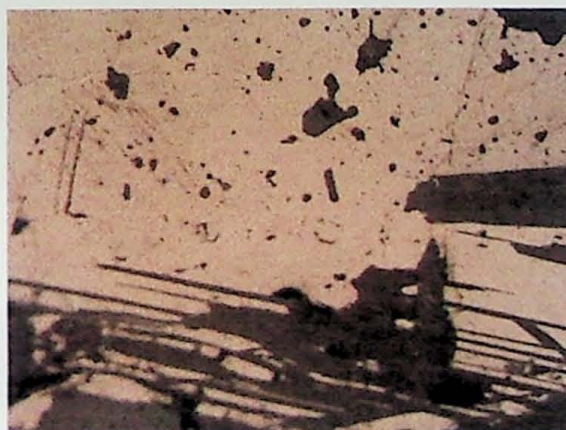
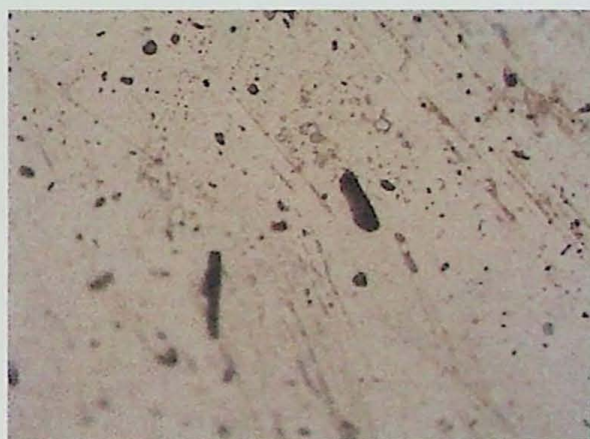
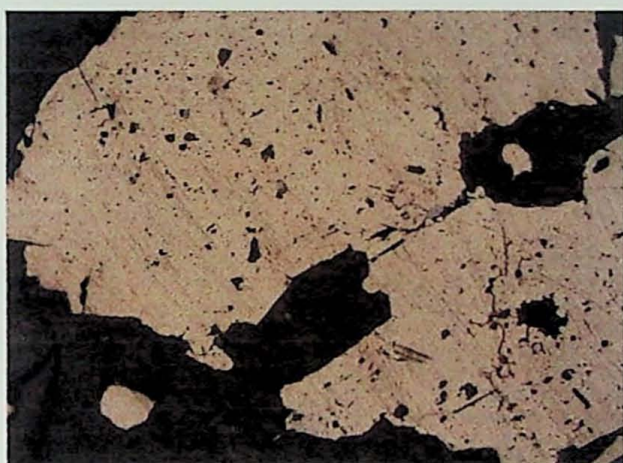
Foto P - xv (SR-vt-01 I) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em quartzo, com concentração de opacos (sulfetos e grafita) rotacionadas e arredondadas, de gênese anterior a xistosidade principal da rocha. Esta porção tem uma textura característica da porção granoblástica. Nicóis polarizados a esquerda e nicóis paralelos a direita ambas com aumento de 4x.



Foto P - xiv (SR-vt-01-I) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto rico em quartzo, com uma granada rotacionada, de gênese anterior a xistosidade principal da rocha. Esta porção tem uma textura característica da porção granoblástica. Nicóis polarizados a esquerda e nicóis paralelos a direita ambas com aumento de 4x.



FotoS P - IV (SR-vt-01) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto com cristais de pirrotita de forma granular alotrimorficos associado a algumas poucas piritas e um cristal de calcopirita.
Aumento de 4x e Intensidade de luz 6, por método reflexivo.



FotoS P - V (SR-vt-01) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto com grande cristal de Pirrotita que apresentam diversos minerais inseridos em seu cristal como quartzo, feldspatos além de grafita e alguns outros sulfetos como a pirita e a calcopirita. Aumento de 4x, 50x e 10x respectivamente e Intensidade de luz 6, por método reflexivo.

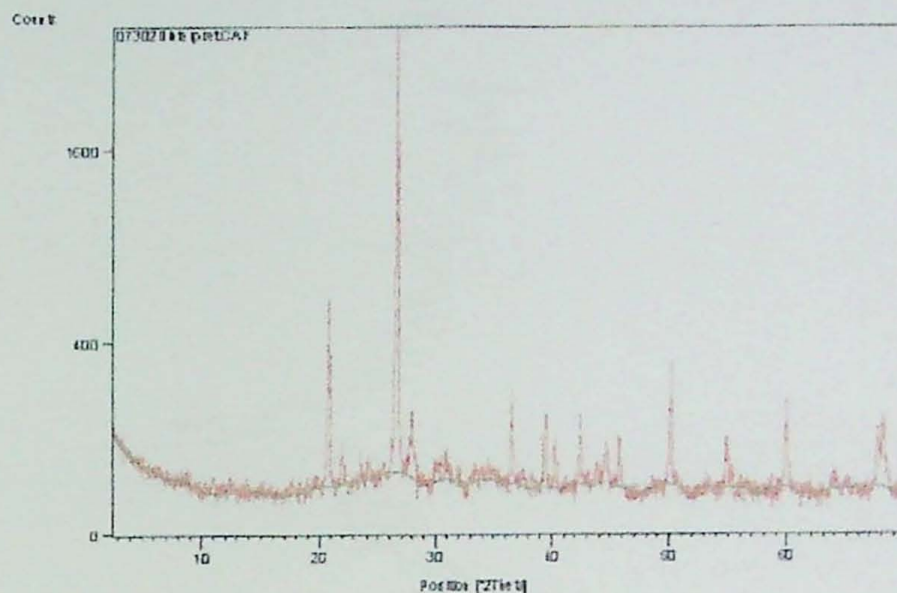


FotoS P - VI (SR-vt-01) Fotomicrografia de grafita-muscovita-quartzo xisto com cristais de Pirrotita e Pirita alem de cristais de grafita muito bem formados dispersos nesta proção. Aumento de 8x e Intensidade de luz 10.

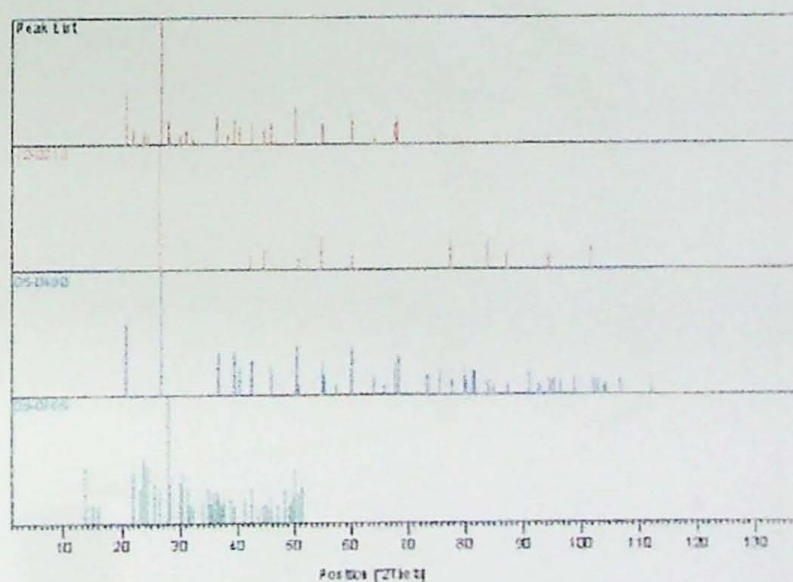
ANEXO 4

Espectrogramas – Difração de Raios X

Amostra da UHE Serra do Facão

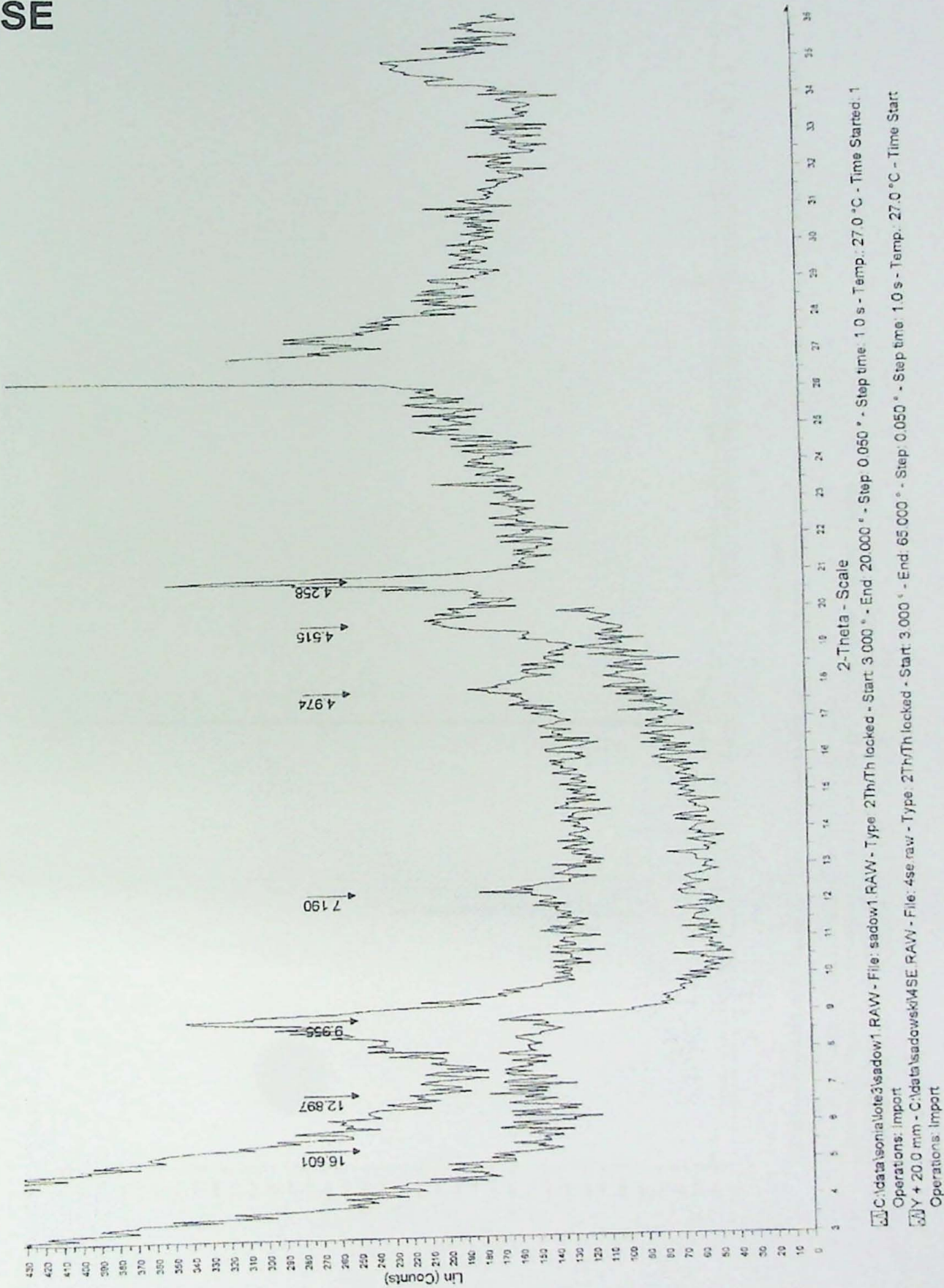


Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ. [°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
*	12-0212	19	Graphite	0,000	0,111	C
*	05-0490	71	Quartz, low	0,000	0,707	Si O ₂
*	09-0466	33	Albite, ordered	0,000	0,054	Na Al Si ₃ O ₈

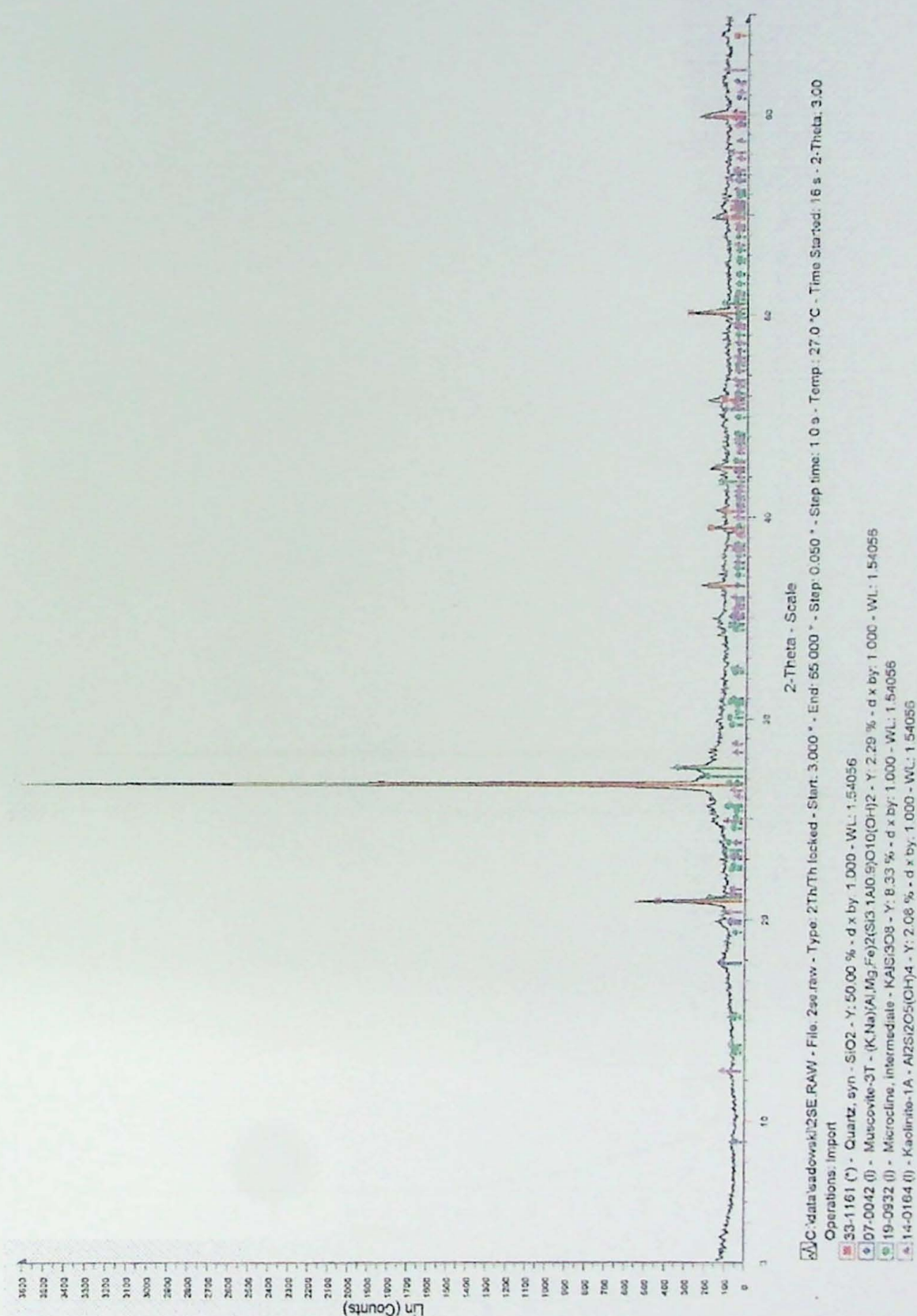


Amostra da Rodovia dos bandeirantes

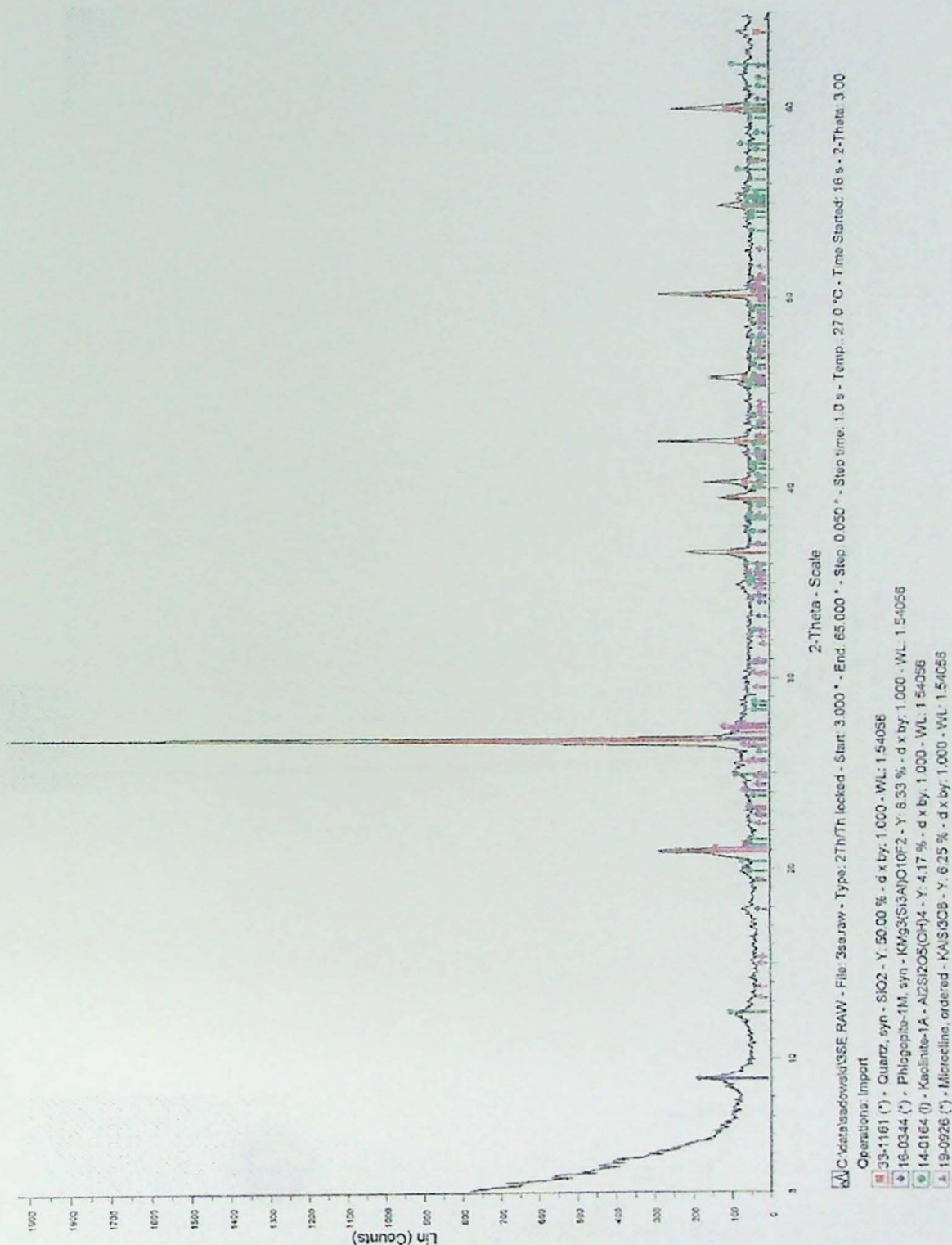
1SE



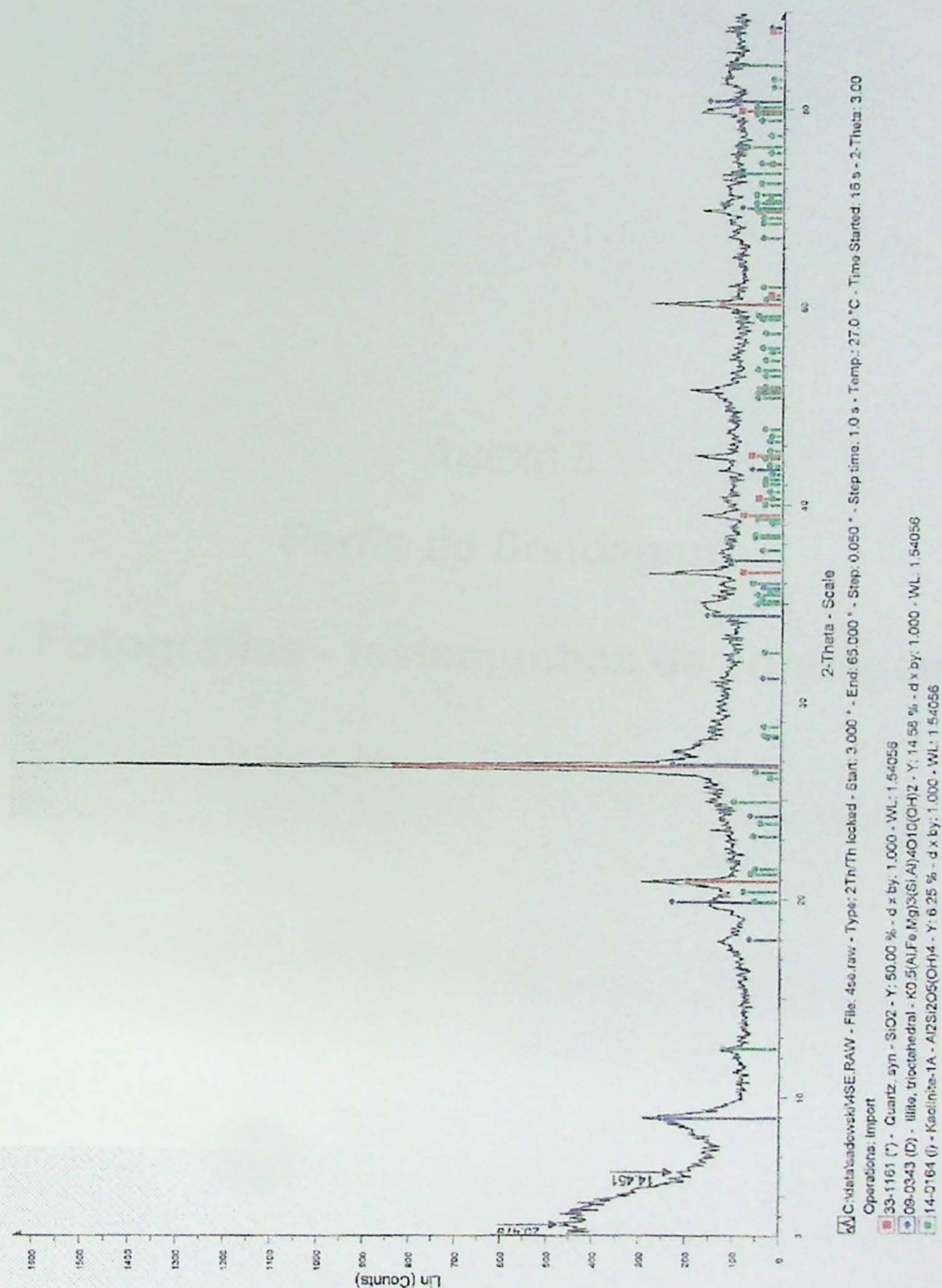
2SE



3SE



4SE



ANEXO 5

Perfis de Sondagem

Fotografias - testemunhos de sondagem

[illegible]

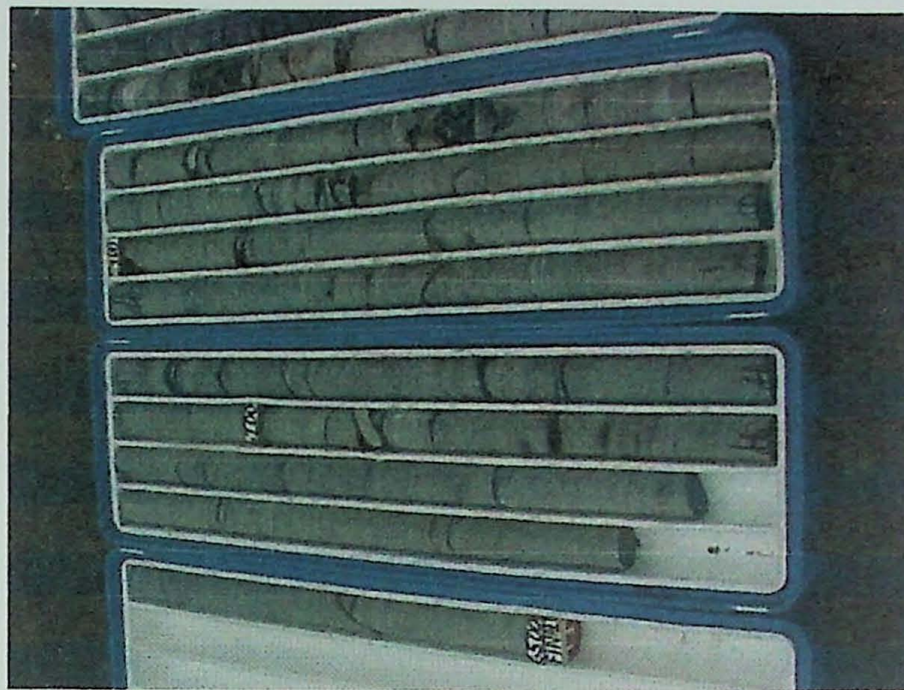
Fotos das caixas de sondagem de interesse da sondagem SM-128



Caixas 13 - 14



Caixas 15- 16



Caixas 17 - 18

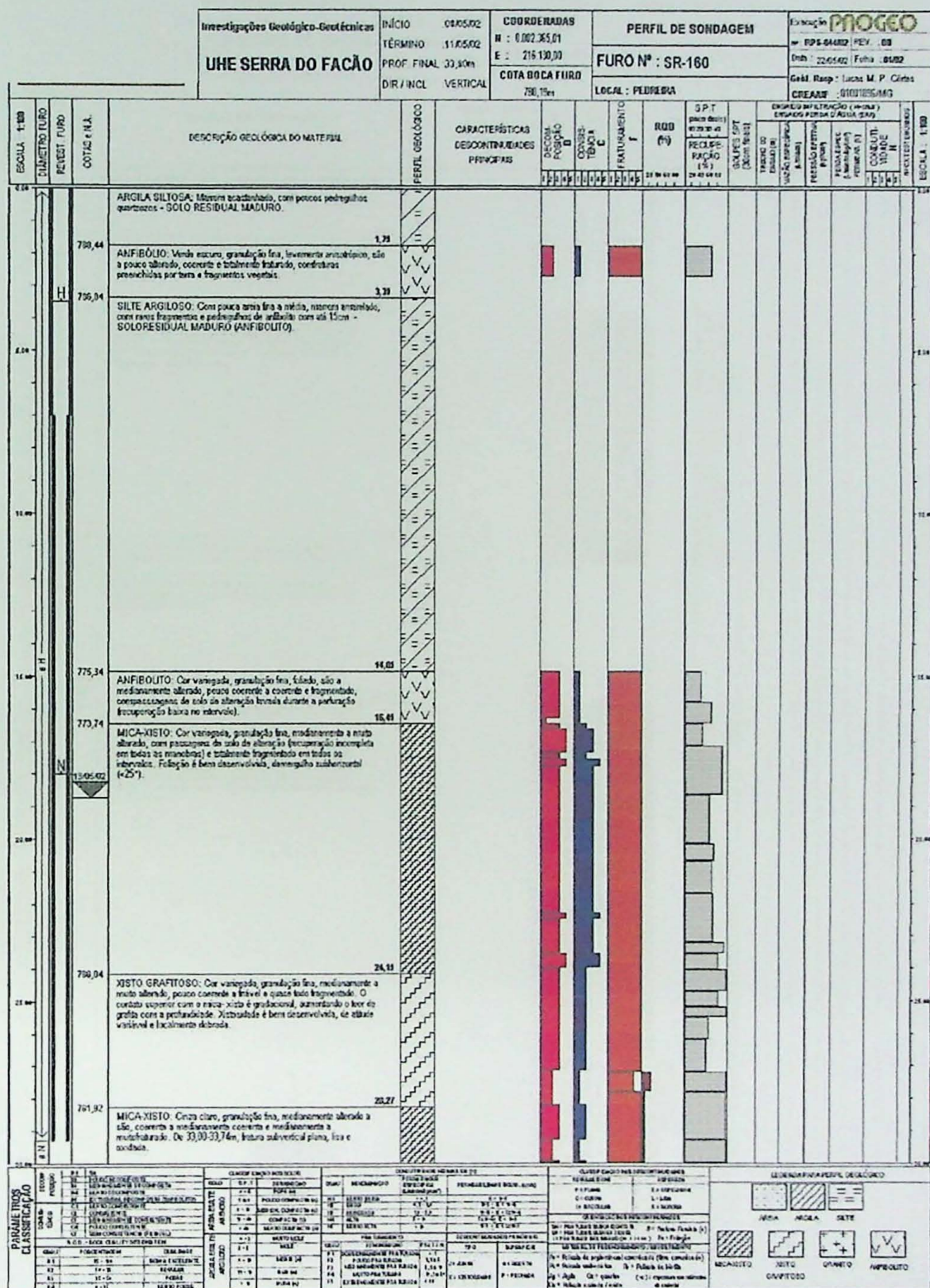
Comportamento anômalo das rochas providas de grafita, quanto ao grau de fraturamento de seu RQD baixo.

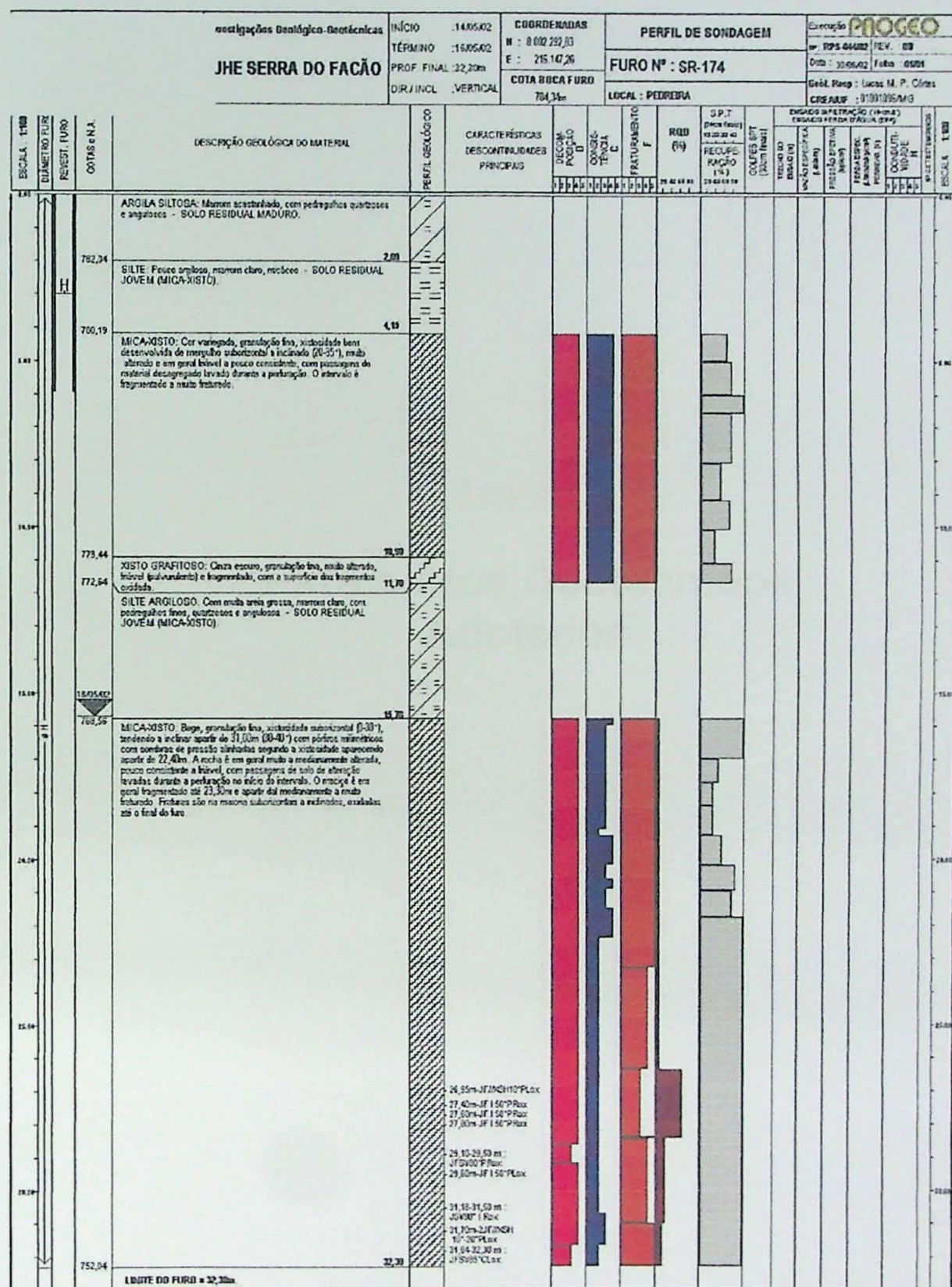
PERFIL DE SONDAGEM - SM - 128

[illegible]

Sondagem sem estudo petrográfico das rochas de interesse, por estas apresentarem um alto grau de alteração.

PERFIL DE SONDAGEM - SR-160



PERFIL DE SONDAGEM - SR-174

Sondagem sem estudo petrográfico das rochas de interesse, por estas apresentarem um alto grau de alteração.

ANEXO 6

Parâmetros Geotécnicos Adotados

PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO

GRAU DE ALTERAÇÃO DA ROCHA		GRAU DE FRATURAMENTO DA ROCHA	
A1	ROCHA Sã	F1	<1 FRAT /m OCASIONALMENTE FRATURADA
A2	ROCHA POUCO ALTERADA (APRECIÁVEL OXIDAÇÃO DAS JUNTAS)	F2	1 – 5 FRAT /m POUCO FRATURADA
A3	ROCHA MEDIANAMENTE ALTERADA (MATRIZ POUCO ALTERADA)	F3	6 – 10 FRAT /m MEDIANAMENTE FRATURADA
A4	ROCHA MUITO ALTERADA (MATRIZ PROFUNDAMENTE ALTERADA)	F4	11 – 20 FRAT /m MUITO FRATURADA
A5	ROCHA TOTALMENTE ALTERADA – SAPROLITO (SOLO COM VESTÍGIOS DA ESTRUTURA ORIGINAL)	F5	>20 FRAT / m EXTREMAMENTE FRATURADA

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	
SÍMBOLO	PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA COEFICIENTE DE Hv(l/min x m x kgf/cm ²) PERMEABILIDADE-k(cm/s)
H1-MUITO BAIXA	<0,1 $k < 10^{-5}$
H2-BAIXA	0,1 – 1,0 $10^{-5} < k < 10^{-4}$
H3-MODERADA	1,0 – 5,0 $10^{-4} < k < 5 \times 10^{-4}$
H4-ALTA	5,0 – 10,0 $5 \times 10^{-4} < k < 10^{-3}$
H5-MUITO ALTA	>10,0 $k > 10^{-3}$

R.Q.D.(ÍNDICE DE QUALIDADE DA ROCHA) %	
R1	91 – 100 EXCELENTE
R2	76 – 90 BOA
R3	51 – 75 REGULAR
R4	26 – 50 MÁ
R5	0 – 25 PÉSSIMA

GRAU	DESIGNAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
C1	COERENTE	QUEBRA COM DIFICULDADE AO GOLPE DO MARTELO. O FRAGMENTO POSSUI BORDAS CORTANTES QUE RESISTEM AO CORTE POR LÂMINA DE AÇO. SUPERFÍCIE DIFICILMENTE RISCADA POR LÂMINA DE AÇO.
C2	MEDIANAMENTE COERENTE	QUEBRA COM RELATIVA FACILIDADE AO GOLPE DO MARTELO. O FRAGMENTO POSSUI BORDAS CORTANTES QUE PODEM SER ABATIDAS PELO CORTE COM LÂMINA DE AÇO. SUPERFÍCIE RISCÁVEL POR LÂMINA DE AÇO.
C3	POUCO COERENTE	QUEBRA FACILMENTE AO GOLPE DO MARTELO. AS BORDAS DO FRAGMENTO PODEM SER QUEBRADAS PELA PRESSÃO DOS DEDOS. A LÂMINA DE AÇO PROVOCA UM SULCO ACENTUADO NA SUPERFÍCIE DO FRAGMENTO.
C4	INCOERENTE	ESFARELA AO GOLPE DO MARTELO. DESAGREGA SOB PRESSÃO DOS DEDOS.

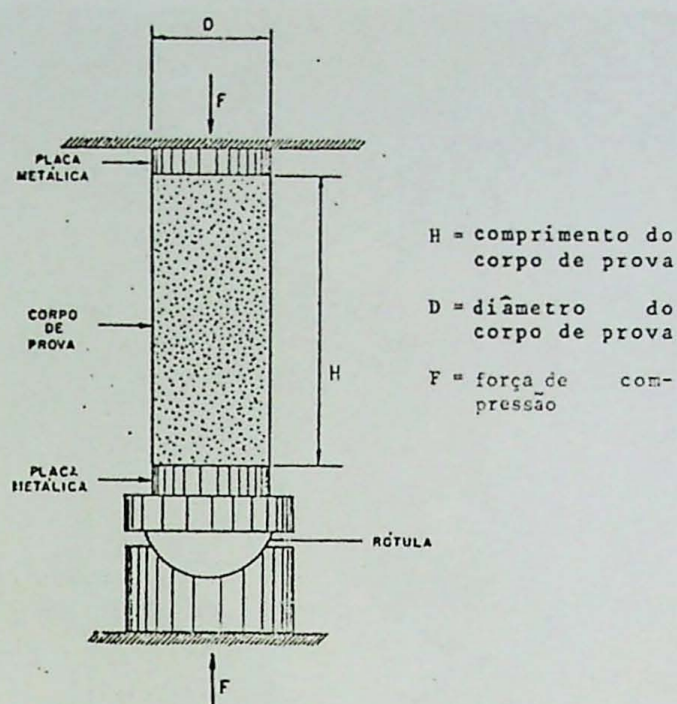
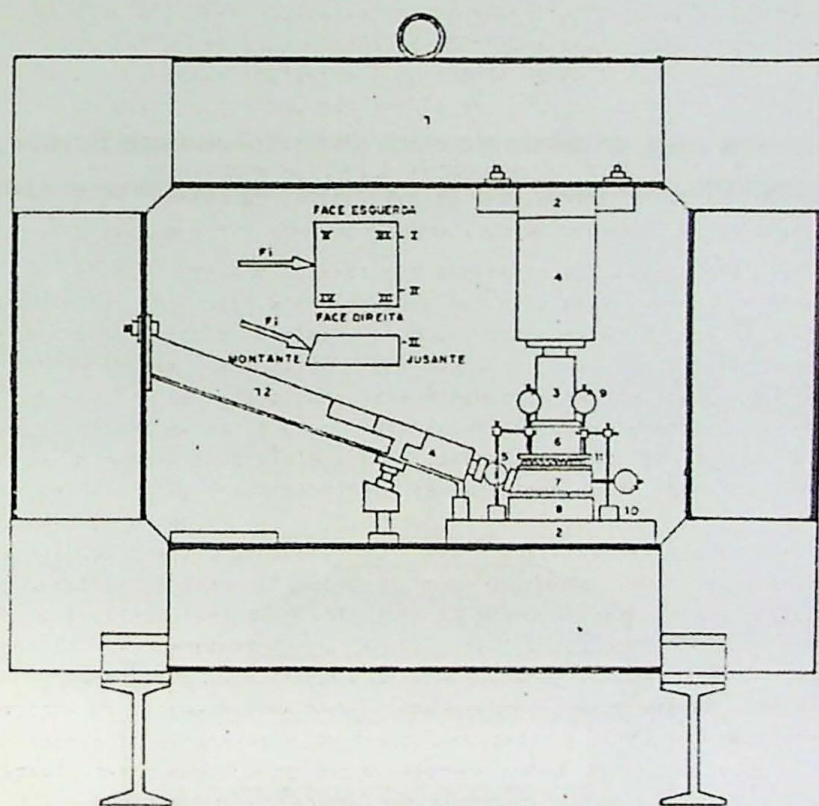


Figura EG1- Equipamento de compressão Uniaxial
(relatório de ensaios de laboratório – IPT-1991).



CONVENÇÕES

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1-Quadro Metálico de Reação | 7-Caixa Superior (17 x 17 x 4,5 cm) |
| 2-Placas de Ferro Fundido | 8-Caixa Inferior (17 x 17 x 4,5 cm) |
| 3-Calço Metálico | 9-Relógios Comparadores |
| 4-Cilindros Hidráulicos | 10-Suporte dos Relógios |
| 5-Esfera de Aço | 11-Roletes |
| 6-Rótula | 12-Guia de Cilindro Hidráulico |

Figura EG2 – Equipamento de cisalhamento direto
(relatório de ensaios de laboratório – IPT-1991).

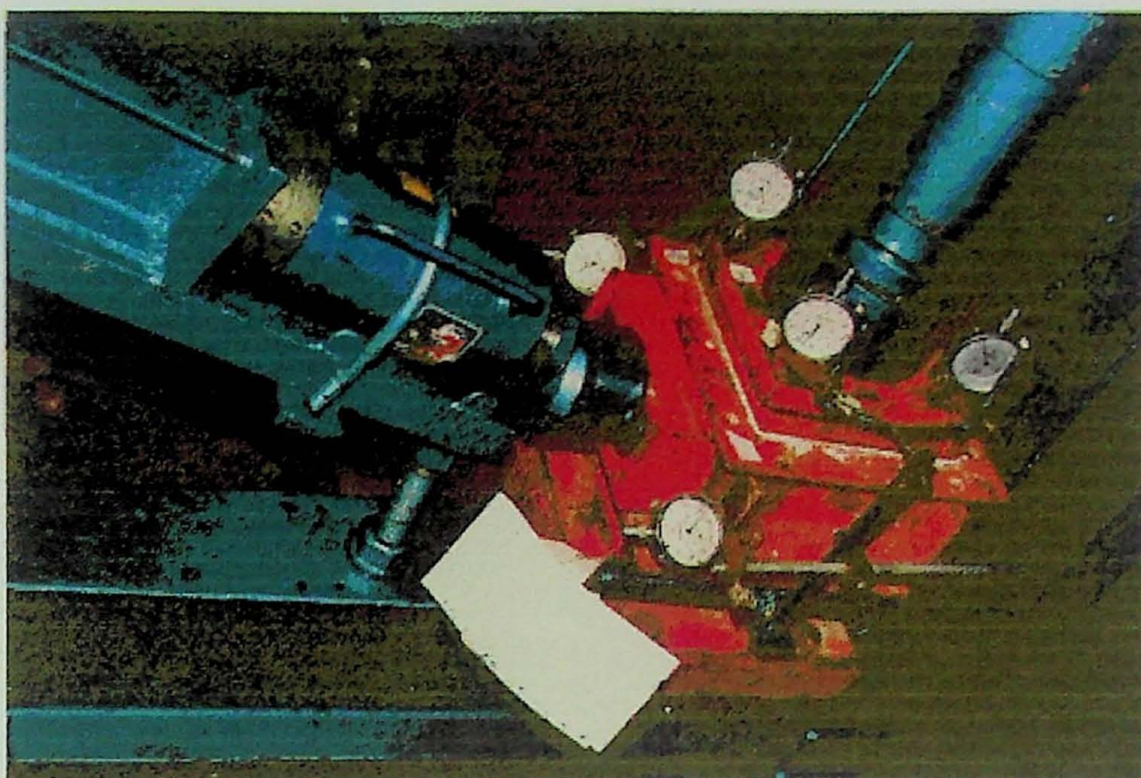


Figura EG 3 – Ensaio de cisalhamento direto como o ilustrado na figura anterior (fotografia do relatório de ensaios geomecânicos da UHE Tijuco Alto – IPT-1989).

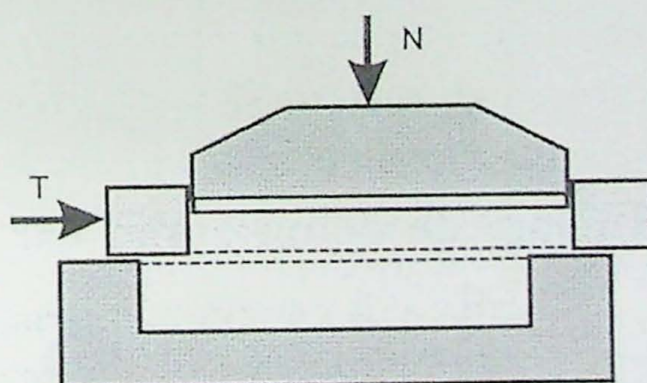


Figura EG 4 – Ensaio de cisalhamento direto



Figura EG 5 – Sistema servo-controlado para realizações de ensaios de compressão uniaxial.



Figura EG 6 – Montagem do corpo de prova para a realização do ensaio de compressão uniaxial.

UHE Serra do Facão - Ensaio de Cisalhamento Direto

Amostra 1

TENSÃO τ (kgf/cm²)	X	Y	DESLOCAMENTOS (mm)							
	(M1+M2)/2 (mm)	τ (MPa)	MICRO 1 (mm)	MICRO 2 (mm)	MICRO 3 (mm)	MICRO 4 (mm)	MICRO 5 (mm)	MICRO 6 (mm)	(M3+M4)/2 (mm)	(M5+M6)/2 (mm)
0	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
6,00	0,000	0,588	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10,00	0,000	0,980	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,003
25,00	0,018	2,450	0,020	0,015	0,010	0,010	-0,010	-0,030	0,010	-0,020
30,00	0,025	2,940	0,030	0,020	0,015	0,010	-0,020	-0,035	0,013	-0,028
35,00	0,035	3,430	0,040	0,030	0,020	0,015	-0,030	-0,045	0,018	-0,038
40,00	0,043	3,920	0,050	0,035	0,030	0,015	-0,030	-0,055	0,023	-0,043
42,00	0,050	4,116	0,060	0,040	0,030	0,025	-0,040	-0,060	0,028	-0,050
44,00	0,053	4,312	0,060	0,045	0,035	0,025	-0,040	-0,030	0,030	-0,035
46,00	0,055	4,508	0,065	0,045	0,045	0,025	-0,045	-0,030	0,035	-0,038
48,00	0,060	4,704	0,070	0,050	0,040	0,025	-0,050	-0,025	0,033	-0,038
50,00	0,063	4,900	0,075	0,050	0,040	0,025	-0,050	-0,080	0,033	-0,065
52,00	0,070	5,096	0,080	0,060	0,045	0,035	-0,060	-0,090	0,040	-0,075
54,00	0,073	5,292	0,085	0,060	0,050	0,035	-0,065	-0,095	0,043	-0,080
56,00	0,080	5,488	0,090	0,070	0,050	0,040	-0,070	-0,100	0,045	-0,085
58,00	0,088	5,684	0,100	0,075	0,050	0,040	-0,075	-0,110	0,045	-0,093
60,00	0,095	5,880	0,110	0,080	0,055	0,040	-0,085	-0,120	0,048	-0,103
62,00	0,098	6,076	0,115	0,080	0,060	0,040	-0,090	-0,130	0,050	-0,110
64,00	0,100	6,272	0,120	0,080	0,060	0,040	-0,100	-0,140	0,050	-0,120
66,00	0,110	6,468	0,130	0,090	0,060	0,040	-0,110	-0,145	0,050	-0,128
68,00	0,115	6,664	0,140	0,090	0,060	0,040	-0,120	-0,155	0,050	-0,138
70,00	0,125	6,860	0,150	0,100	0,065	0,045	-0,135	-0,165	0,055	-0,150
72,00	0,148	7,056	0,180	0,115	0,080	0,050	-0,180	-0,225	0,065	-0,203
74,00	0,155	7,252	0,190	0,120	0,085	0,060	-0,195	-0,240	0,073	-0,218
76,00	0,165	7,448	0,200	0,130	0,085	0,060	-0,210	-0,250	0,073	-0,230
78,00	0,180	7,644	0,220	0,140	0,080	0,060	-0,230	-0,265	0,070	-0,248
80,00	0,193	7,840	0,240	0,145	0,080	0,060	-0,250	-0,275	0,070	-0,263
82,00	0,203	8,036	0,250	0,155	0,075	0,055	-0,260	-0,290	0,065	-0,275
84,00	0,218	8,232	0,270	0,165	0,055	0,040	-0,285	-0,305	0,048	-0,295
86,00	0,225	8,428	0,280	0,170	0,040	0,030	-0,300	-0,315	0,035	-0,308
88,00	0,238	8,624	0,300	0,175	0,020	0,010	-0,320	-0,330	0,015	-0,325
90,00	0,255	8,820	0,320	0,190	-0,015	-0,020	-0,350	-0,360	-0,018	-0,355
91,00	0,265	8,918	0,335	0,195	-0,035	-0,035	-0,370	-0,370	-0,035	-0,370
92,00	0,280	9,016	0,355	0,205	-0,070	-0,065	-0,400	-0,395	-0,068	-0,398
93,00	0,298	9,114	0,380	0,215	-0,105	-0,090	-0,430	-0,410	-0,098	-0,420
93,50	0,305	9,163	0,390	0,220	-0,125	-0,100	-0,450	-0,420	-0,113	-0,435
93,75	0,363	9,188	0,455	0,270	-0,210	-0,160	-0,530	-0,480	-0,185	-0,505
21,50	1,415	2,107	1,445	1,385	-0,770	-0,845	-0,795	-0,900	-0,808	-0,848
23,00	1,415	2,254	1,445	1,385	-0,760	-0,835	-0,785	-0,900	-0,798	-0,843
25,00	1,415	2,450	1,445	1,385	-0,750	-0,835	-0,785	-0,900	-0,793	-0,843
27,00	1,423	2,646	1,450	1,395	-0,750	-0,830	-0,780	-0,900	-0,790	-0,840
28,00	1,435	2,744	1,460	1,410	-0,740	-0,830	-0,780	-0,900	-0,785	-0,840
29,00	1,455	2,842	1,480	1,430	-0,735	-0,820	-0,780	-0,900	-0,778	-0,840
30,00	1,495	2,940	1,515	1,475	-0,720	-0,815	-0,765	-0,900	-0,768	-0,833
31,00	1,530	3,038	1,550	1,510	-0,710	-0,810	-0,760	-0,900	-0,760	-0,830
31,50	1,605	3,087	1,620	1,590	-0,695	-0,810	-0,750	-0,900	-0,753	-0,825
32,00	1,655	3,136	1,670	1,640	-0,680	-0,805	-0,745	-0,900	-0,743	-0,823
32,50	2,175	3,185	2,190	2,160	-0,660	-0,800	-0,740	-0,950	-0,730	-0,845
23,00	3,520	2,254	3,580	3,460	-0,695	-0,850	-0,765	-1,000	-0,773	-0,883

UHE Serra do Facão - Ensaio de Cisalhamento Direto

Amostra 2

TENSÃO τ (kgf/cm ²)	X	Y	DESLOCAMENTOS (mm)							
	(M1+M2)/2	τ	MICRO 1	MICRO 2	MICRO 3	MICRO 4	MICRO 5	MICRO 6	M3+M4/2	(M5+M6)/2
	(mm)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,250	0,000	0,809	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,500	0,000	0,833	0,000	0,000	0,020	0,000	-0,005	0,000	0,010	-0,003
9,250	0,003	0,907	0,005	0,000	0,000	0,000	-0,005	-0,005	0,000	-0,005
11,000	0,005	1,078	0,005	0,005	0,000	0,000	-0,010	-0,010	0,000	-0,010
14,250	0,010	1,397	0,010	0,010	0,010	0,005	-0,020	-0,020	0,008	-0,020
15,500	0,015	1,519	0,015	0,015	0,015	0,010	-0,030	-0,030	0,013	-0,030
18,000	0,020	1,764	0,020	0,020	0,020	0,015	-0,040	-0,040	0,018	-0,040
18,500	0,025	1,813	0,025	0,025	0,020	0,015	-0,040	-0,040	0,018	-0,040
19,000	0,025	1,862	0,025	0,025	0,020	0,015	-0,045	-0,040	0,018	-0,043
19,500	0,028	1,911	0,030	0,025	0,025	0,020	-0,045	-0,045	0,023	-0,045
20,000	0,028	1,960	0,030	0,025	0,025	0,020	-0,050	-0,050	0,023	-0,050
20,500	0,030	2,009	0,030	0,030	0,030	0,020	-0,050	-0,050	0,025	-0,050
21,500	0,033	2,107	0,035	0,030	0,030	0,020	-0,055	-0,055	0,025	-0,055
22,500	0,033	2,205	0,035	0,030	0,030	0,020	-0,060	-0,055	0,025	-0,058
24,500	0,035	2,401	0,035	0,035	0,030	0,020	-0,060	-0,055	0,025	-0,058
25,000	0,038	2,450	0,040	0,035	0,030	0,020	-0,060	-0,060	0,025	-0,060
25,500	0,038	2,499	0,040	0,035	0,035	0,020	-0,060	-0,060	0,028	-0,060
26,000	0,040	2,548	0,040	0,040	0,035	0,025	-0,065	-0,060	0,030	-0,063
26,500	0,040	2,597	0,040	0,040	0,035	0,025	-0,065	-0,065	0,030	-0,065
27,000	0,040	2,646	0,040	0,040	0,035	0,025	-0,070	-0,070	0,030	-0,070
27,500	0,045	2,695	0,045	0,045	0,040	0,030	-0,075	-0,070	0,035	-0,073
28,000	0,048	2,744	0,050	0,045	0,040	0,030	-0,080	-0,075	0,035	-0,078
28,500	0,050	2,793	0,050	0,050	0,040	0,030	-0,080	-0,080	0,035	-0,080
29,000	0,053	2,842	0,055	0,050	0,045	0,035	-0,085	-0,085	0,040	-0,085
30,000	0,058	2,940	0,060	0,055	0,050	0,040	-0,095	-0,095	0,045	-0,095
31,000	0,063	3,038	0,065	0,060	0,055	0,040	-0,100	-0,100	0,048	-0,100
32,000	0,068	3,136	0,070	0,065	0,060	0,045	-0,115	-0,120	0,053	-0,118
33,000	0,078	3,234	0,080	0,075	0,070	0,045	-0,125	-0,130	0,058	-0,128
33,500	0,078	3,283	0,080	0,075	0,070	0,050	-0,135	-0,140	0,060	-0,138
34,000	0,083	3,332	0,085	0,080	0,075	0,050	-0,140	-0,145	0,063	-0,143
34,500	0,088	3,381	0,090	0,085	0,080	0,050	-0,145	-0,150	0,065	-0,148
35,000	0,090	3,430	0,090	0,090	0,085	0,055	-0,155	-0,160	0,070	-0,158
35,500	0,100	3,479	0,100	0,100	0,090	0,055	-0,170	-0,175	0,073	-0,173
35,500	0,105	3,479	0,105	0,105	0,100	0,060	-0,185	-0,190	0,080	-0,188
36,000	0,110	3,528	0,110	0,110	0,100	0,060	-0,190	-0,195	0,080	-0,193
37,000	0,113	3,626	0,115	0,110	0,105	0,065	-0,200	-0,205	0,085	-0,203
38,000	0,120	3,724	0,120	0,120	0,110	0,070	-0,215	-0,220	0,090	-0,218
38,500	0,133	3,773	0,130	0,135	0,120	0,070	-0,240	-0,250	0,095	-0,245
39,000	0,138	3,822	0,135	0,140	0,120	0,070	-0,240	-0,255	0,095	-0,248
40,000	0,145	3,920	0,145	0,145	0,125	0,070	-0,250	-0,265	0,098	-0,258
40,500	0,148	3,969	0,145	0,150	0,125	0,070	-0,250	-0,275	0,098	-0,263
41,000	0,150	4,018	0,150	0,150	0,130	0,070	-0,255	-0,280	0,100	-0,268
42,000	0,158	4,116	0,155	0,160	0,130	0,070	-0,265	-0,290	0,100	-0,278
43,000	0,163	4,214	0,160	0,165	0,130	0,070	-0,275	-0,310	0,100	-0,293
44,000	0,173	4,312	0,170	0,175	0,130	0,070	-0,280	-0,320	0,100	-0,300
45,000	0,175	4,410	0,170	0,180	0,130	0,065	-0,285	-0,330	0,098	-0,308
46,000	0,185	4,508	0,180	0,190	0,130	0,045	-0,290	-0,330	0,088	-0,310
46,500	0,190	4,557	0,185	0,195	0,125	0,040	-0,295	-0,335	0,083	-0,315
47,000	0,208	4,606	0,205	0,210	0,070	0,005	-0,330	-0,345	0,038	-0,338
47,500	0,218	4,655	0,215	0,220	0,055	-0,005	-0,340	-0,350	0,025	-0,345
48,000	0,223	4,704	0,220	0,225	0,050	-0,015	-0,340	-0,360	0,018	-0,350
48,500	0,228	4,753	0,225	0,230	0,040	-0,025	-0,350	-0,365	0,008	-0,358
49,000	0,235	4,802	0,230	0,240	0,035	-0,030	-0,355	-0,370	0,003	-0,363
50,000	0,243	4,900	0,240	0,245	0,020	-0,045	-0,360	-0,380	-0,013	-0,370

50,500	0,250	4,949	0,245	0,255	0,015	-0,055	-0,365	-0,385	-0,020	-0,375
51,000	0,255	4,998	0,250	0,260	0,010	-0,040	-0,370	-0,390	-0,015	-0,380
51,740	0,263	5,071	0,260	0,265	0,005	-0,065	-0,370	-0,390	-0,030	-0,380
47,250	0,530	4,631	0,535	0,525	-0,010	-0,105	-0,375	-0,390	-0,058	-0,383
48,500	0,533	4,753	0,535	0,530	-0,010	-0,105	-0,375	-0,390	-0,058	-0,383
49,000	0,535	4,802	0,540	0,530	-0,020	-0,105	-0,375	-0,390	-0,063	-0,383
50,000	0,535	4,900	0,540	0,530	-0,025	-0,105	-0,375	-0,390	-0,065	-0,383
51,000	0,543	4,998	0,545	0,540	-0,030	-0,110	-0,375	-0,390	-0,070	-0,383
52,000	0,543	5,096	0,545	0,540	-0,035	-0,110	-0,375	-0,390	-0,073	-0,383
53,000	0,550	5,194	0,550	0,550	-0,045	-0,120	-0,375	-0,395	-0,083	-0,385
54,000	0,558	5,292	0,560	0,555	-0,055	-0,135	-0,375	-0,400	-0,095	-0,388
55,000	0,565	5,390	0,565	0,565	-0,060	-0,145	-0,375	-0,410	-0,103	-0,393
56,000	1,340	5,488	1,350	1,330	-0,140	-0,290	-0,350	-0,410	-0,215	-0,380
57,000	1,343	5,586	1,350	1,335	-0,150	-0,305	-0,350	-0,410	-0,228	-0,380
57,500	1,348	5,635	1,355	1,340	-0,155	-0,310	-0,350	-0,410	-0,233	-0,380
58,000	1,353	5,684	1,360	1,345	-0,160	-0,320	-0,350	-0,415	-0,240	-0,383
58,500	1,355	5,733	1,360	1,350	-0,165	-0,330	-0,350	-0,420	-0,248	-0,385
59,000	1,355	5,782	1,360	1,350	-0,170	-0,335	-0,350	-0,425	-0,253	-0,388
59,500	1,363	5,831	1,365	1,360	-0,180	-0,350	-0,350	-0,430	-0,265	-0,390
60,000	1,370	5,880	1,370	1,370	-0,185	-0,360	-0,350	-0,435	-0,273	-0,393

UHE Serra do Facão - Ensaio de Cisalhamento Direto

Amostra 3

TENSÃO τ (kgf/cm ²)	X	Y	DESLOCAMENTOS (mm)						
	(M1+M2)/2 (mm)	τ (MPa)	MICRO 1 (mm)	MICRO 2 (mm)	MICRO 3 (mm)	MICRO 4 (mm)	MICRO 5 (mm)	MICRO 6 (mm)	(M3+M4)/2 (mm)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,000	0,000	0,784	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10,000	0,003	0,980	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12,000	0,005	1,176	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14,000	0,008	1,372	0,010	0,005	0,000	0,000	0,000	-0,010	0,000
16,000	0,013	1,568	0,015	0,010	0,000	0,000	0,000	-0,010	0,000
18,000	0,015	1,764	0,020	0,010	0,005	0,000	0,000	-0,015	0,003
20,000	0,020	1,960	0,025	0,015	0,005	0,000	0,000	-0,020	0,003
22,000	0,025	2,156	0,030	0,020	0,010	0,000	-0,005	-0,025	0,005
24,000	0,025	2,352	0,030	0,020	0,010	0,000	-0,005	-0,030	0,005
26,000	0,030	2,548	0,035	0,025	0,015	0,000	-0,015	-0,030	0,008
28,000	0,035	2,744	0,040	0,030	0,015	0,000	-0,015	-0,035	0,008
30,000	0,040	2,940	0,045	0,035	0,020	0,000	-0,025	-0,040	0,010
32,000	0,045	3,136	0,050	0,040	0,020	0,000	-0,030	-0,045	0,010
34,000	0,050	3,332	0,055	0,045	0,025	0,000	-0,035	-0,055	0,013
36,000	0,055	3,528	0,060	0,050	0,030	0,000	-0,040	-0,060	0,015
38,000	0,063	3,724	0,070	0,055	0,030	0,000	-0,045	-0,065	0,015
40,000	0,068	3,920	0,075	0,060	0,035	0,005	-0,060	-0,080	0,020
42,000	0,078	4,116	0,085	0,070	0,040	0,010	-0,060	-0,085	0,025
44,000	0,083	4,312	0,090	0,075	0,040	0,010	-0,070	-0,090	0,025
46,000	0,090	4,508	0,100	0,080	0,045	0,015	-0,080	-0,100	0,030
48,000	0,100	4,704	0,110	0,090	0,045	0,020	-0,090	-0,110	0,033
50,000	0,105	4,900	0,115	0,095	0,045	0,020	-0,100	-0,120	0,033
52,000	0,113	5,096	0,125	0,100	0,045	0,025	-0,110	-0,130	0,035
54,000	0,123	5,292	0,135	0,110	0,045	0,025	-0,125	-0,135	0,035
56,000	0,135	5,488	0,150	0,120	0,045	0,030	-0,140	-0,150	0,038
58,000	0,155	5,684	0,170	0,140	0,050	0,035	-0,170	-0,180	0,043
60,000	0,165	5,880	0,180	0,150	0,055	0,050	-0,195	-0,195	0,053
61,000	0,198	5,978	0,220	0,175	-0,005	-0,020	-0,240	-0,245	-0,013
62,000	0,208	6,076	0,230	0,185	-0,035	-0,050	-0,265	-0,265	-0,043
63,000	0,215	6,174	0,240	0,190	-0,050	-0,065	-0,275	-0,280	-0,058
64,000	0,230	6,272	0,255	0,205	-0,070	-0,090	-0,295	-0,295	-0,080
65,000	0,243	6,370	0,270	0,215	-0,100	-0,110	-0,315	-0,310	-0,105
65,500	0,253	6,419	0,280	0,225	-0,125	-0,125	-0,340	-0,325	-0,125
65,750	0,300	6,444	0,345	0,255	-0,310	-0,190	-0,500	-0,360	-0,250
13,000	1,335	1,274	1,370	1,300	-0,740	-0,820	-0,540	-0,540	-0,780
14,000	1,350	1,372	1,390	1,310	-0,725	-0,810	-0,535	-0,540	-0,768
15,000	1,350	1,470	1,390	1,310	-0,725	-0,810	-0,535	-0,540	-0,768
16,000	1,353	1,568	1,395	1,310	-0,725	-0,810	-0,535	-0,540	-0,768
17,000	1,358	1,666	1,400	1,315	-0,725	-0,810	-0,535	-0,540	-0,768
18,000	1,368	1,764	1,410	1,325	-0,720	-0,810	-0,535	-0,540	-0,765
18,500	1,393	1,813	1,435	1,350	-0,715	-0,805	-0,535	-0,550	-0,760
19,000	1,398	1,862	1,440	1,355	-0,710	-0,805	-0,535	-0,550	-0,758
19,500	1,448	1,911	1,490	1,405	-0,700	-0,800	-0,535	-0,560	-0,750
20,000	1,453	1,960	1,495	1,410	-0,700	-0,800	-0,535	-0,560	-0,750
20,500	1,655	2,009	1,695	1,615	-0,665	-0,800	-0,515	-0,565	-0,733
21,000	1,675	2,058	1,715	1,635	-0,660	-0,800	-0,515	-0,565	-0,730
21,500	1,738	2,107	1,775	1,700	-0,650	-0,800	-0,510	-0,570	-0,725
22,000	1,965	2,156	2,000	1,930	-0,610	-0,920	-0,440	-0,610	-0,765
22,000	4,065	2,156	4,100	4,030	-0,540	-0,960	-0,410	-0,064	-0,750

UHE Serra do Facão - Ensaio de Cisalhamento Direto

Amostra 4

TENSÃO τ (kgf/cm²)	X	Y	DESLOCAMENTOS (mm)							
	(M1+M2)/2 (mm)	τ (MPa)	MICRO 1 (mm)	MICRO 2 (mm)	MICRO 3 (mm)	MICRO 4 (mm)	MICRO 5 (mm)	MICRO 6 (mm)	(M3+M4)/2 (mm)	(M5+M6)/2 (mm)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6,000	0,000	0,588	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8,000	0,005	0,784	0,005	0,005	0,000	0,000	-0,005	-0,005	0,000	-0,005
10,000	0,010	0,980	0,010	0,010	0,005	0,005	-0,010	-0,010	0,005	-0,010
12,000	0,013	1,176	0,010	0,015	0,010	0,010	-0,020	-0,015	0,010	-0,018
14,000	0,018	1,372	0,015	0,020	0,015	0,020	-0,025	-0,020	0,018	-0,023
16,000	0,020	1,568	0,015	0,025	0,020	0,025	-0,030	-0,025	0,023	-0,028
18,000	0,025	1,764	0,020	0,030	0,025	0,030	-0,040	-0,040	0,028	-0,040
20,000	0,033	1,960	0,025	0,040	0,040	0,040	-0,050	-0,050	0,040	-0,050
22,000	0,040	2,156	0,030	0,050	0,050	0,050	-0,070	-0,065	0,050	-0,068
24,000	0,048	2,352	0,035	0,060	0,060	0,060	-0,080	-0,080	0,060	-0,080
26,000	0,055	2,548	0,040	0,070	0,070	0,070	-0,095	-0,100	0,070	-0,098
28,000	0,065	2,744	0,050	0,080	0,080	0,075	-0,110	-0,115	0,078	-0,113
30,000	0,073	2,940	0,055	0,090	0,085	0,080	-0,120	-0,125	0,083	-0,123
32,000	0,078	3,136	0,060	0,095	0,095	0,090	-0,130	-0,140	0,093	-0,135
34,000	0,085	3,332	0,065	0,105	0,100	0,090	-0,140	-0,150	0,095	-0,145
36,000	0,093	3,528	0,070	0,115	0,110	0,100	-0,150	-0,165	0,105	-0,158
38,000	0,103	3,724	0,080	0,125	0,115	0,105	-0,160	-0,180	0,110	-0,170
40,000	0,110	3,920	0,085	0,135	0,120	0,110	-0,170	-0,195	0,115	-0,183
42,000	0,118	4,116	0,090	0,145	0,130	0,115	-0,185	-0,210	0,123	-0,198
44,000	0,130	4,312	0,100	0,160	0,130	0,120	-0,200	-0,225	0,125	-0,213
46,000	0,140	4,508	0,110	0,170	0,140	0,125	-0,210	-0,235	0,133	-0,223
48,000	0,153	4,704	0,120	0,185	0,145	0,130	-0,220	-0,250	0,138	-0,235
50,000	0,165	4,900	0,130	0,200	0,150	0,135	-0,235	-0,265	0,143	-0,250
52,000	0,183	5,096	0,145	0,220	0,155	0,145	-0,250	-0,280	0,150	-0,265
54,000	0,193	5,292	0,155	0,230	0,160	0,150	-0,260	-0,290	0,155	-0,275
56,000	0,210	5,488	0,170	0,250	0,165	0,155	-0,275	-0,310	0,160	-0,293
58,000	0,223	5,684	0,180	0,265	0,170	0,160	-0,285	-0,325	0,165	-0,305
60,000	0,240	5,880	0,195	0,285	0,180	0,165	-0,300	-0,345	0,173	-0,323
62,000	0,253	6,076	0,205	0,300	0,185	0,165	-0,310	-0,360	0,175	-0,335
62,500	0,268	6,125	0,215	0,320	0,195	0,165	-0,315	-0,385	0,180	-0,350
62,750	0,280	6,150	0,230	0,330	0,195	0,165	-0,320	-0,390	0,180	-0,355
63,000	0,290	6,174	0,240	0,340	0,200	0,170	-0,325	-0,395	0,185	-0,360
63,250	0,300	6,199	0,250	0,350	0,200	0,170	-0,325	-0,395	0,185	-0,360
63,500	0,330	6,223	0,280	0,380	0,190	0,160	-0,340	-0,405	0,175	-0,373
32,500	0,848	3,185	0,715	0,980	-0,110	-0,420	-0,680	-1,020	-0,265	-0,850
33,000	0,853	3,234	0,720	0,985	-0,110	-0,420	-0,680	-1,020	-0,265	-0,850
33,250	0,868	3,259	0,730	1,005	-0,120	-0,415	-0,710	-1,020	-0,268	-0,865
33,000	3,955	3,234	3,710	4,200	-1,770	-0,560	-1,870	-0,720	-1,165	-1,295

Table with 10 columns and 20 rows, mostly blank.

DOAÇÃO
IGC-USP
Data: 24/03/06

UHE Serra do Facão - Compressão Uniaxial

VELOC. CARREGAM 25 kgf/cm ² /min			ÁREA DO CP (S): 20,99 cm ²			COMP.DO CP (L): 11,65 cm		
FATOR DO EXTENS.= 2.14						L. 0.=		
TENSÃO (kgf/cm ²)	TENSÃO Mpa	LEITURA AXIAL	DEF. AXIAL (e x 10 ⁻⁶)	DEF. AXIAL (e x 10 ⁻⁶)	LEITURA TRANSV.	DEF. TRANSV. (e x 10 ⁻⁶)	E (kgf/cm ²)	V
0	0,00	50161	0	0	50111	0	0	0
10	1,00	50076	79	79	50111	0	-126500	0
20	2,00	49982	167	167	50113	-1	-119700	0
30	3,00	49927	218	218	50113	-1	-137600	0
40	4,00	49878	264	264	50115	-3	-151500	0,01
50	5,00	49831	308	308	50117	-5	-162300	0,01
75	7,50	49726	406	406	50121	-9	-184700	0,02
100	10,00	49625	500	500	50126	-14	-200000	0,02
125	12,50	49535	585	585	50131	-18	-213600	0,03
150	15,00	49445	669	669	50145	-31	-224200	0,04
175	17,50	49362	746	746	50151	-37	-234500	0,04
200	20,00	49273	829	829	50158	-43	-241200	0,05
225	22,50	49199	899	899	50166	-51	-250200	0,05
250	25,00	49115	977	977	50171	-56	-255800	0,05
275	27,50	49055	1033	1033	50176	-60	-266200	0,05
300	30,00	48953	1128	1128	50183	-67	-265900	0,05
325	32,50	48879	1198	1198	50195	-78	-271200	0,06
350	35,00	48800	1271	1271	50201	-84	-275300	0,06
375	37,50	48725	1342	1342	50212	-94	-279400	0,07
400	40,00	48655	1407	1407	50220	-101	-284200	0,07
425	42,50	48590	1468	1468	50232	-113		
450	45,00	48520	1533	1533	50241	-121		
500	50,00	48375	1669	1669	50263	-142		
550	55,00	48240	1795	1795	50281	-158		
600	60,00	48114	1913	1913	50305	-181		
650	65,00	47960	2057	2057	50328	-202		
700	70,00	47832	2176	2176	50358	-230		
750	75,00	47687	2312	2312	50381	-252		
800	80,00	47558	2432	2432	50420	-288		
850	85,00	47427	2555	2555	50450	-316		
900	90,00	47273	2699	2699	50485	-349		
950	95,00	47130	2832	2832	50525	-386		
1000	100,00	47000	2954	2954	50585	-442		
1003	100,00			2954				

