



Dezembro de 2002

**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**



SRH Secretaria dos Recursos Hídricos

Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH

Contrato

Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001

Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada

BARRAGEM RIACHO DA SERRA VOLUME I - ESTUDOS BÁSICOS Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos



MONTGOMERY WATSON





MONTGOMERY WATSON



ÍNDICE



ÍNDICE

Páginas

ÍNDICE	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. GEOLOGIA	6
2.1. Estudos Realizados	7
2.2. Geologia Regional	8
2.3. Geologia Local	13
2.4. Levantamento Geológico de Superfície	16
3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO	22
3.1 Sondagens realizadas	23
3.2 Sondagens a Percussão	25
3.3 Sondagens Mistas	26
3.4. Ensaios de Campo	27
3.4. Comentários	29
4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO	31
4.1. Sondagens Realizadas	32
4.2. Comentário	34
5. ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS	36
5.1. Jazida de Solos	37
5.2. Areal	47
5.3. Pedreira	48
5.4. Comentários	51
6. ANEXOS	54



MONTGOMERY WATSON



1. INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

O consórcio **Montgomery- Watson/ Engesoft** (Consórcio) e a **Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará** (SRH-CE) celebraram o contrato nº 02/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001, que tem como objetivo o Estudo de Alternativas, Eias/ Rimas, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra/ Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada.

A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001 e imediatamente as equipes do Consórcio iniciaram as atividades previstas no cronograma aprovado.

O presente relatório, denominado **Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos**, é parte integrante do **Volume 1- Estudos Básicos** e diz respeito à **Barragem Riacho da Serra**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no riacho da Serra, tributário pela margem esquerda do rio Figueiredo, integrante da bacia do rio Jaguaribe, para o abastecimento da população da sede municipal de Alto Santo, Ceará.

Desde Fortaleza, o acesso ao sítio do barramento é feito através da Br-116 até o entroncamento com a rodovia CE-138 e, através desta, até a cidade de Alto Santo, percorrendo-se cerca de 234 km. Toma-se, então, a rodovia pavimentada CE-138, em direção a Iracema, por 6,0km. O acesso ao local do barramento se faz através de uma estrada carroçável, que parte da CE-138, na qual se segue por cerca de 6,0km até o local do boqueirão, situado junto a Fazenda do Sr. Otacílio Diógenes. No mapa da figura 1.1 é apresentado, no âmbito do estado, o local selecionado para localizar o barramento.

O Tomo 4 apresenta um relato de todas as atividades desenvolvidas nos Estudos Básicos relativas à geologia regional, aos estudos e levantamentos da geologia do local do barramento, do sangradouro e da bacia hidráulica, às prospeções mecânicas de subsuperfície no barramento e sangradouro, aos ensaios “in situ” realizados nestas prospeções, além das investigações nas áreas de materiais construtivos e os ensaios laboratoriais realizados a partir de amostras representativas extraídas destes. Desenhos complementares ao relato são apresentados neste tomo porém, os boletins individuais das sondagens mecânicas e manuais, as planilhas de ensaios de campo e as fichas dos ensaios laboratoriais estão organizadas no Tomo 4-A - Estudos Geotécnicos - Anexos.



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

FIGURA - 1.1
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM



MONTGOMERY WATSON



2.GEOLOGIA



2. GEOLOGIA

2.1. ESTUDOS REALIZADOS

A bacia hidrográfica do Açude Riacho da Serra está situada na microregião geográfica do Médio Jaguaribe, no Estado do Ceará, numa área em que predominam as rochas do embasamento cristalino.

Os estudos geológicos foram realizados visando fornecer dados litológicos e estruturais relacionados às feições geológicas, tendo-se adotado as seguintes etapas de trabalho:

- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000;
- Mapeamento geológico do eixo barrável e sangradouro através de caminhamentos ao longo do eixo topográfico locado e nas seções transversais a cada 20m, abrangendo uma faixa de 300m, sendo 150m para montante e 150m para jusante;
- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento dos locais possíveis de acesso por veículo de passeio;
- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala 1:1.000;
- Elaboração de mapa geológico da bacia hidráulica em escala 1:10.000.

Para orientação dos perfis de caminhamentos e localização e indicação dos pontos básicos para o estudo em epígrafe, foram utilizados aparelhos de GPS de mão e bússola, tendo como base cartográfica as plantas topográficas previamente elaboradas.



2.2. GEOLOGIA REGIONAL

A descrição da geologia regional para este trabalho teve como fonte de pesquisa o Mapa Geológico do Estado do Ceará, elaborado em 1983, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em escala 1:500.000 e o Projeto Rio Jaguaribe, executado pelo DNPM, em 1979, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Rio Jaguaribe.

Os cursos fluviais são dominados basicamente pelo sistema Jaguaribe, apresentando uma drenagem dendrítica e densa, devido à elevada impermeabilidade dos terrenos cristalinos que cobrem a maior parte da área em estudo.

A feição morfológica dominante é o extenso pediplano com cotas que variam entre 200 a 350 metros, profundamente entalhado por erosão diferencial sobre migmatitos, gnaisses e granitos porfiróides. Muitos maciços residuais, em geral de gnaisses graníticos e granitóides sobressaem-se da paisagem arrasada. O clima semi-árido tem notadamente grande influência no modelado do relevo da região. Os acidentes topográficos que mais se destacam na paisagem se relacionam com as rochas graníticas e migmatíticas associadas, e aquelas laminadas tectonicamente, tendo como destaques mais próximos à nossa área de interesse a Serra do Aimoré e a Serra Vermelha.

O contexto geológico é configurado principalmente pelas rochas cristalinas pré-cambrianas, ocupando quase a totalidade da área, ocorrendo secundariamente áreas com coberturas sedimentares e, em percentual ínfimo, rochas filoneanas.

As unidades do Pré-Cambriano passaram por intensos processos tectônicos associados a fenômenos de migmatização e granitização que mascaram acentuadamente as estruturas originais das rochas, camuflando as possíveis discordâncias entre os grandes grupamentos litológicos. Por este motivo foi adotado uma divisão litológica para estas unidades estratigraficamente indiferenciadas, conseguindo-se desta forma separar três unidades litológicas, a seguir descritas:

- **Complexo Caicó:** é a unidade mais abrangente, caracterizando-se morfológicamente por uma superfície aplainada e intensamente dissecada durante os ciclos erosivos. É formada por uma grande variedade litológica, com elevado grau de cristalinidade, predominando as associações de gnaisses e migmatitos. Os tipos gnáissicos estão



principalmente representados por biotita-gnaisses , biotita-hornblenda-gnaisses bandados com intercalações de metarcóseos e anfibolitos, com feições planares bem desenvolvidas, muitas vezes migmatizados e feldspatizados. São comuns os migmatitos homogeneizados de estruturas difusas com núcleos de nebulitos e anatexitos. A foliação destas rochas apresenta direção preferencial segundo NE-SW, contudo, devido ao estilo de dobramento bastante variável, acarretando mudanças constantes de atitudes, em alguns locais, fica difícil a identificação de um tipo padrão.

- **Rochas Plutônicas Granulares:** nesta unidade estão agrupados diversos tipos litológicos com características texturais semelhantes, incluindo os granitóides que englobam granitos equigranulares de texturas fina e grosseira (pegmatóide) e os granitos e/ou granodioritos porfiróides; os sienitos e os corpos gabróides, constituindo pequenos corpos de gabros. Com exceção dos gabróides, os demais tipos litológicos desta unidade apresentam composição essencialmente granítica e/ou granodiorítica, contendo biotita e hornblenda, textura porfiróide ou equigranular, com certa orientação dos minerais.
- **Diques Ácidos:** são agrupados nesta unidade todas as rochas filoneanas de caráter petrográfico ácido e hiperácido, como granitos filoneanos, pegmatitos e veios quartzosos e de sílica cripto-cristalina. Essas rochas geralmente não são mapeáveis em escala regional e ocorrem preenchendo fraturas.

O Cenozóico está representado por um vulcanismo fissural do tipo basáltico-toleítico, pelos sedimentos que compõem o Grupo Barreiras, e pelas aluviões:

- **Vulcanismo Cabugi:** é formado por um conjunto de diques de diabásio e microsienogabro, com direção preferencialmente E-W, variando para NE-SW, discordantes da estrutura regional.



- **Grupo Barreiras:** os sedimentos do Grupo Barreiras estão sub-enquadrados na Formação Faceira de idade tércio-quadernária, que é formada por depósitos aluviais que margeiam o vale do rio Jaguaribe, constituindo-se de sedimentos contendo, na base, conglomerados com seixos de rochas cristalinas, sobre os quais sobrepõe-se um pacote de arenitos síltico-argilosos mal selecionados, pouco consolidados, de cores variegadas, impregnados de óxido de ferro, com intercalações de níveis argilosos e cascalheiras.
- **Aluviões:** são depósitos sedimentares, de idade quadernária, que se concentram nos leitos e margens dos principais rios, compostos de areias, cascalhos e argilas.

O elemento estrutural marcante na região onde está inserida a nossa área de interesse é a falha de Jaguaribe, de movimento transcorrente, que apresenta uma direção NE-SW e rejeito destrógiro. Sua extensão é de aproximadamente 250Km. Esta feição, é responsável pela estruturação da região, que se reflete em sucessivos dobramentos antiformes e sinformes, cujo estilo depende mais do grau metamórfico das rochas do que mesmo de sua natureza mineralógica. A existência dos diques formados por efusões de rochas básicas que caracterizam o Vulcanismo Cabugi está relacionada a um extenso falhamento transversal à estrutura regional. Esses dique algumas vezes podem atingir extensões em torno de 20Km. Na Figura. nº 2.1 tem-se uma representação esquemática do sistema de falhamentos que ocorre na região.

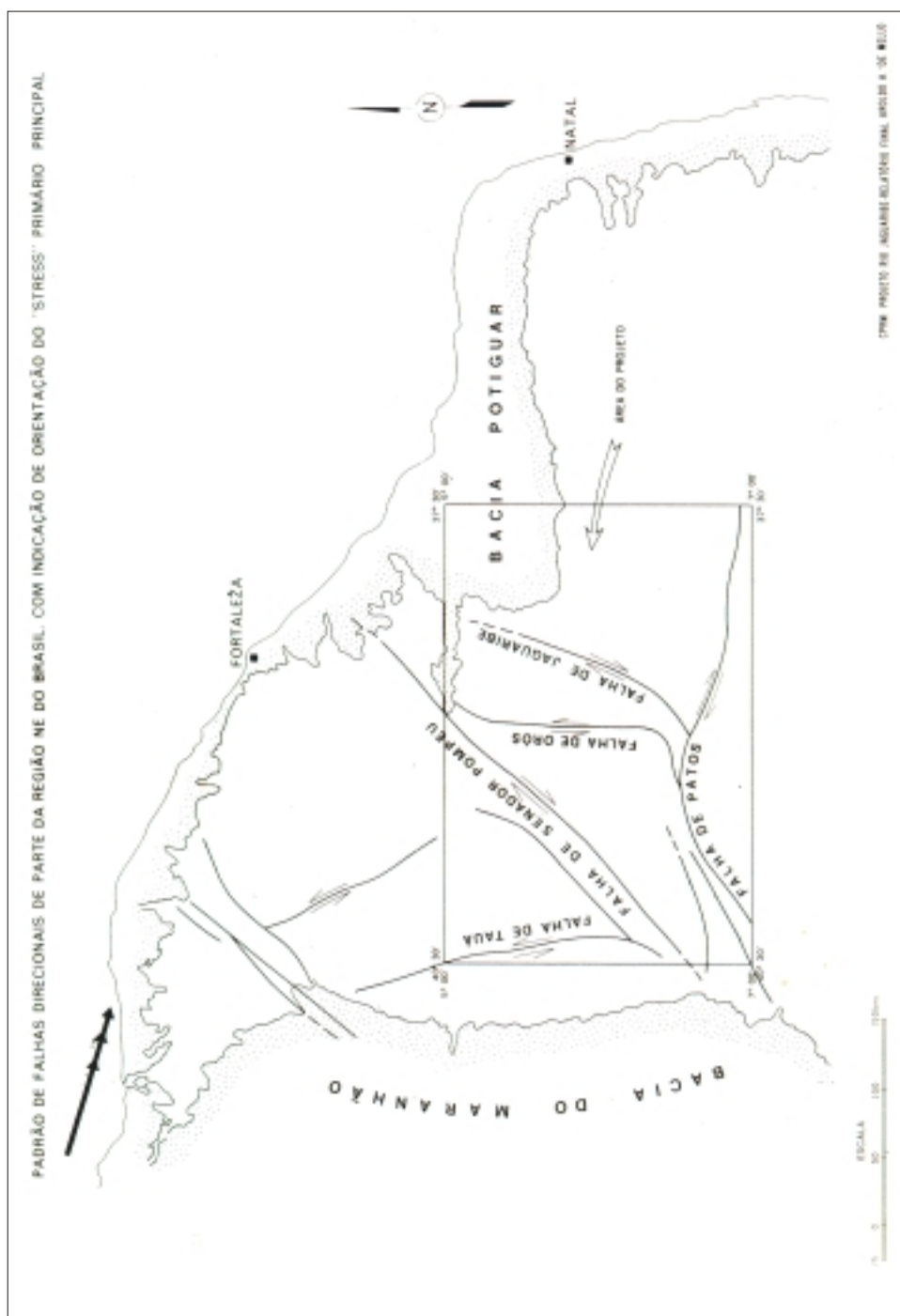


Figura Nº2.1

Na Figura nº 2.2 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Meridianos – 38° 15' a 38° 55' de longitude oeste e Paralelos 5° 00' a 6° 00' de latitude sul, compilada do Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983.



GEOLOGIA REGIONAL

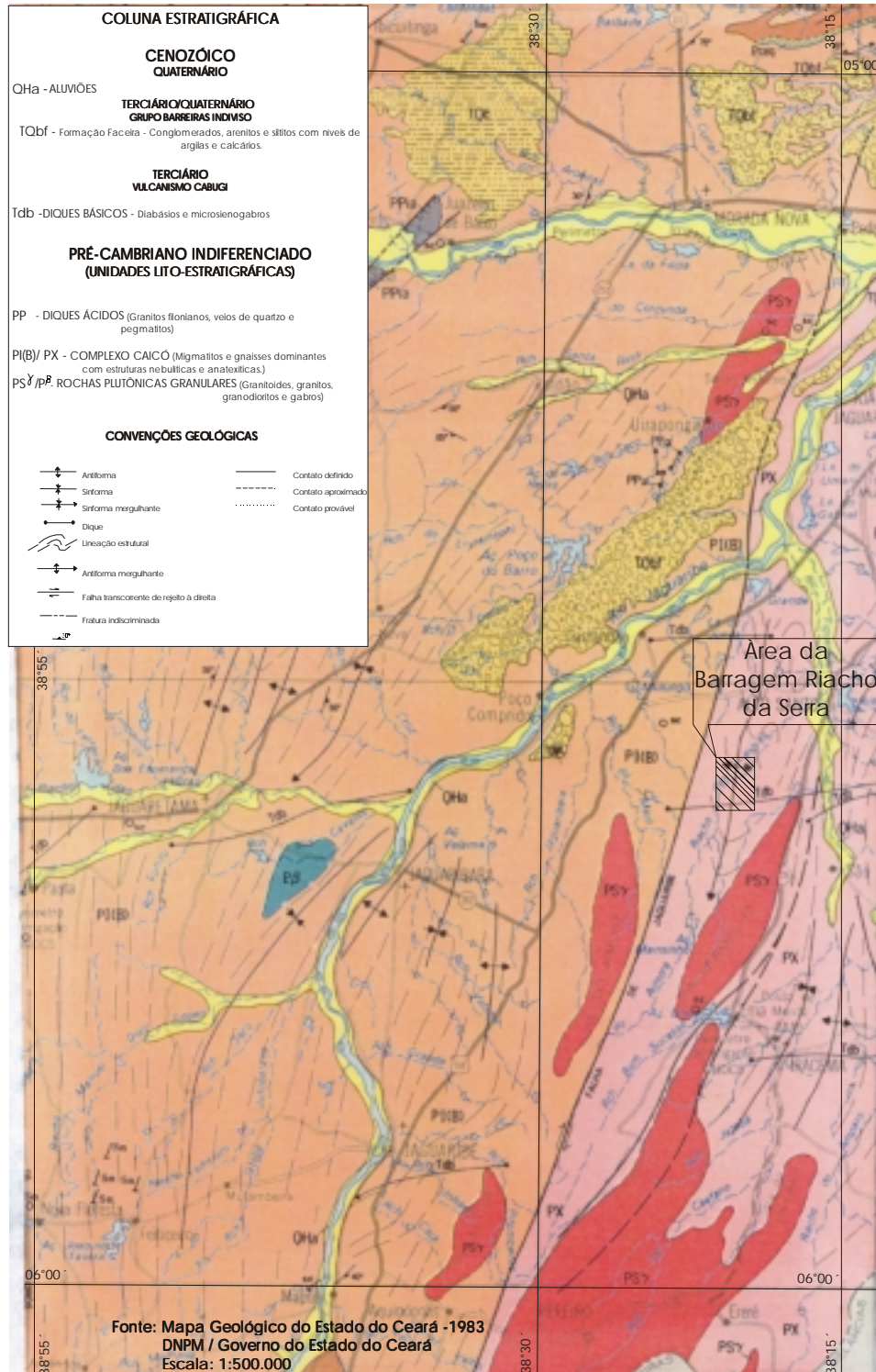


Figura N° 2.2



2.3. GEOLOGIA LOCAL

A área estudada fica no município de Alto Santo, na localidade de Cacimba do Cunha, no Estado do Ceará.

A geologia local foi definida a partir de interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000, reforçada pela visita de campo em que foram feitos os caminhamentos ao longo dos eixos da barragem e sangradouro e reconhecimento da bacia hidráulica, com utilização de bússola e GPS de mão.

Predominam no local as rochas cristalinas do Pré-Cambriano, classificadas no Complexo Caicó, muitas vezes recortadas pôr veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos filoneanos. Há um predomínio das rochas gnáissicas migmatíticas, muitas vezes homogeneizadas e muitas vezes nebulíticas e/ou anatexíticas, exibindo uma granulometria equigranular, com estrutura granítica (Foto N°01).



Foto N°01 - Migmatito homogeneizado mostrando estruturas nebulítica e anatexítica.



Os migmatitos com estruturas planares bem desenvolvidas possuem geralmente uma textura grosseira, cor cinza, exibindo muitos dobramentos, dificultando sobremaneira a definição correta, a nível localizado, da atitude de foliação, onde há o domínio dessas rochas. Nestes migmatitos, são comuns a presença de veios de quartzo, pegmatitos e veios graníticos preenchendo fraturas multidirecionais. Os migmatitos com estruturas homogeneizadas são geralmente de cor cinza-clara, textura média a grossa, e constituídos essencialmente por quartzo, feldspato e biotita. A penetração de mobilizados ácidos ao longo de fraturas, associadas a pequenos deslocamentos, acarreta a presença de “drag-folds” (Foto N° 02).



Foto N°02 – Microfalhamento destrógero, com “drag folds”.



As estruturas nebulítica e anatexítica apresentam-se bem granitizadas, diferindo no discreto arranjo das lineações que ocorrem nos nebulitos e a quase inexistência de lineações nos anatexitos. Os ganisses apresentam foliação bem definida, com bandeamento, cor cinza com variações de tons mais claros e mais escuros, granulação fina a média, contendo essencialmente biotita, feldspato e quartzo, algumas vezes enriquecidos com hornblenda e algo migmatizados.

Os depósitos aluvionares se formam ao longo dos principais rios e riachos formando em alguns locais extensos platôs constituídos por sedimentos silto-areno-argilosos de granulometria fina e cor cinza clara.

A drenagem local ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas. O Riacho da Serra é contribuinte do rio Figueiredo que, por sua vez é afluente do rio Juagaribe.

A foliação dominante na área está orientada concordante com o “trend” regional, ou seja, segundo NE-SW, com mergulhos variando predominantemente entre 20° a 60° para SE.

A bacia hidráulica ocupa uma área caracterizada por um extenso dobramento anticlinal, perceptível nas fotografias aéreas e indicado no mapa geológico da folha SB-24-X-C do Projeto Rio Jaguaribe, que exhibe nesta mesma área o eixo de um dobramento anteforme com caimento para Sul. São bastante visíveis também alguns falhamentos e fraturas recortando a área, predominantemente nas direções E-W e NE-SW, destacando-se um extenso falhamento preenchido por um dique de diabásio, que corta toda a área a aproximadamente 4Km ao sul da barragem, caracterizando a presença do Vulcanismo Cabugi. No reconhecimento de campo verificou-se que as rochas gnaíssicas migmatíticas estão presentes com predominância nos flancos deste dobramento, enquanto que na parte central, ao longo do eixo axial predominam os tipos litológicos mais granitizados, sendo esta zona litologicamente delimitada e definida, no mapa geológico elaborado para a bacia hidráulica, como uma unidade de rochas graníticas.



O evento estrutural de maior importância, considerado em termos regionais, que é a falha de Jaguaribe, passa a aproximadamente 5Km à NW do eixo da barragem.

2.4. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo do eixo topográfico locado, e na área de ocupação da bacia hidráulica, teve como principal objetivo a identificação e classificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que via de regra, no âmbito regional, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o complexo cristalino de idade Pré-Cambriana.

Ao longo do eixo locado, abrangendo uma faixa de 150m para montante e 150m para jusante foram estudadas as ocorrências e mapeados os principais afloramentos contendo rocha em superfície. Na bacia hidráulica os percursos foram feitos de carro de passeio pelos acessos disponíveis na área, com utilização de GPS de mão para anotação dos pontos visitados.

O eixo topográfico locado, que tem orientação geral segundo NW-SE, está estaqueado em campo a cada 20m, sendo esta marcação iniciada a partir da estaca 05 até a estaca 125 no trecho escolhido para o sangradouro; a partir deste ponto há uma deflexão iniciando-se, na ombreira esquerda o eixo da barragem, onde a estaca 12 do sangradouro coincide com a estaca 0 da barragem, cujo eixo se desenvolve até a estaca 61, na ombreira direita. Ao longo desse traçado foram identificadas as seguintes litologias:

- Da estaca **0S a 5S**: o terreno apresenta relevo ondulado e há uma presença marcante de afloramentos, principalmente para montante. Esses afloramentos são formados por uma grande alternância de rochas gnáissicas, migmatíticas e graníticas, numa distribuição caótica, dificultando bastante a definição de um tipo litológico padrão, havendo contudo, uma predominância da textura nebulítica, muitas vezes sendo



observada a lineação estrutural dos minerais, apresentando uma granulometria fina a grossa, algumas vezes porfirítica formando augens de feldspato, dando aspecto granítico à rocha, que possui cor cinza-clara com tons amarelados de alteração, contendo essencialmente feldspato, biotita, moscovita e quartzo. Devido ao domínio do aspecto granítico verificado nos afloramentos presentes, considerou-se, neste trecho, a classificação de granito, estabelecendo-se um contato litológico. Nas porções mais gnaissificadas e migmatizadas a foliação passa a variar bastante conforme os dobramentos, sendo muitas vezes impossível defini-la com segurança. Há casos em que percebe-se o neossoma granítico envolvendo porções migmatíticas e resquícios de paleossoma biotítico. São comuns também os veios quartzo-feldspáticos e pegmatíticos preenchendo as fraturas. Nessa área a foliação se dá preferencialmente em torno de N170°Az, ou seja a direção se orienta praticamente segundo N-S, com mergulhos sub-verticais a verticais. Essa condição é desfavorável com relação ao fluxo de percolação de montante para jusante na área do sangradouro, pois o eixo locado fica posicionado obliquamente ou quase perpendicular à foliação.

- Da estaca **5S a 12S +13,90 = 0 e 12S +13,90 = 0 a 13**: este trecho é marcado pela presença de rochas com as mesmas características petrográficas supra descritas com extensas áreas aflorantes, sendo que se torna marcante o domínio das rochas migmatizadas, que passam a representar a litologia da área. A foliação varia entre N20°Az a N60°Az, ou seja com direção NE-SW, cujo mergulho, devido às condições aflorantes, dificilmente permitiam sua medida, mas nos poucos casos possíveis predominou de forma suave (20° a 40°) para SE. Entre as estacas 5S a 12S + 13,90 = 0, no sangradouro, o eixo se orienta segundo E-W, se comportando ainda com relação à foliação, numa situação desfavorável, quase perpendicular. A partir da estaca 12 +13,90=0 há nova deflexão, e o eixo locado mantém novamente a



orientação segundo NW-SE. Na estaca 13 chega-se à margem esquerda do rio, onde praticamente de montante a jusante as rochas cristalinas fazem contato direto com a calha do rio que forma um leito com largura em média de 7 metros de uma margem a outra, preenchido por areia de granulometria média a grossa de cor cinza-clara.

- Da estaca **13 a 21**: forma-se um extenso e plano terraço aluvionar, onde o solo é constituído de silte areno-argiloso com granulometria fina e cor cinza-clara.
- Da estaca **21 a 25+5,00m**: ressurgem as rochas cristalinas, com predomínio de gnaisses com foliação bem definida, mostrando um bandeamento, granulação fina a média, cor cinza, ricos em biotita. A topografia do terreno se desenvolve de forma mais suave do que o verificado pela margem esquerda, fato esse condicionado ao aspecto litológico e à maior escassez de afloramentos. A foliação se dá predominantemente segundo NE-SW, com mergulho suave (20° a 40°) para SE.
- Da estaca **25+5,00m a 29+10,00m**: ocorre uma faixa de deposição aluvionar com solo de composição silto-areno-argilosa recoberto por plantio de capim. Na estaca 27 há um grande afloramento de migmatito apresentando diversas estruturas dobradas, sendo recortado por uma fratura com 13m de extensão preenchida por um veio quartzo-feldspático (pegmatóide) com direção N10°Az (Foto N°03). A aproximadamente 30 metros para montante a mesma rocha aflora em forma de vários blocos soltos, intensamente fraturados, formando uma elevação que se estende para jusante.
- Da estaca **29+10,00m a 61**: a topografia do terreno continua a se desenvolver de forma plana com suaves ondulações, com poucos afloramentos dispersos evidenciando o domínio dos gnaisses e migmatitos sempre recortados por veios pegmatíticos e mantendo a



foliação concordante com o “trend” regional segundo NE-SW com mergulhos suaves para SE. A partir da estaca 60, na ombreira direita há uma grande área aflorante com predominância dos gnaisses migmatíticos.

Ao longo da faixa percorrida através do eixo barrável nenhuma estrutura de cunho relevante foi identificada. Verifica-se pelo posicionamento na planta da bacia hidráulica que o eixo da barragem fica situado no flanco Leste da anticlinal mapeada onde a foliação dominante tem direção NE-SW e na área situada além da ombreira direita tem-se um extenso fraturamento se desenvolvendo principalmente para montante concordantemente com a foliação.



Foto N°03 - Fratura preenchida com veio quartzo-feldspático recortando a rocha gnaissica-migmatítica.

A partir de 248 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na barragem e no sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura nº 2.3, se dá segundo N60°Az a N70°Az, representando um percentual de 15,32% do total



medido e entre N80°Az a N90°Az, representando 14,91%. O mergulho se dá preferencialmente sub-vertical (60° a 80°) para SE.

São apresentados em anexo o mapa geológico do local da barragem e sangradouro, contendo as unidades litológicas identificadas e os principais afloramentos de rocha que foram mapeados, bem como o mapa geológico contendo as unidades litológicas na área da bacia hidráulica.

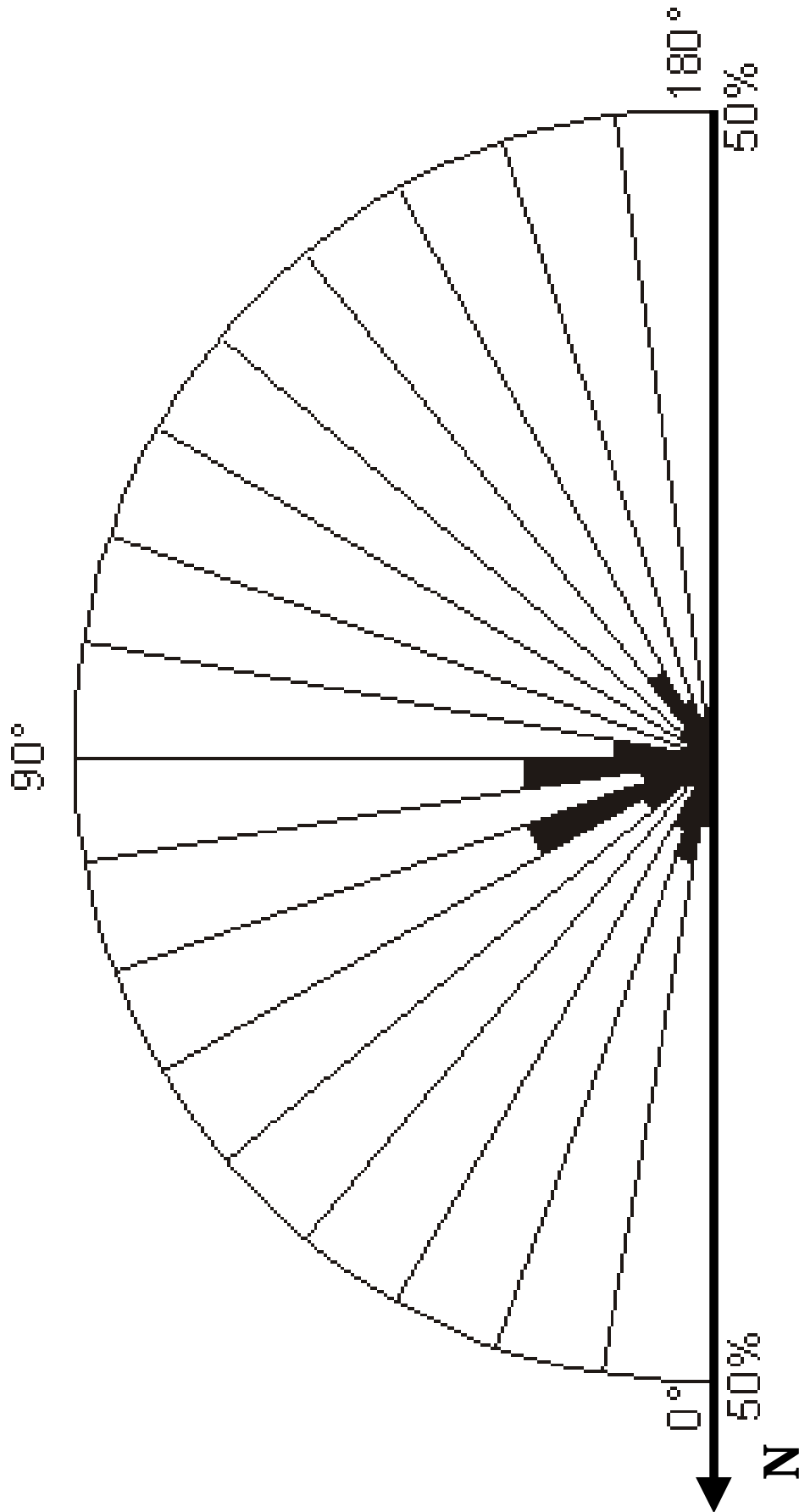


Figura N° 2.3 – Diagrama de fratura para 248 medidas de direções de fraturas



MONTGOMERY WATSON



3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO



3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO

3.1 SONDAGENS REALIZADAS

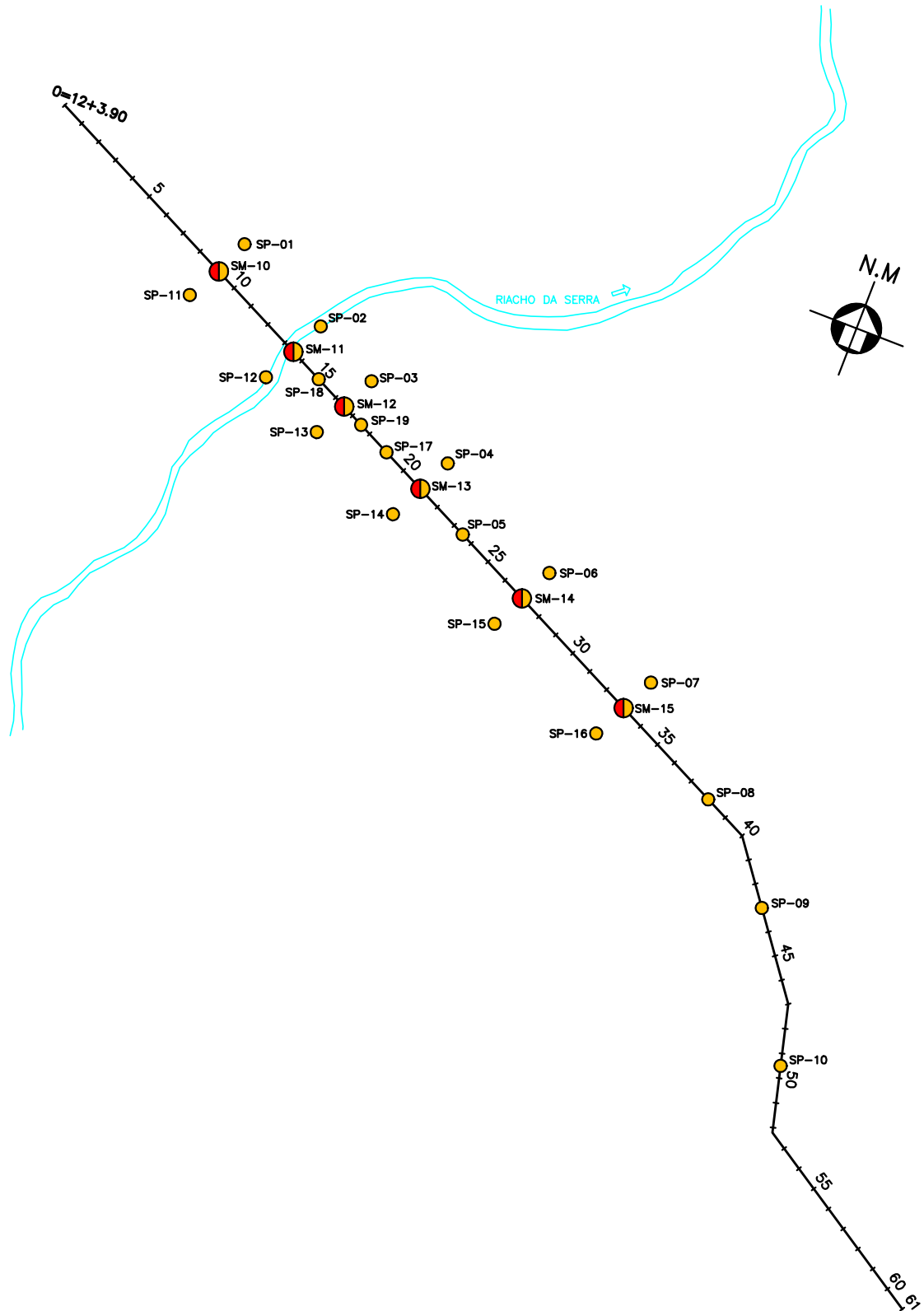
As investigações geotécnicas realizadas no local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Para concretização deste objetivo foram realizadas 25 prospeções mecânicas, sendo 19 sondagens à percussão e 6 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas na figura nº 3.1.

Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em todos os furos das sondagens mistas do eixo. No trecho em solo, estes testes consistiram de ensaios de infiltração de carga e vazão constante e de carga variável (Lefranc) e, no trecho perfurado com sonda rotativa, de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Em algumas sondagens percussivas selecionadas foram, também, realizados ensaios de infiltração. Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são apresentados nos desenhos do Tomo 4 A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

INVESTIGAÇÃO NO BARRAMENTO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

3.1



3.2 SONDAGENS A PERCUSSÃO

Nas sondagens a percussão foram empregados dois processos para avanço do furo, iniciando-se com um trado concha de 4” e prosseguindo-se até alcançar o nível d’água ou tornar-se inoperante diante da consistência ou compacidade do material encontrado. A partir destas condições o furo foi revestido e passou-se então ao processo de perfuração com circulação de água, usando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação e a remoção do material escavado através da água de lavagem. Ao ser encontrado material resistente ao avanço pelo processo de circulação de água o furo foi interrompido.

Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2” e 1 3/8” de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual foi cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer tal ferramenta penetrar cada 15cm no terreno, até uma penetração total de 45cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15cm, ou seja, dos 30cm finais de cravação, está apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens, no Tomo 4-A Estudos Geotécnicos - Anexos. Esta soma de golpes é denominada de “Standard Penetration Test (SPT)”.

Na Tabela N° 3.1, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas, suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

Tabela N° 3.1: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Riacho da Serra Sondagem Percussiva							
N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-01	9 (30m para jusante)			84,275	Rocha aflorante	-	
SP-02	13+10,00 (30m para jusante)	574.772	9.385.115	74,547	4,38	4	Fofa
SP-03	16+10,00 (30m para jusante)	574.826	9.385.089	74,295	10,05	2	Muito mole

**Tabela Nº 3.1: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Riacho da Serra
Sondagem Percussiva**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-04	21 (30m para jusante)	574.894	9.385.022	74,994	1,30	14	Rija
SP-05	23+10,00	574.939	9.385.000	77,712	0,60	62/25	Muito Compacta
SP-06	27 (30m para jusante)	575.015	9.384.996	75,060	3,23	4	Fofa
SP-07	33 (30m para jusante)	575.123	9.384.944	80,721	0,53	38/18	Dura
SP-08	38 (eixo)	575.199	9.384.873	85,005	1,05	42	Compacta
SP-09	43 (eixo)	575.271	9.384.807	86,705	0,37	45/17	Muito Compacta
SP-10	49+10,00 (eixo)	575.331	9.384.694	83,818	0,38	57/21	Muito compacta
SP-11	9 (30m para jusante)			81,15	Rocha aflorante	-	
SP-12	13+10,00 (30m para montante)	575.746	9.385.061	73,302	4,45	2	Fofa
SP-13	16+10,00 (30m para montante)	574.800	9.385.035	74,841	10,88	5	Média
SP-14	21 (30m para montante)	574.881	9.384.995	77,595	0,45	59/25	Muito Compacta
SP-15	27 (30m para montante)	574.989	9.384.943	75,662	0,33	36/13	Muito Compacta
SP-16	33 (30m para montante)	575.096	9.384.890	79,090	1,20	33	Dura
SP-17	19 (eixo)	574.858	9.385.040	74,920	4,70	4	Fofa
SP-18	15 (eixo)	574.786	9.385.075	74,742	8,06	4	Fofa
SP-19	17+10,00 (eixo)	574.831	9.385.053	74,953	8,89	4	Fofa

3.3 SONDAGENS MISTAS

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. O processo de execução do trecho percussivo foi semelhante ao descrito no subitem 3.1- Sondagem Percussiva. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa NX



de diamante acoplada a um barrilete duplo. A sonda utilizada foi a MARCH-850 e a SS21-SONDEC. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

Na Tabela Nº 3.2, a seguir, são relacionadas as sondagens mistas, informadas suas referencias plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

**Tabela Nº3.2: Investigação Geotécnica No Eixo Da Barragem Riacho da Serra
Sondagem Mista**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Mínimo	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-10	9+2,00	574.644	9.385.144	81,563	0,40	12,11	-	Gnaisse c/ veios pegmatíticos, muito dura, gran fina, maciça
SM-11	13+10,00	574.759	9.385.088	74,648	4,50	13,04	12	Gnaisse muito dura, gran fina, maciça
SM-12	16+10,00	574.813	9.385.062	74,374	10,70	16,30	5	Gnaisse muito dura, gran fina, maciça
SM-13	21	574.894	9.385.022	74,994	2,00	7,55	33	Gnaisse muito dura, gran fina, maciça
SM-14	27	575.002	9.384.970	75,279	1,85	15,40	9	Gnaisse muito dura, gran fina, foliada/macica
SM-15	33	575.110	9.384.917	80,841	1,50	11,30	32	Gnaisse muito dura, gran fina, foliada/macica

Portanto, na região do maciço do barramento foram executadas 6 sondagens mistas, totalizando 96,65 m, dos quais 20,95 m com emprego de sonda percussiva e 75,70 m com sonda rotativa.

3.4. ENSAIOS DE CAMPO

Nas sondagens percussivas SP-02, SP-03, SP-04, SP-12, SP-13, SP-16 e SP-17 e nas sondagens mistas, trecho em solo, SM-11, SM-12 e SM-13 foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. Os ensaios de permeabilidade em solos foram executados conforme



as orientações para a sua execução no campo preconizadas no Boletim Nº 04 (junho de 1996) pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

Nas sondagens mistas, trecho em rocha, SM-10, SM-11, SM-12, SM-13, SM-14 e SM-15 foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. Os ensaios de perda d'água Lugeon foram executados conforme as orientações preconizadas no Boletim Nº 02 da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas na Tabela 3.3, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no Tomo 4 A.

Tabela Nº3.3: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Riacho da Serra Ensaios de Campo

Nº	Estaca	Extensão Sondada	Nº de Ensaios Lefranc	Nº de Ensaios Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'água Específica Registrada	Profundidade de máxima Permeab. / Perda D'água
SP-02	13+10,00 (30m para jusante)	4,38	3	-	3,8x10E-4	-	3,60
SP-03	16+10,00 (30m para jusante)	10,05	6	-	6,7x10E-3	-	5,00
SP-04	21 (30m para jusante)	1,30	1	-	1,9x10E-4	-	1,00
SP-12	13+10,00 (30m para montante)	4,45	4	-	1,8x10E-2	-	1,00
SP-13	16+10,00 (30m para montante)	10,88	7	-	2x10E-3	-	2,00
SP-16	33 (30m para montante)	1,20	1	-	Não absorveu	-	-
SP-17	19 Eixo	4,70	3	-	6,9x10E-4	-	2,00
SM-10	9+2,00 Eixo	12,51	-	4	-	0,73	/4,0 a 7,0
SM-11	13+10,00 Eixo	17,54	2	4	1,8x10E-2	2,88	2,00 /7,84 a 10,84
SM-12	16+10,00 Eixo	27,00	2	5	1,9x10E-4	1,46	/5,00 /11,73a 14,73
SM-13	21 Eixo	9,55	1	2	Não absorveu	1,77	/5,50 a 8,50
SM-14	27	17,25		5		0,56	/11,25

**Tabela Nº3.3: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Riacho da Serra Ensaios de Campo**

Nº	Estaca	Extensão Sondada	Nº de Ensaios Lefranc	Nº de Ensaios Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'água Específica Registrada	Profundidade de máxima Permeab. / Perda D'água
	Eixo						a14,25
SM-15	33 Eixo	12,80	-	4	-	0,09	/8 a 11

Perda D'água em l/min/m/atm

3.4. COMENTÁRIOS

Desta campanha de sondagem realizada no boqueirão da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- a- Na zona da calha do rio, aproximadamente entre estacas 13 e 21 (160m de extensão), ocorre um depósito aluvionar com espessura considerável, atingindo na estaca 16+10,00 um total de 10,7m de profundidade. Este pacote aluvionar se caracteriza por uma camada de silte arenoso com até 3,0m de espessura, seguida de até 1,6 m de areia fina e média pouco siltosa e, em seguida, uma camada de até 5,6m de areia média e grossa com cascalho e um solo residual areno siltoso com cerca de 0,50 m, em contato com o maciço rochoso caracterizado por gnaisse. O nível d'água, na região da calha do rio, foi encontrado nas profundidades limites de 1,36m (estaca 13+10) e 2,25 m (estaca 16+10), entre o final de junho e começo de julho/01.
- b- Os ensaios de penetração SPT indicaram compacidades de pouco compacta a muito compacta para o pacote arenoso da fundação, com exceção dos dois primeiros metros superficiais onde a areia siltosa apresenta-se fofa, com SPT de 2 a 4 golpes. Não foram encontrados materiais argilosos/siltosos de compactidade preocupante em nenhum furo da campanha de sondagem, o menor valor encontrado neste material foi uma única passagem com SPT de 8 golpes.
- c- Com base nos ensaios de infiltração realizados nos furos de sondagem no aluvião da calha do rio, pode-se considerar que a camada silto arenosa possui uma permeabilidade entre 4×10^{-4} e 5×10^{-5} , a areia fina a média de 3×10^{-3} a 5×10^{-4} e a areia média a grossa de 2×10^{-2} a 8×10^{-4} .



- d- As perdas d'água no ensaio Lugeon indicaram, de um modo geral, valores pouco significativos nas ombreiras e médios na calha do rio, onde obteve-se o maior valor de perda d'água específica de 2,88 l/min/m/atm. No entanto, a análise mais detalhada do ensaio de maior perda indica que este valor foi obtido no primeiro estágio de pressão (pressão mínima) e que a rocha neste trecho apresenta um fraturamento de cerca de 5 fraturas por metro, com mergulho predominante na faixa de 30° a 70°. Para a carga efetiva máxima aplicada neste mesmo furo a perda d'água específica alcançou menos da metade deste valor, 1,14 l/min/m/atm. O comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas foi predominantemente "turbulento com fechamento", tendo ocorrido também muitos casos de "deformação com fechamento". Portanto, com base nestes ensaios, é de se prever que o substrato rochoso não deve apresentar valores preocupantes de condutibilidade hidráulica, mesmo na calha do rio.
- e- Na calha do rio subjacente ao pacote aluvionar, constatou-se a presença de uma rocha biotita-gnaiss, com veios pegmatíticos, muito dura com RQD acima de 80%.
- f- Na ombreira esquerda o topo rochoso encontra-se pouco profundo, inclusive aflorando em várias locais, subjacente a um delgado manto de solo residual silto arenoso com fragmentos de rocha. A rocha foi classificada como biotita-gnaiss com veios pegmatíticos, muito dura, com excelente recuperação, mostrando RQD (Rock Quality Designations) de 100%.
- g- Na parte alta da ombreira direita ocorrem também solos residuais, de composição silto arenosa ou silto argilosa, micáceos, com pequena espessura. A rocha subjacente foi classificada como biotita-gnaiss, que até 5,0m de profundidade apresenta-se medianamente alterada, dura, com RQD em média de 60%, e a partir desta profundidade mostra-se muito dura, geralmente são, com RQD em média acima de 80%.



MONTGOMERY WATSON



4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO



4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO

4.1. SONDAGENS REALIZADAS

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas.

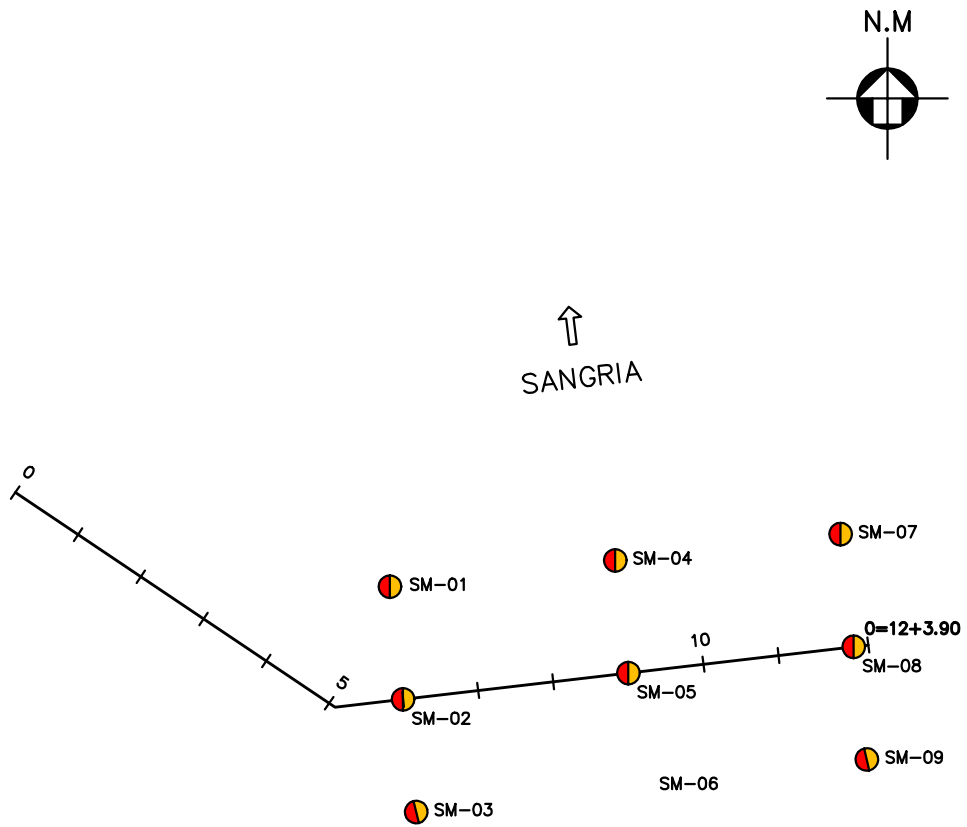
Para este fim foram realizados 9 furos de sondagens mistas (iniciado por percussiva e prosseguido com sonda rotativa), nas posições indicadas na figura nº 4.1, deste Tomo e nos desenhos do Tomo 4 A. Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são, também, apresentados nos Desenhos do Tomo 4 A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa. O processo de execução destas sondagens obedeceu ao mesmo processo descrito anteriormente, nos subitens 3.1 e 3.2, para sondagens a percussão e rotativa.

Na Tabela Nº 4.1, a seguir, é mostrada a relação das sondagens realizadas no local do sangradouro.

INVESTIGAÇÃO NO SANGRADOURO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:

1:2.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

4.1

**TABELA Nº 4.1: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA SANGRADOURO**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-01	6 (30m para jusante)	574.390	9.385.222	90,554	8,00	6,00	Gnaiss mod. Dura, gran fino, foliado	Ligeramente Intemper.
SM-02	6 (eixo)	574.394	9.385.192	92,624	1,60	6,10	Gnaiss mod. Dura, gran fino, foliado c/ veios pegmatito	Medianam. Intemper.
SM-03	6 (30m para montante)	574.399	9.385.162	90,086	0,65	7,35	Gnaiss macio a mod duro e pegmatito dura maciça	Ligeram. Intemper.
SM-04	9 (30m para jusante)	574.450	9.385.229	90,004	1,05	8,15	Gnaiss dura, gran fino, foliado a maciço	Ligeram. Intemper.
SM-05	9 (eixo)	574.453	9.385.199	93,266	2,45	9,05	Gnaiss mod a muito duro e pegmatito dura maciça	Medianam. Intemper
SM-06	9 (30 m para montante)	574.457	9.385.169	91,349	0,50	9,50	Gnaiss muito dura, gran fino, maciço	Medianam. Intemper
SM-07	13 (30m para jusante)	574.509	9.385.236	93,206	0,80	8,30	Gnaiss mod. dura, gran fino, foliado	Medianam. Intemper
SM-08	12 (eixo)	574.513	9.385.206	93,149	1,07	7,93	Gnaiss muito dura, gran fino, maciço c/ veios de pegmatito	Ligeram. Intemper
SM-09	12 (30m para montante)	574.516	9.385.196	91,508	1,10	8,00	Gnaiss dura, gran fino, maciço c/ veios de pegmatito	Medianam. a ligeram. Intemper.

4.2. COMENTÁRIO

Desta campanha de sondagem realizada no sangradouro da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- Desconsiderando a sondagem SM-01, existe uma capa de solo, de espessura média de 1,00m, constituída por um material areno-siltoso, com fragmentos de rocha, compacto a muito compacto, sendo muitas vezes caracterizado como um solo residual ou como uma alteração de rocha.



- Esta camada de solo está sobrejacente a um substrato rochoso com elevado grau de recuperação e baixo RQD. Na seção mais a esquerda do sangradouro (estaca 6 S) este substrato compõe-se de intercalações de pegmatito moderadamente a muito duro, maciço com gnaiss macio a duro, foliado de ligeiramente a medianamente intemperizado com fraturas na ordem de 10 por metro, chegando a jusante do eixo a alcançar 20 fraturas/ m.
- Na seção central (estaca 9 S) as sondagens de montante e jusante do eixo indicaram a ocorrência de um gnaiss moderadamente duro a muito duro, ora foliado ora maciço, ligeiramente intemperizado, com fraturas na ordem de 5 a 10 por metro. No eixo foram constatadas intercalações de gnaiss moderadamente a muito duro, foliado na superfície e maciço em maiores profundidades, com pegmatito duro a muito duro, maciço, ligeiramente intemperizado, com fraturamento de cerca de 5 a 10/m. Nesta sondagem foi encontrado o topo rochoso na cota 79,20 m e verificada a existência de uma fratura, preenchida de areia fina e média, entre as cotas 75,0 e 74,0.
- Na seção do lado direito do sangradouro (estaca 12 S) as sondagens indicaram a presença de um gnaiss moderadamente duro a muito duro, de ligeiramente a medianamente intemperizado, com um nível de fraturamento de 5 um/ m, no entanto, na prospeção de montante a rocha chegou a apresentar-se altamente intemperizada com uma frequência maior de fraturas, cerca de 10 a 20/ m.
- De um modo geral percebe-se, através da campanha de sondagens realizada no sangradouro, que o substrato rochoso apresenta até 3,0 m de profundidade um intemperismo mais acentuado, com um grau elevado de fraturamento, mostrando menores índices de recuperação de testemunhos e baixos valores de recuperação modificada RQD.



MONTGOMERY WATSON



5. ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS



5. ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da barragem foram iniciados por um simples reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento, de modo que fossem selecionadas as ocorrências potencialmente aproveitáveis, levando-se em conta a qualidade do material e os volumes disponíveis.

Com fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 4 jazidas de solos, 1 pedreira, um areal, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista na figura nº 5.1, a seguir.

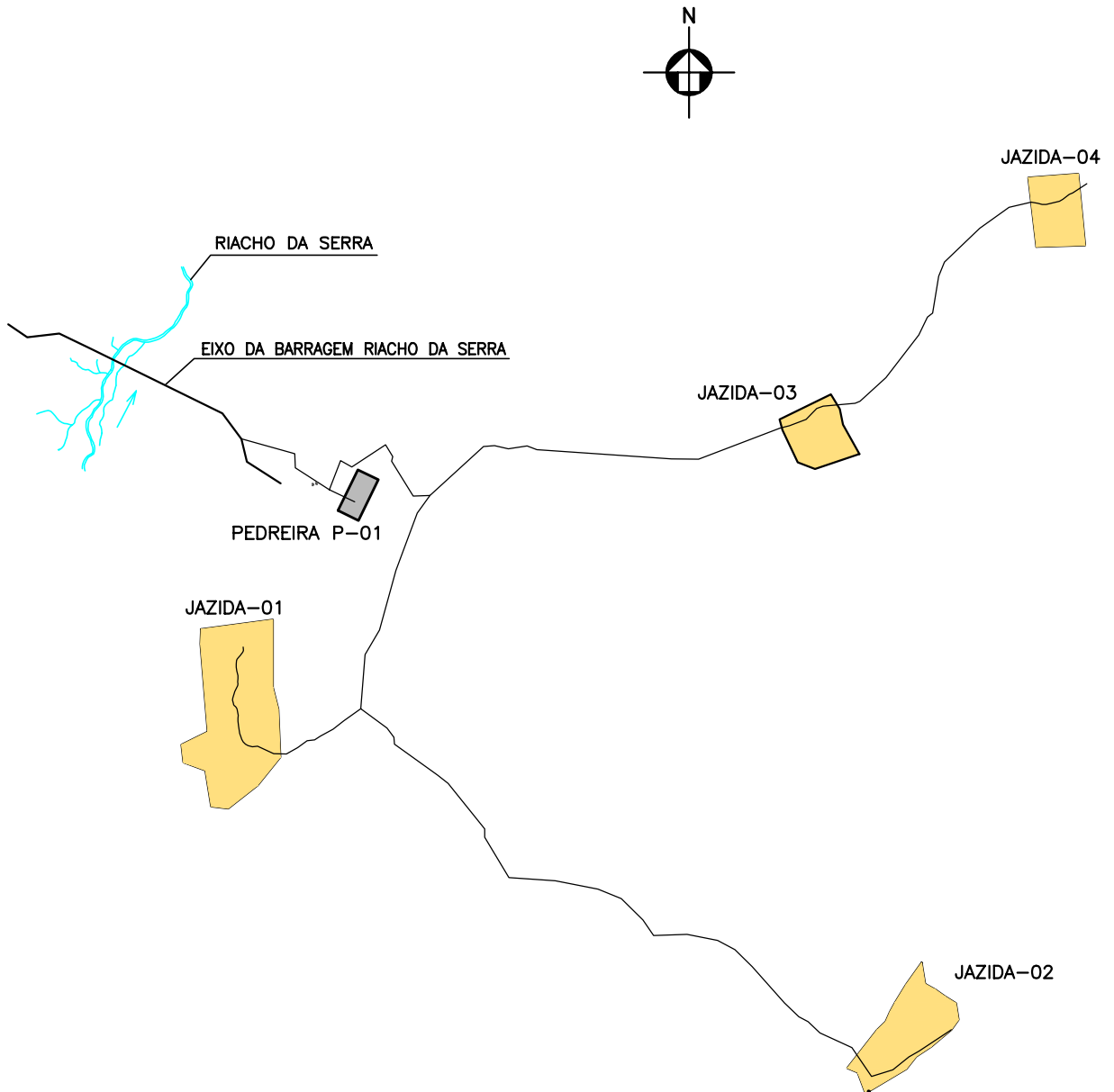
A jazida J-01, situada num morrote de encostas íngremes, no lado direito do futuro reservatório, apresenta uma grande área de rocha alterada e fragmentos de rocha de dimensões variadas, com finos areno siltosos, que poderá representar um aterro com nível razoável de permeabilidade. No entanto, sua proximidade com o local do barramento sugere seu emprego, em zonas selecionadas do maciço da barragem, para maior economia do empreendimento.

Para compor as zonas mais impermeáveis do maciço foram necessárias a indicação de 3 áreas de solos mais plásticos, que ocorrem com pouca frequência na região e com espessuras reduzidas. As áreas selecionadas distam cerca de 6 km para o eixo da barragem.

5.1. JAZIDA DE SOLOS

As jazidas de solo foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 50m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas figuras nº 5.2 a 5.5. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados tátil visualmente e medidas suas espessuras, conforme apresentado nos boletins de campo no volume 4 A- Geologia e Geotecnia- Anexos. Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas a campanha de ensaios geotécnicos, a saber:

LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS
DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:

1:30.000

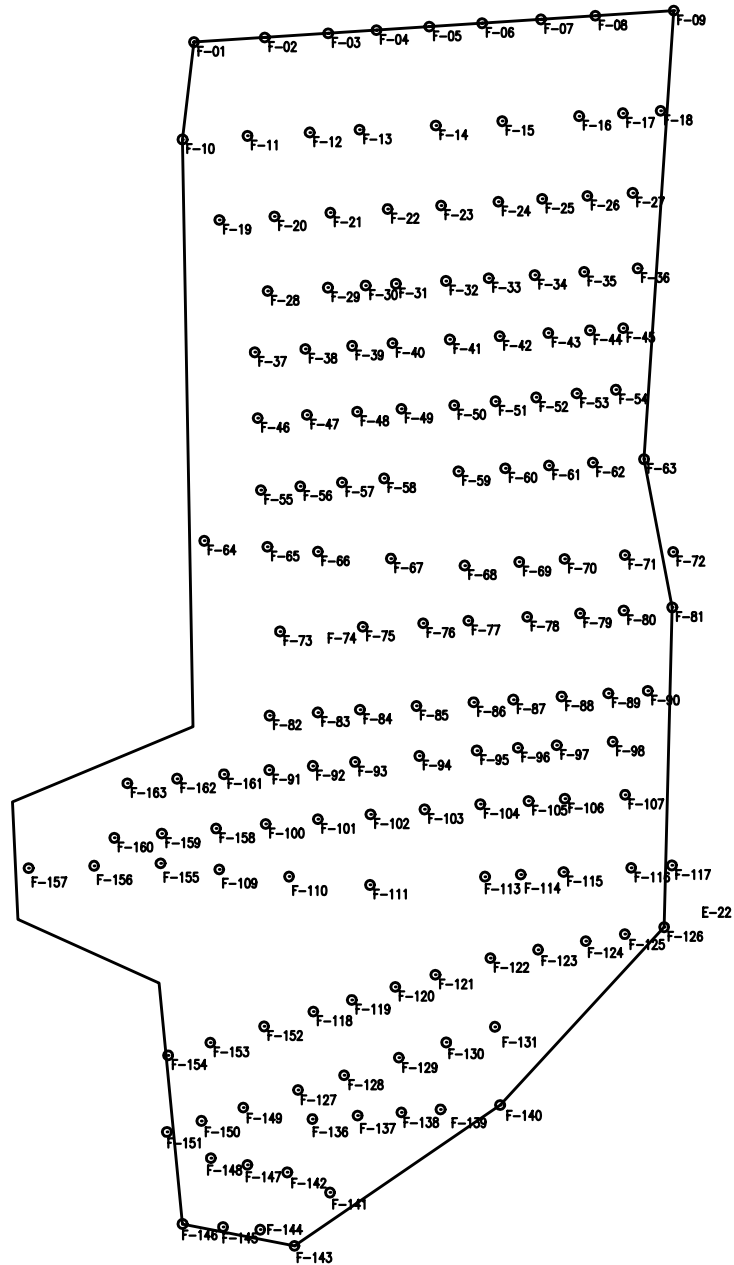
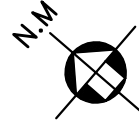
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.1

JAZIDA-01



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:

1: 5.000

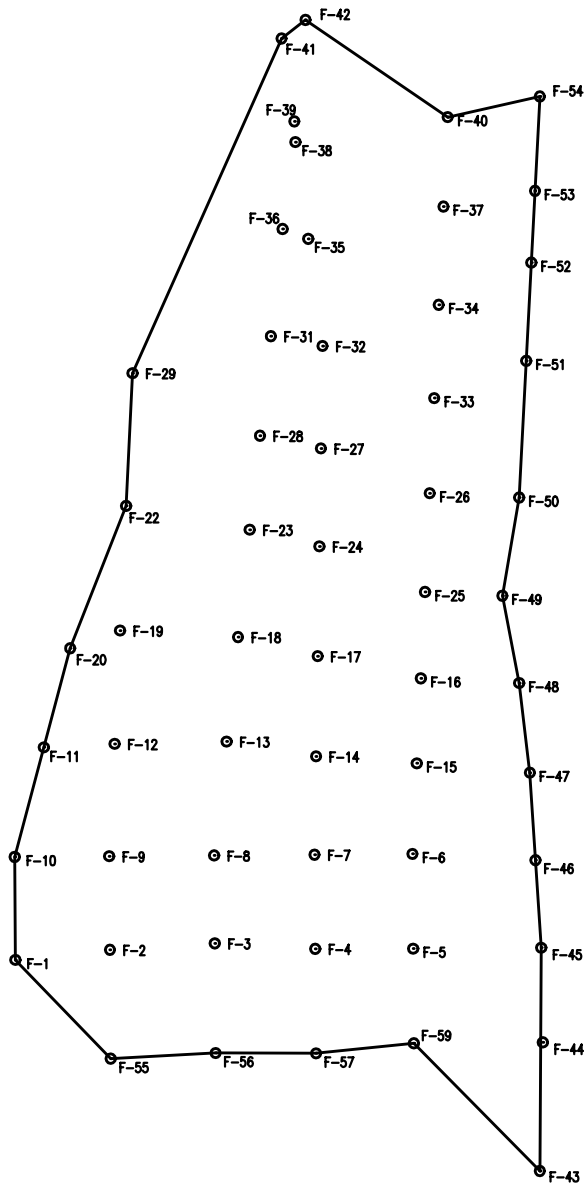
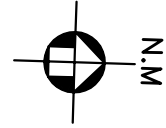
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.2

JAZIDA-02



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:

1: 4.000

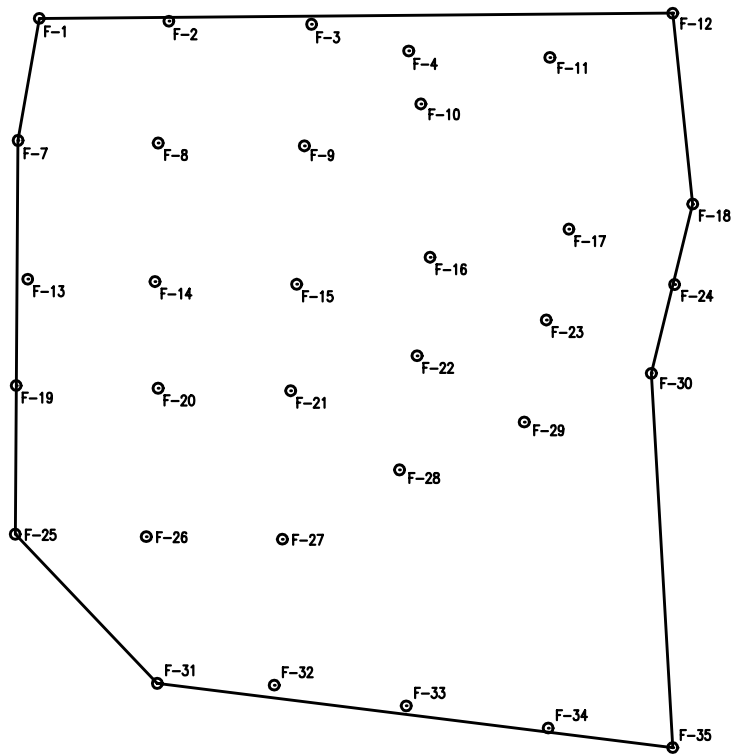
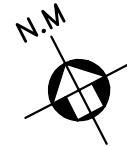
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.3

JAZIDA-03



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:

1: 3.000

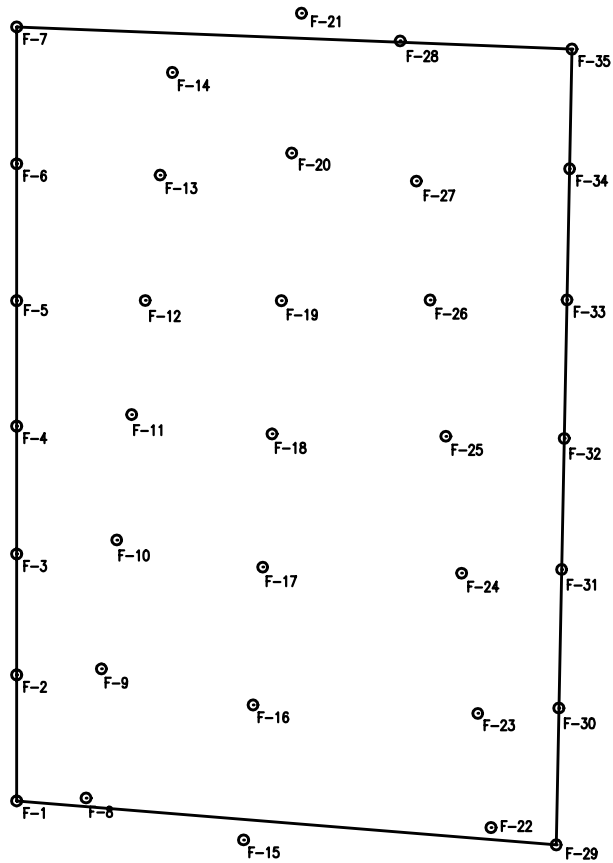
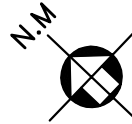
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.4

JAZIDA-04



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:

1: 3.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.5



- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 80-64)
- Granulometria por Sedimentação (DNER-ME 51-64)
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71)
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82-63)
- Compactação – Proctor Normal (DNER-ME 48-64)
- Peso Específico dos Grãos. (DNER-ME 93-64)

Na Tabela N° 5.1 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório.

Jazida	Granulometria (% que passa)								Plasticidade (%)			USC	γ _g	Hót	γ _{smáx}
	1"	¾"	½"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	LL	LP	IP				
J-01	100	99	95	93	87	80	53	34	33	23	10	SC	2,69	14,0	1,827
J-02	100	100	100	99	94	84	57	38	38	27	11	SC	2,67	14,8	1,853
J-03	100	100	99	97	93	86	60	33	35	26	9	SC	2,66	14,8	1,815
J-04	100	100	99	96	91	81	49	26	35	26	9	SC	2,68	13,4	1,909

A tabela 5.2 apresenta características gerais das jazidas e tabela 5.3 ilustra um quadro resumo dos volumes expurgável e utilizável.

	Jazida J - 01	Jazida J - 02	Jazida J - 03	Jazida J - 04
Proprietários	Carlos. Gomes/ José de Oliveira	-	-	-
Área Estudada (m ²)	245.969	116.403	69.305	67.664
N° de poços executados	164	59	35	35
Espessura média do expurgo (m)	0,10	0,10	0,10	0,10
Espessura média de material utilizável (m)	0,72	0,60	0,37	0,42
Volume de expurgo (m ³)	24.597	11.640	6.930	6.766
Volume de material utilizável (m ³)	177.098	69.842	25.643	28.419
Distância ao eixo da barragem (m)	3605	6145	3.733	5.271

**Tabela 5.3: Volume de Materiais das Jazidas**

Local	Volume (m ³)	
	Utilizável	Expurgável
Jazida J - 01	177.098	24.597
Jazida J - 02	69.842	11.640
Jazida J - 03	25.643	6.930
Jazida J - 04	28.419	6.766
Volume Total	301.002	49.933

As tabelas 5.4 e 5.5 apresentam os resultados dos ensaios realizados em cada jazida.

**TABELA 5.4: Quadro Resumo dos Ensaios - Jazida J-01**

Furos	12	16	39	60	63	75	79	97	101	105	117	121	127	139	144	151
GRANULOMETRIA																
2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	100	100	99	100	100	95	100	98	100	100	96	94	97	100	100	100
1/2"	98	98	97	98	95	85	97	95	98	100	91	89	92	96	99	100
3/8"	97	96	95	98	93	80	96	93	95	100	90	87	90	92	98	99
Nº 4	91	91	91	93	86	66	90	87	90	99	83	81	80	88	95	96
Nº 10	71	85	85	87	77	57	78	81	84	97	77	76	74	81	89	87
Nº 40	45	49	47	66	37	21	32	52	58	77	56	62	59	61	72	65
Nº 100	33	36	36	52	23	10	23	35	49	57	37	51	45	47	54	49
Nº 200	30	31	32	48	16	6	20	30	42	51	32	47	40	43	49	43
<0,005	10			29				8				24		19		17
LIMITES DE ATTERBERG																
LL	26,1	29,3	32,0	43,0	NL	NL	28,0	32,1	32,2	38,2	40,0	42,0	42,2	36,3	44,2	35,1
LP	20,0	22,2	24,1	28,0	NP	NP	24,0	24,8	22,4	25,0	26,0	26,0	28,0	24,2	27,9	24,2
IP	6,1	7,1	7,9	15,0	NP	NP	4,0	7,3	9,8	13,2	14,0	16,0	14,2	12,1	16,3	10,9
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																
U.S.C.S.	SC	SC	SC	SC	SM	SW	SC	SC	SC	CL	SC	SC	SC	SC	SC	SC
COMPACTAÇÃO																
Densidade Seca - γ_s (g/cm ³)	1,865	1,857	1,819	1,770	1,866	1,832	1,843	1,922	1,825	1,678	1,866	1,740	1,759	1,908	1,754	1,840
Umidade Ótima (%)	12,50	12,70	12,50	16,10	11,60	12,90	12,00	12,80	13,40	15,50	14,00	18,10	17,40	12,00	17,20	12,90
ENSAIOS IN SITU																
Umidade Natural (%)		3,60	3,10	3,10		4,10				3,90		3,1	3,6			
Peso Específico Natural (g/cm ³)		1,490	1,546	1,470		1,492				1,384		1,452	1,431			
PERMEABILIDADE																
Permeabilidade (cm/s)	9,0E-07			7,7E-07				9,9E-07				8,3E-07		8,4E-07		9,4E-07



TABELA 5.5: Quadro Resumo dos Ensaios

Furos	Jazida J - 02						Jazida J - 03						Jazida J - 04						
	05	08	10	16	27	42	02	09	13	21	23	33	02	09	13	21	23	33	
Granulometria																			
% que passa	2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	1"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	3/4"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	1/2"	100	100	99	100	100	99	100	100	99	97	96	100	100	100	99	99	96	98
	3/8"	100	100	98	99	99	99	97	100	98	94	94	100	99	99	98	96	91	94
	Nº 4	94	98	94	93	92	94	93	97	96	88	88	98	97	96	96	92	79	83
	Nº 10	79	93	88	79	81	81	85	86	91	81	82	93	88	90	97	85	66	68
	Nº 40	46	63	51	59	60	62	54	55	61	60	60	69	62	64	59	57	25	28
	Nº 100	36	46	36	43	45	47	38	40	33	41	43	48	42	43	38	37	12	15
	Nº 200	33	40	30	39	40	43	31	35	24	32	36	41	36	35	32	30	10	13
	<0,005	11	14	8					12		12	14		10	12		9		
LIMITES DE ATTERBERG																			
LL	32,1	40,2	30,4	44,4	39,1	44,3	34,1	36,1	32,1	35,1	38,2	34,2	35,1	36,1	35,1	34,2	34,2	33,3	
LP	24,0	28,1	24,0	28,1	27,1	27,9	28,0	26,3	26,4	25,3	24,1	25,7	24,8	25,1	26,3	26,0	27,2	26,1	
IP	8,1	12,1	6,4	16,3	12,0	16,4	6,1	9,8	5,7	9,8	14,1	8,5	10,3	11,0	8,8	8,2	7,0	7,2	
CLASSIFICAÇÃO USCS																			
U.S.C.S.	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	
COMPACTAÇÃO																			
Densidade Seca - γ_s (g/cm ³)	1,84 9	1,901	1,943	1,727	1,865	1,831	1,880	1,821	1,771	1,835	1,838	1,875	1,860	1,851	1,894	1,935	1,966	1,950	
Umidade Ótima (%)	13,6	14,8	11,3	15,0	16,9	17,2	11,68	13,00	12,50	14,50	13,60	13,20	11,80	12,02	10,68	10,40	10,03	10,21	
ENSDAIOS IN SITU																			
Umidade Natural (%)	3,1	3,1	4,1	3,6	3,1	4,1	3,1	4,1	3,6	3,6	3,1	3,1	3,1	4,1	3,6	3,6		3,1	
Peso Específico Natural (g/cm ³)	1,52 2	1,376	1,558	1,430	1,490	1,473	1,459	1,511	1,385	1,483	1,382	1,473	1,422	1,519	1,512	1,512		1,557	
PERMEABILIDADE																			
Permeabilidade (cm/s)	8,1E-07	7,9E-07	1,1E-06				9,4E-07		9,1E-07	7,9E-07			8,3E-07	8,0E-07		1,0E-06			



Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foram realizados os seguintes ensaios especiais nas ocorrências de solo:

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Triaxial (tipo Consolidado Drenado – lento)

Como os ensaios de permeabilidade de carga variável e o triaxial não são normalizados, foram realizados por técnicas usuais.

Tabela Nº 5.6: Valores Médios dos Ensaios Especiais das Jazidas			
Jazida	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)	Triaxial	
		Coesão (kgf/cm²)	φ (°)
J-01	8,8x10 ⁻⁷	0,11	31,2
J-02	9,0x10 ⁻⁷	0,24	27,6
J-03	8,8x10 ⁻⁷	0,17	30
J-04	8,8x10 ⁻⁷	0,21	30,5

5.2. AREAL

O areal identificado e estudado para a execução do filtro vertical, dreno horizontal, e concretos consta de bancos no leito do rio Figueiredo, a cerca de 9 km de distancia para o eixo, compostos de areia grossa. Na calha do riacho da Serra as sondagens mecânicas identificaram depósitos de areia, de textura grossa a média, com espessura de até 3,30 m e excelentes características para o emprego nas obras da barragem. Caso o projeto opte pela escavação da fundação para implantação de uma trincheira de vedação, estas areias deverão ser aproveitadas.

Foram coletadas amostras do areal do rio Figueiredo para a realização dos seguintes ensaios de laboratório:

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 51-64)

Na Tabela Nº 5.7 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.



Tabela Nº 5.7 Valores Médios dos Ensaios do Areal										
Granulometria (% que passa)								D_{max} (mm)	M.F.	USC
1"	3/8"	Nº4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100			
100	100	97	88	60	20	1	-	4,8	3,36	SP

A tabela 5.8 apresenta um resumo de características gerais do areal estudado.

Tabela 5.8: Características Gerais do Areal	
Área Estudada (m ²)	50.000
Nº de poços executados	16
Espessura média de material utilizável (m)	0,94
Volume de material utilizável (m ³)	47.000
Distância ao eixo da barragem (m)	9.000

Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foi realizado o ensaio de permeabilidade de carga constante. Como este ensaio não se encontra normalizado, foi realizado por técnicas usuais, recomendados por literatura. O valor médio encontrado é mostrado na Tabela Nº 5.9.

Tabela Nº 5.9 Valores Médios dos Ensaios Especiais do Areal	
Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)	
5,0x10 ⁻³	

5.3. PEDREIRA

A pedreira escolhida situa-se a 600 m a jusante da ombreira direita da barragem e tem como finalidade complementar os volumes que serão aproveitados das escavações obrigatórias do sangradouro. A ocorrência é um afloramento rochoso que possui um volume de material aproveitável maior que 30.000 m³.

Foram coletadas amostras da pedreira para a realização do ensaio de desgaste por Abrasão "Los Angeles" (DNER-ME 65-64). Na Tabela Nº 5.10 é apresentado o valor médio do ensaio. Na figura nº 5.6 é apresentado a planta individual da pedreira.

Tabela Nº 5.10 Valores Médios dos Ensaios da Pedreira	
Abrasão Los Angeles (%)	
27	

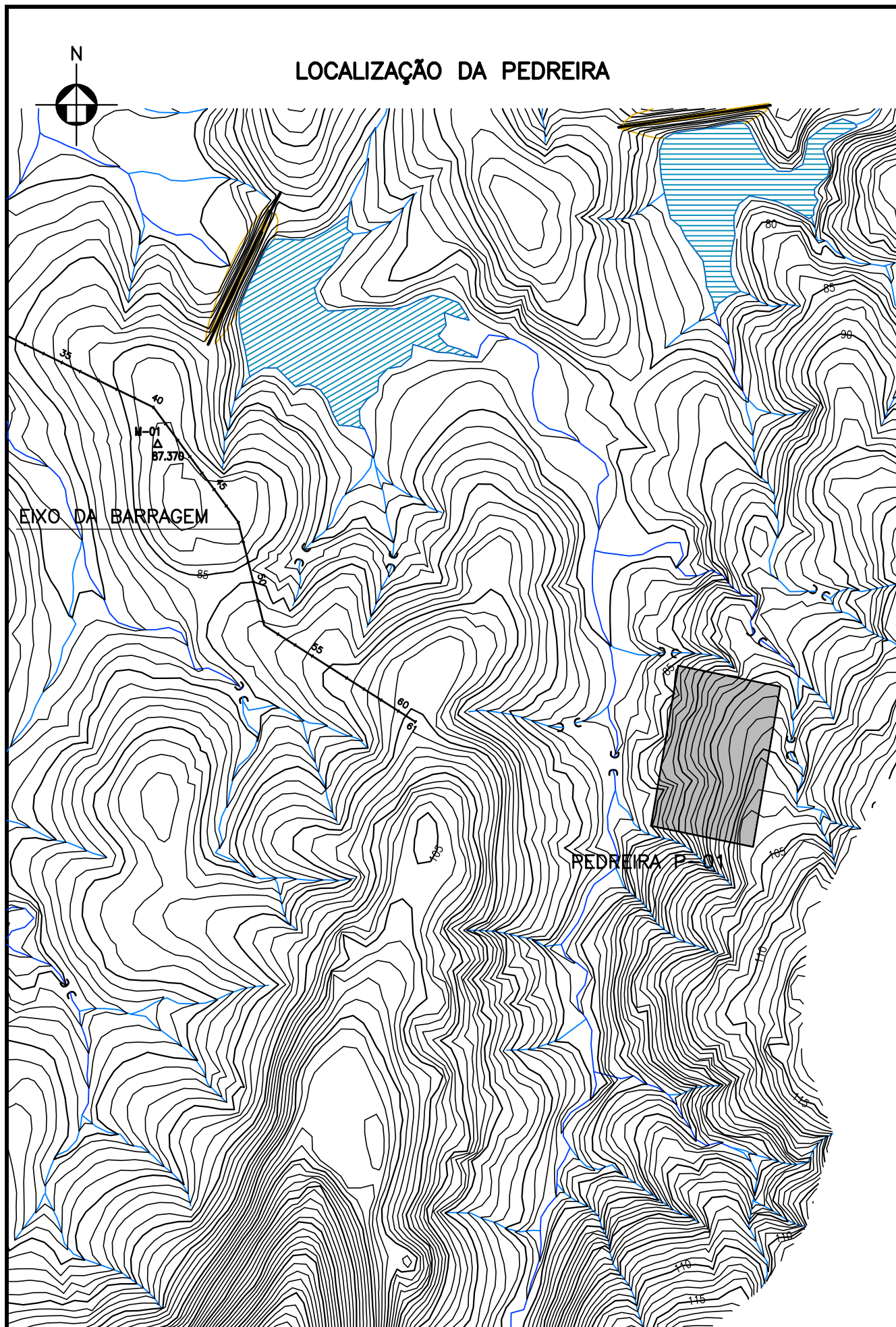


Todos os ensaios laboratoriais são apresentados no Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia-Anexos.

A tabela 5.11 apresenta um resumo de características gerais da pedreira estudada.

5.11: Características Gerais da Pedreira	
Proprietário	José Otacílio
Área Estudada (m ²)	20.000
Distância ao eixo da barragem (m)	1.320

LOCALIZAÇÃO DA PEDREIRA



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.6



5.4. COMENTÁRIOS

As observações de campo associadas aos exames dos ensaios laboratoriais permitem os seguintes comentários acerca dos materiais construtivos estudados para a barragem Riacho da Serra:

- a) As caracterizações realizados (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04, permitiram enquadrar os materiais estudados nos grupos SC (areia argilosa), SM (areia siltosa) e SM-SC (areia silto-argilosa) da “Classificação Unificada USC”.

O enquadramento dos solos na “Classificação Unificada USC” possibilita estimar suas características no que concerne a sua utilização na construção de barragens de terra. Segundo Sherard¹, os solos dos tipos SC, SM e SM-SC apresentam as seguintes características:

Solo SC

- Alta resistência à erosão.
- Alta a média resistência ao cisalhamento.
- Impermeável.
- Boa a regular trabalhabilidade.

Solo SM

- Média a fraca resistência à erosão.
- Alta resistência ao cisalhamento.
- Semi-permeável a impermeável.
- Boa a regular trabalhabilidade.

Solo SM-SC

- Média a fraca resistência à erosão.
- Alta resistência ao cisalhamento.
- Semi-permeável a impermeável.

¹ Sherard, J. L. et ali – Earth Rock Dams, John Wiley and Sons, Inc., 1963



- Boa a regular trabalhabilidade.

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que sejam feitos controles de umidade e densidade durante a construção. Para orientação destes controles são apresentados na Tabela Nº 5.12 os valores médios da massa específica seca máxima ($\gamma_{sm\acute{a}x}$) e a umidade ótima (h_{ot}), obtidas nos ensaios de compactação das jazidas.

Tabela Nº 5.12: Ensaios de Laboratório de Compactação				
Discriminação	Jazidas			
	J-01	J-02	J-03	J-04
Densidade	1,822	1,852	1,817	1,909
Umidade	13,9	14,8	14,0	10,9

- b) Os solos da jazida J-01 por possuírem um percentagem significativo de fragmentos de rocha em diversas dimensões e, de modo geral, baixa plasticidade, devem ser indicados para zonas mais permeáveis do maciço, como por exemplo o espaldar de jusante. Os fragmentos com dimensões maiores que a espessura da camada indicada para a confecção do aterro, devem ser excluídos.
- c) Os solos das jazidas J-02, J-03 e J-04 devem ser indicados para zonas de restrições ao fluxo d'água, como núcleo impermeável e trincheira de vedação, haja visto sua maior plasticidade e características mais argilosas, indicadas nos ensaios de caracterização e triaxiais embora, os ensaios de permeabilidade não tenham registrado uma maior impermeabilidade. A distancia de transporte das jazidas destes solos limita sobremaneira o emprego irrestrito destes materiais no maciço da barragem.
- d) O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção prioritária a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta características apropriadas para tais fins. Inúmeras ocorrências de afloramentos rochosos foram mapeadas junto ao eixo da barragem porém, selecionou-se uma região a



jusante da ombreira direita como pedreira reserva, para maior salvaguarda do sítio do maciço.

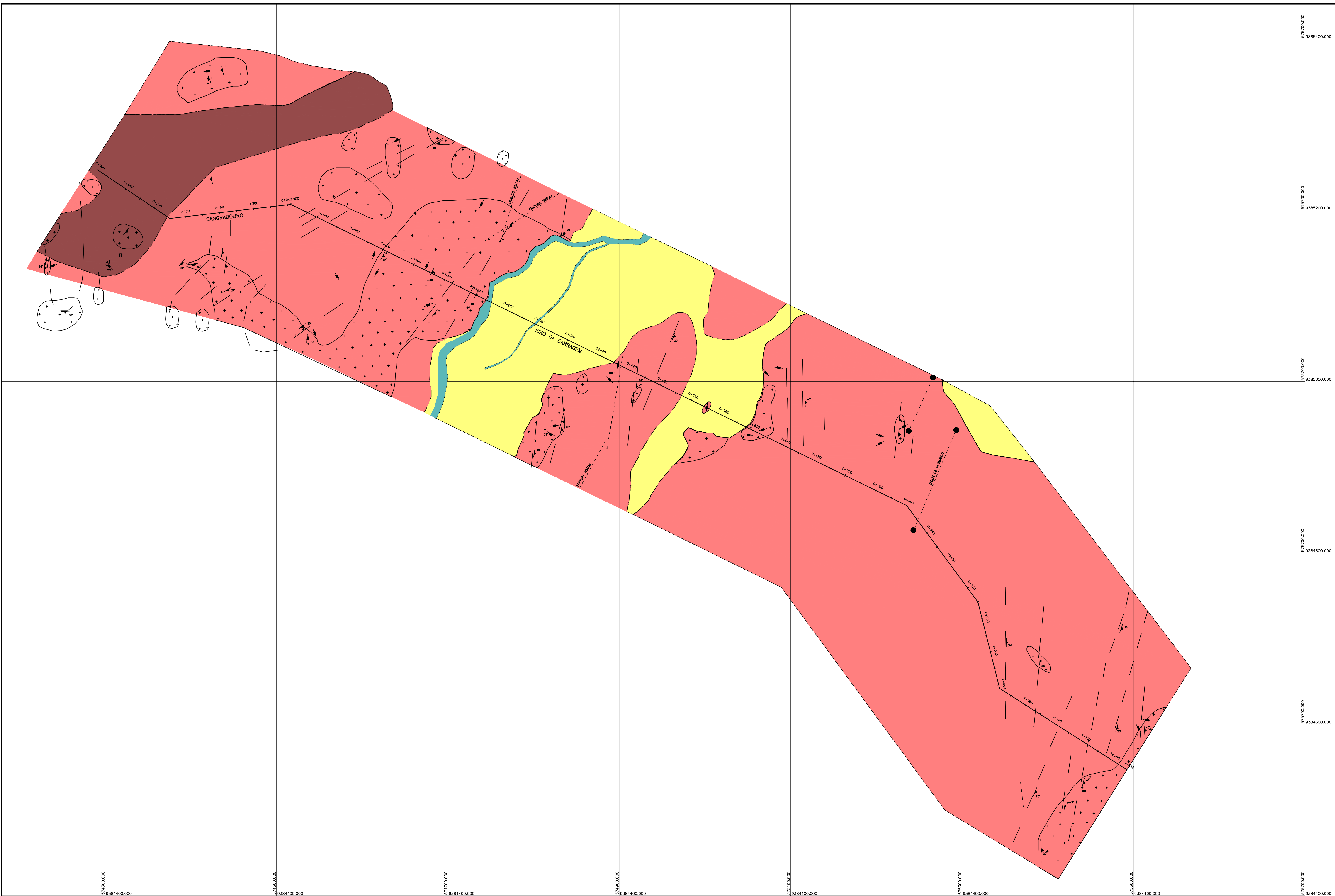
- e) Os bancos de areia do rio Figueiredo, com permeabilidade média de 5×10^{-3} , são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/filtrante do sistema de drenagem interna do maciço. O depósito aluvionar de areia grossa que ocorre a pouca profundidade, na calha do riacho da Serra, pode ser usado em substituição ao material do rio Figueiredo, caso sejam concebidas no projeto escavações na fundação. Interessante observar que areal do rio Figueiredo, em relação ao aproveitamento do depósito do riacho da Serra, representa um acréscimo de distancia de transporte de cerca de 9 km.



MONTGOMERY WATSON



6. ANEXOS



LEGENDA

Coluna estratigráfica

CENOZÓICO
QUATERNÁRIO

ALUVIÃO

PRÉ-CAMBRIANO INDIVISO

GRANITO

GNAISSE

Convenções

Açude

Rio

Carrãoçal

Caminhos

CE

Convenções geológicas

Contato litológico

Atitude de foliação

Atitude de fratura

Atitude de fratura vertical

Fratura

Afforamento de rocha

Traje de foliação

Dique

LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES

Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

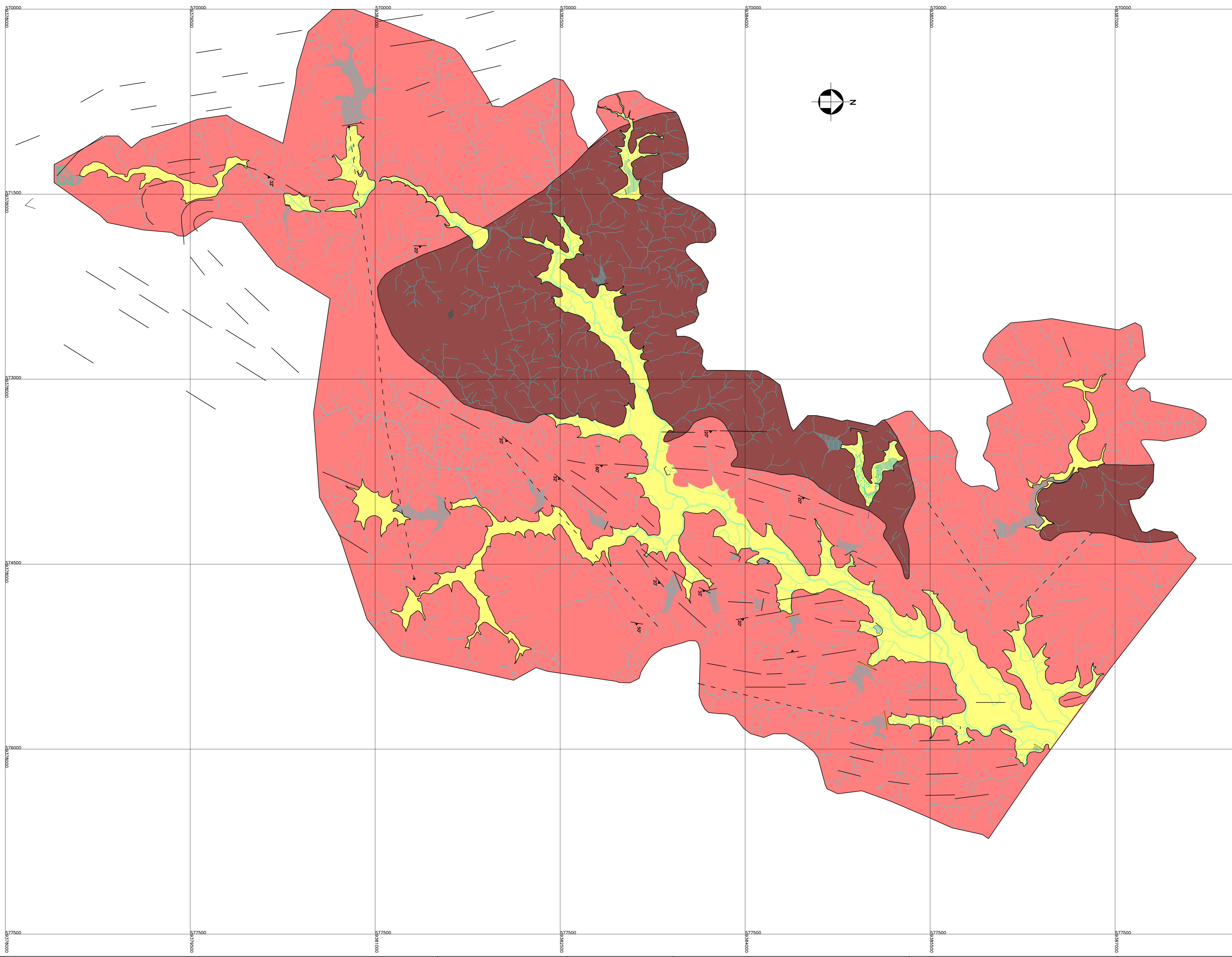
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH - PROGERIRH

PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

ESTUDOS BÁSICOS DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA

Projeto :	Arquivo
Visão :	R Serra_Figura_2-4.dwg
Verificado :	Data de Emissão: JAN./2002
Escala :	1:2000
	Nº do Desenho : FIGURA_2-4





Coluna estratigráfica

CENOZÓICO
QUATERNÁRIO

ALUVIÃO

PRÉ-CAMBRIANO INDIVISO

GRANITO

GNAISSE

Convenções

- Águde
- Rio
- Correçal
- Caminhos
- CE

Convenções geológicas

- Contato litológico
- Atitude de foliação
- Atitude de fratura
- Atitude de fratura vertical
- Fratura
- Afforamento de rocha
- Trapp de foliação
- Diques

LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES			
Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH – PROGERIRH

PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

ESTUDOS BÁSICOS DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA

Projeto :	LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE BACIA HIDRÁULICA	Arquivo RSerra_Figura_2-5.dwg
Visto :		Data de Emissão : JAN./2002
Verificado :	CONSORCIO:	Escala : 1:15000
Aprova :		Nº do Desenho : FIGURA_2-5

Consórcio



MONTGOMERY WATSON

