



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 UMARI 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. <i>Estudos Geológicos Realizados</i>	7
2.1. <i>Geologia Regional</i>	8
2.2. <i>Geologia Local</i>	12
2.3. <i>Levantamento Geológico de Superfície</i>	14
3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO	21
3.1 <i>Sondagens Realizadas</i>	22
3.2 <i>Sondagens a Percussão</i>	24
3.3 <i>Sondagens Mistas</i>	26
3.4 <i>Ensaaios de Campo</i>	28
3.5 <i>Comentários</i>	31
4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO	34
4.1. <i>Sondagens Realizadas</i>	35
4.2. <i>Comentários</i>	38
5. ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS	41
5.1. <i>Jazidas de Solo</i>	44
5.2. <i>Areal</i>	51
5.3. <i>Pedreira</i>	52
5.4. <i>Comentários</i>	55
6. ANEXOS	57



MONTGOMERY WATSON



1. INTRODUÇÃO



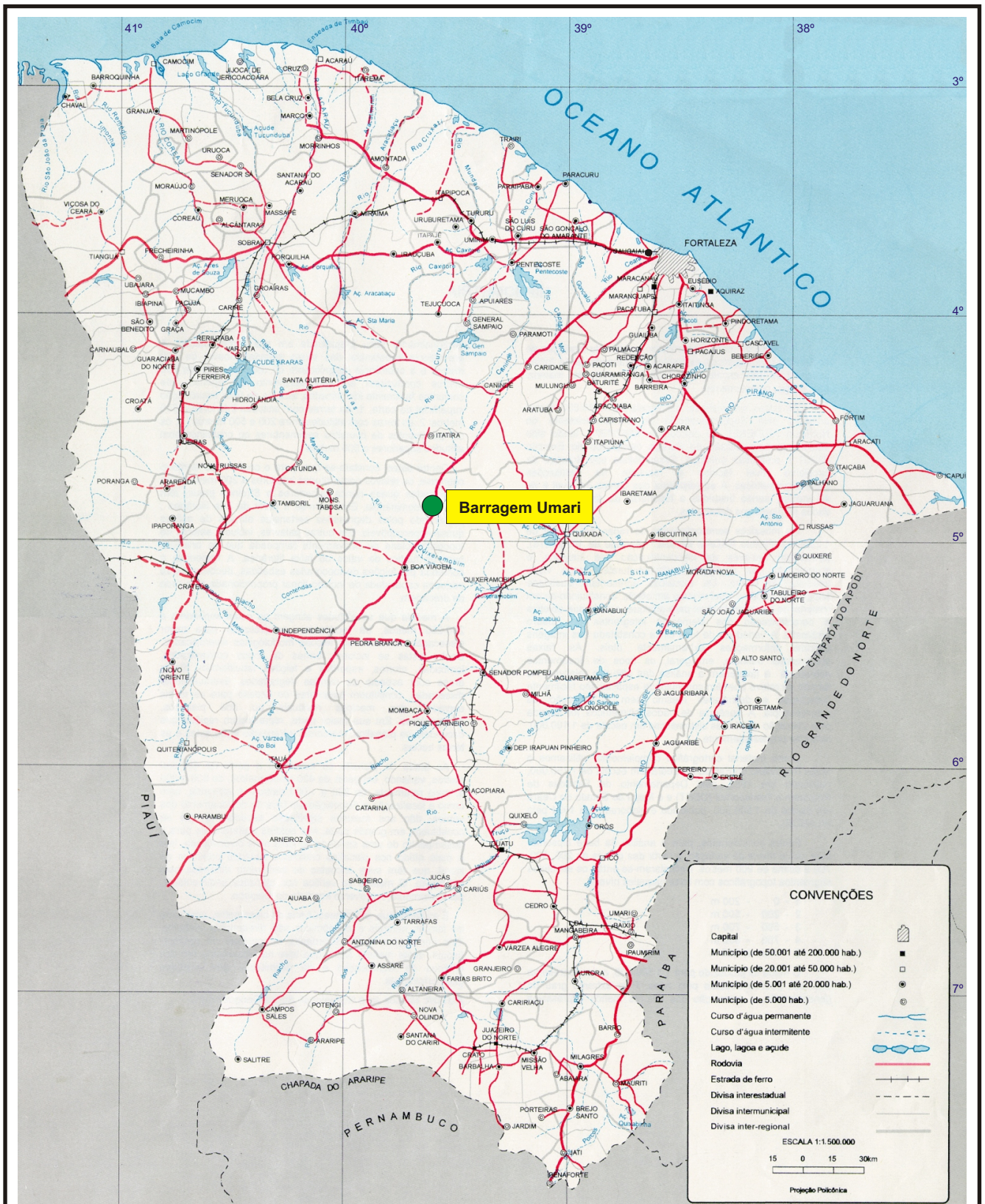
1. INTRODUÇÃO

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 Aduadoras 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 Umari**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no riacho Barrigas, integrante da bacia do rio Jaguaribe , para o abastecimento da população da sede municipal de Madalena, Ceará. Esta barragem fica localizada a 165 km da cidade de Fortaleza, a noroeste do município de Madalena, cujo acesso é feito pela Br - 020. 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, também, 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 E ACESSO



MONTGOMERY WATSON



2. GEOLOGIA



2. GEOLOGIA

2.1. Estudos Geológicos Realizados

A bacia hidrográfica do Açude Umari está situada na microregião geográfica denominada de sertão de Quixeramobim, no Estado do Ceará, com uma área total de 975 km², numa região 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 aéreas 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 20 metros, 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 barrável e sangradouro em escala 1:1.500;
- 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 aparelho de GPS de mão e bússola, tendo como base cartográfica as plantas topográficas previamente elaboradas.



2.1. 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 Fortaleza, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais através do convênio DNPM/CPRM, em 1981, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Fortaleza.

A rede hidráulica na região é comandada pelas bacias do rio Banabuiú e sub-bacia do rio Quixeramobim, refletindo as condições climáticas da região, com rios e riachos intermitentes, fluindo somente na época das chuvas e secando completamente no período de estiagem. Alguns rios e riachos obedecem os sistemas ortogonais de fraturas das rochas, predominando, entretanto, o padrão dendrítico, condicionados pela rochas cristalinas.

As feições morfológicas são condicionadas aos tipos litológicos identificados, pertencendo via de regra ao extenso pediplano de rochas cristalinas que predomina na região. Esse pediplano de rochas pré-cambrianas é formado por um conjunto profundamente arrasado com cotas em torno de 300m de altitude. Algumas vezes a monotonia de formas suavemente onduladas é interrompida por morros e serrotes residuais, formados por migmatitos e granitóides mais resistentes.

No âmbito regional, com referência ao Pré-Cambriano, foram identificadas cinco unidades lito-estratigráficas, diferenciadas e agrupadas com base nas características litológicas, portanto, indiferenciadas estratigraficamente, sem que seja estabelecida sua sucessão espacial e temporal, distinguindo as seguintes unidades:

Complexo Caicó: ocupando a maior parte da área, o Complexo Caicó é definido litologicamente por uma sequência constituída de gnáisses variados, incluindo lentes de metarcósios, anfíbolitos, quartzitos e calcários cristalinos subordinados, além de migmatitos com estruturas diversas, desde as mais foliadas, próprias dos



gnaiesses, até as mais homogêneas, como a dos anatexitos. As fácies gnáissicas mais comuns são biotita-gnaiesses e hornblenda-biotita-gnaiesses, muitas vezes ricos em biotita e em alguns locais enriquecidos com moscovita. Nas proximidades de Madalena são comuns as ocorrências de hornblenda-biotita-gnaiesses, algumas vezes associados a moscovita-biotita-gnaiesses. São gnaiesses mesocráticos, de cor cinza escuro, granulação fina a média, com foliação conspícua, desenvolvimento de acentuada laminação e muitas vezes apresentando estruturas sub-horizontalizadas. Os anfibolitos são rochas de cor esverdeada, formando pequenas lentes quando encaixadas nos migmatitos e, lentes maiores, quando encaixadas em gnaiss (hornblenda-biotita-gnaiss bandeados). Próximo a Madalena ocorrem várias lentes desse tipo de rocha, principalmente à leste, onde tem-se grande concentração de lentes de metabasitos, em uma região estruturalmente movimentada, com algumas rochas básicas preservadas.

Rochas Plutônicas Granulares: essa unidade inclui as rochas com características texturais, petrográficas e estruturais semelhantes às rochas formadas na profundidade. São divididas em granitóides e gabróides. No grupo dos granitóides estão incluídos os granitos, que mostram textura equigranular, ocasionalmente orientada, com granulação variando de fina a média, eventualmente porfiróide. No grupo dos gabróides encontram-se, ao sul de Madalena, dois corpos dioríticos, de morfologia plana. O corpo maior apresenta uma forte orientação textural, devido a sua intimidade com litologias gnáissicas. São de granulação média a grossa, textura granular orientada, podendo eventualmente apresentar alguma litologia da família do gabro. Seus contatos com as rochas circunjacentes são transicionais.

Complexo Independência: Essa unidade é formada por uma associação litológica onde estão incluídas sequências de biotita-gnaiesses, gnaiesses leucocráticos, hornblenda-biotita-gnaiesses, além de quartzitos e gnaiesses migmatíticos. Na região a oeste de Madalena esta unidade tem forma semi-elíptica e feição morfológica variada, ora suave, ora ondulada e serrana, consoante com o mergulho das rochas. Os moscovita-biotita-gnaiesses granadíferos ocorrem em abundância nesta sequência, possuindo cor cinza clara, foliação proeminente, granulação média, com



intercalação dos félsicos e máficos apresentando espessuras variáveis, com as micas percentualmente equivalentes. Uma laminação mais ou menos intensa é observada, assim como a abundância de cristais de granada, bem formados ou não.

Grupo Ceará: esta unidade ocorre a oeste de Madalena, próximo a Águas Belas. É constituída de uma sequência ectinítica, começando com um quartzito basal, geralmente formando cristas alongadas, sobrepondo-se xistos granadíferos e gnaisses. No topo da sequência, geralmente ocupando os eixos da sinclinais, ocorre horizonte carbonático.

Diques ácidos: esta unidade reúne rochas filoneanas, como granitos, pegmatitos, veios de quartzo e sílica cripto-cristalina. Estes corpos tabulares ocorrem geralmente preenchendo fraturas, concordantes ou não com a estruturação regional.

Do Cenozóico, estão presentes os diques básicos pós cretáceos e as aluviões:

Diques Básicos: são representados por diques de diabásio, com direção aproximada E - W.

Aluviões: representam os sedimentos arenosos inconsolidados depositados no leito e nas margens dos principais rios e riachos. São de idade quaternária.

Estruturalmente a região é caracterizada pela presença de blocos falhados, condicionados a falhamentos transcorrentes, cujos expoentes são as falhas do Rio Groaíras, de Tauá e de Sabonete-Inharé, todas elas de movimentos relativos levógiros. Na figura nº. 2.1 pode-se visualizar o esquema mostrando o padrão de falhas direcionais da região. Estes falhamentos comandam toda a estruturação das litologias e impõem às mesmas uma orientação tectônica nos seus constituintes

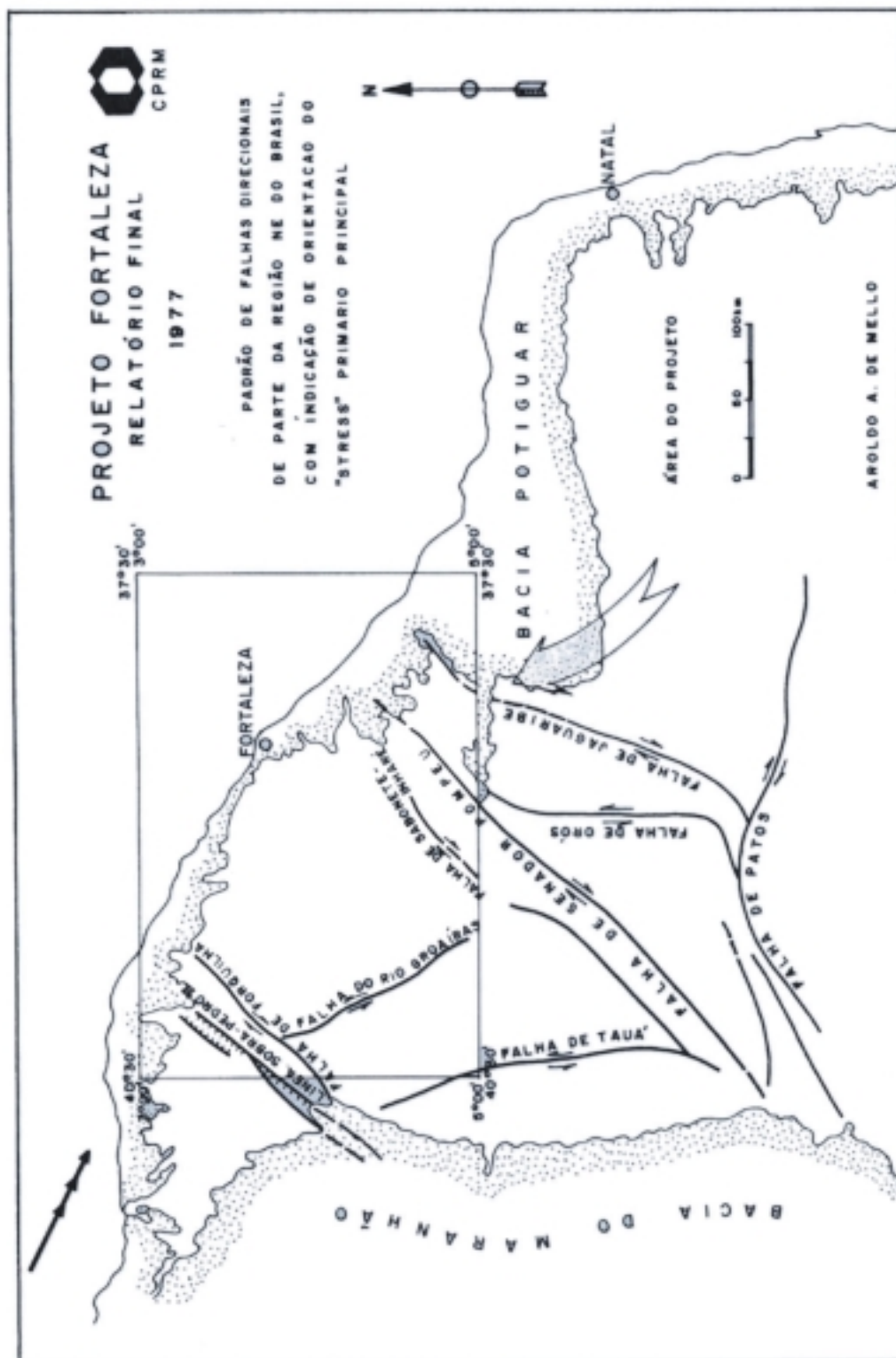


Figura Nº 2.1



mineralógicos, bem como a concordância dos corpos plutônicos segundo o “trend” regional. Estes falhamentos também acarretam deformações tectônicas nas rochas, principalmente cataclásticas. A falha do rio Groaíras possui uma direção NW-SE com rejeito à esquerda e se estende por mais de 150Km. A estruturação linear das rochas presentes na área é afetada pelos falhamentos supracitados, acarretando uma mudança na foliação com relação ao “trend” regional que é NE-SW, passando a dominar a orientação segundo NW-SE, condicionada por uma sequência de dobramentos anticlinais e sinclinais.

Na figura nº 2.2 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Meridianos – 39° 30’ a 40° 00’ de longitude Oeste e Paralelos 4° 00’ a 5° 00’ de latitude sul, compilada do Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983.

2.2. Geologia Local

A área estudada fica situada no município de Madalena, próximo à localidade de Salgadinho, no estado do Ceará.

A geologia local no sítio onde se situará barramento, sangradouro e bacia hidráulica é constituída litologicamente por rochas que compõem todas as unidades citadas na geologia regional. Há um predomínio das rochas cristalinas Pré-Cambrianas que formam o complexo gnaissico-migmatítico denominado de Complexo Caicó, muitas vezes recortadas por veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos. Foram identificadas ocorrências de rochas plutônicas granulares, constituídas principalmente por granitos, ora do tipo equigranular, ora do tipo porfiróide, em alguns locais apresentando orientação dos seus constituintes mineralógicos, com granulação também variável, podendo ser fina, média ou grossa. Essas rochas formam corpos alongados segundo a direção preferencial NW-SE, concordante com a foliação da rocha encaixante que é representada pelos gnaisses migmatíticos. Também de forma concordante com a foliação dominante, ocorre uma extensa e estreita faixa



GEOLOGIA REGIONAL

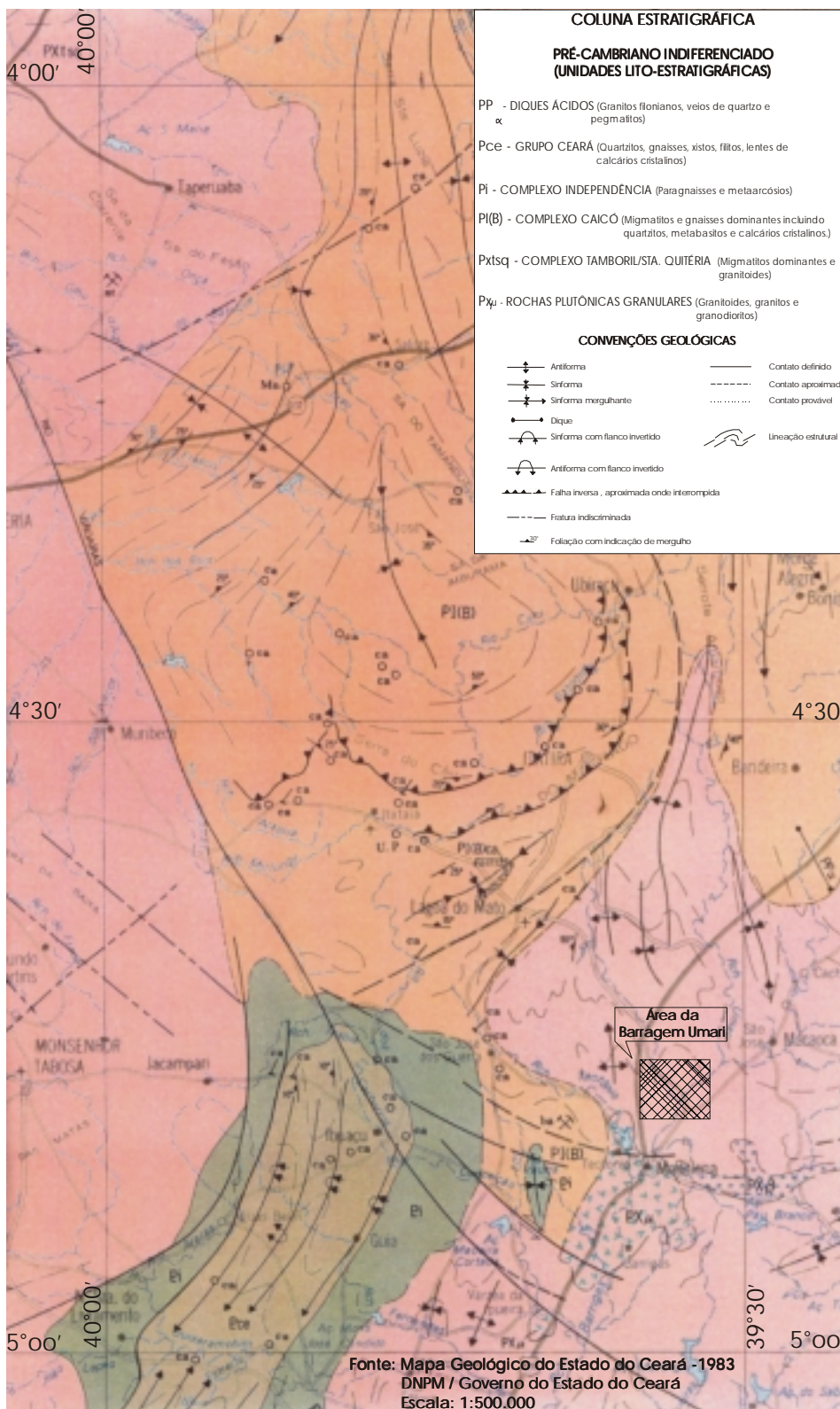


Figura Nº 2.2



de micaxistos, ricos em biotita, com xistosidade bem acentuada, algumas vezes intercalados com hornblenda-biotita-ganaisses e com lentes de anfibolitos. Ainda de forma menos expressiva foram visualizadas próximo ao local do eixo da barragem auxiliar ocorrências de quartzito intercaladas entre os granitos e o micaxisto.

Ao longo dos riachos Treme, Umari e Sabonete se formam os depósitos aluvionares, compostos predominantemente de areias de granulometria média a grossa, nos leitos dos rios, e de silte areno-argiloso nas margens, algumas vezes formando extensos e planos terraços aluvionares.

A rede de drenagem está condicionada às linhas estruturais das rochas pré-cambrianas, em que os rios e riachos obedecem os sistemas ortogonais de fraturamento das rochas. Muitos riachos e grotas apresentam curso bastante retilíneo no seu talvegue, muitas representando um alinhamento estrutural de fraturamento.

A lineação estrutural predominante, visualizada nas fotografias aerofotogramétricas e checadas em campo, em toda a extensão da bacia hidráulica, se dá segundo a direção NW-SE.

2.3. Levantamento Geológico de Superfície

O levantamento geológico de superfície efetuado ao longo do eixo topográfico locado e na área de ocupação da bacia hidráulica teve como objetivo principal a identificação e classificação dos tipos litológicos, através da análise petrográfica visual das ocorrências, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que via de regra, no âmbito regional, considerando-se em caráter mais abrangente, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o Complexo Cristalino do Pré-Cambriano.

Ao longo do eixo estaqueado a cada 20 metros foram identificadas as seguintes litologias:



Da estaca **00A a 21A**: Gnaisse leucocráticos e biotita-gnaisse de cor cinza clara, textura gnáissica com alternância de finos leitões claros e escuros, algumas vezes migmatizados, formando bandas e constituídos mineralogicamente, principalmente, de feldspatos, quartzo e biotita. Eventualmente, em alguns locais a rocha apresenta uma xistosidade mais pronunciada dando um aspecto de xisto. Essas rochas normalmente são recortadas por fraturas, muitas vezes preenchidas por veios quartzosos ou pegmatóides, concordantes ou não com a foliação. Nos afloramentos encontrados foram efetuadas, com utilização de bússola (Azimute), medidas de atitude de foliação que indicam preferencialmente a direção N160°, mergulhando em média 47° para NE. Ou seja, a foliação está preferencialmente segundo NW-SE nesta área. Entre as estacas 00A a 10A ficará localizado o sangradouro. A foliação da rocha no local não apresenta de todo uma situação meramente favorável com relação ao fluxo da água, que se comportará obliquamente à direção da foliação. Contudo, a pior situação seria uma disposição paralela entre ambas as direções. Ainda na área compreendida entre as estacas 00A a 21A foram visualizados alguns traços de fraturas não comprometedoras indicadas à montante e à jusante com variadas direções, destacando-se entre elas uma fratura situada quase perpendicularmente ao eixo locado, entre as estacas 08A e 09A, preenchida por um veio de pegmatito, com extensão aproximada de 170m.

Da estaca **21A a 37A + 13,00m**: Faixa de aluvião formada pelo riacho Barrigas, com terraços aluvionares na margem esquerda, entre as estacas 21A e 25A + 15,00m e na margem direita entre as estacas 29A + 8,00m e 37A + 13,00m, ficando a calha do rio situada numa faixa com aproximadamente 70m de largura entre as estacas 25A + 15,00m e 29A + 8,00m. O solo que compõe as aluviões é constituído basicamente de silte areno-argiloso de granulometria fina, de cor cinza e amarela, contendo mica. No leito do rio ocorre areia fina a média, com pedregulhos de quartzo e feldspato, Vale salientar que no leito do rio, na estaca 25A + 15,00m – 30,00m à jusante, ocorre um afloramento de rocha de cor cinza clara, leucocrática, de granulometria muito fina, homogênea, apresentando uma estrutura com aspecto



xistosa, com foliação bem definida (N150°/66°NE), contendo quartzo, feldspato e mica, com presença de granada como mineral acessório.

Da estaca **37A + 13,00m a 56A**: Ocorrem as rochas graníticas, que fazem contato no eixo com a aluvião (Foto N° 01) e se desenvolvem formando um corpo plutônico para montante. Nessa mesma área, à jusante, ocorrem rochas xistosas, classificadas como biotita-xistos, fazendo contato com as aluviões e permanecendo em contato com o granito, sempre próximo do eixo até a estaca 49, onde, após uma pequena passagem de aluvião, cortando o eixo da barragem auxiliar prevista, aparece uma faixa de rochas quartzíticas fazendo contato com os xistos e granitos. Na estaca 52A - 9,00m à jusante do eixo da barragem auxiliar, dentro de uma vala executada para o sangradouro de um pequeno açude existente, é visível o contato litológico entre o granito, quartzito e o biotita-xisto (Foto N° 02). Os granitos ocupam áreas com vários afloramentos em forma de blocos, com estrutura maciça e textura equigranular de grã fina a média, de cor cinza clara a avermelhada, contendo feldspato, quartzo e mica. A topografia do terreno na sua área de ocorrência é condicionada por esse tipo de litologia, com elevação das cotas, formando morros recobertos de afloramentos em forma de blocos e matacões. Visualmente no campo o biotita-xisto apresenta cor cinza escura, granulação fina a média, com minerais máficos em grande quantidade, principalmente a biotita, com planos de xistosidade bem definidos (Foto N° 03), formando planos laminados com atitudes predominantemente segundo N160°/48°NE, ou seja, a direção preferencial da xistosidade é NW-SE. Na área de domínio do biotita-xisto podem ocorrer intercalações de lentes de gnaisses bandeados e lentes de anfibolitos, difíceis de serem mapeados. O solo de alteração dessas rochas é formado por material argilo-arenoso de boa trabalhabilidade, ocorrendo em uma das jazidas selecionadas. O quartzito é geralmente de cor cinza clara a creme amarelada. Com granulação fina a média, homogêneo, contendo minerais orientados de quartzo, feldspato e mica (moscovita). Ocorrem em pequenos afloramentos dispersos caoticamente, a nível de solo.



Foto Nº 01 – Morro de rochas graníticas fazendo contato com a aluvião.

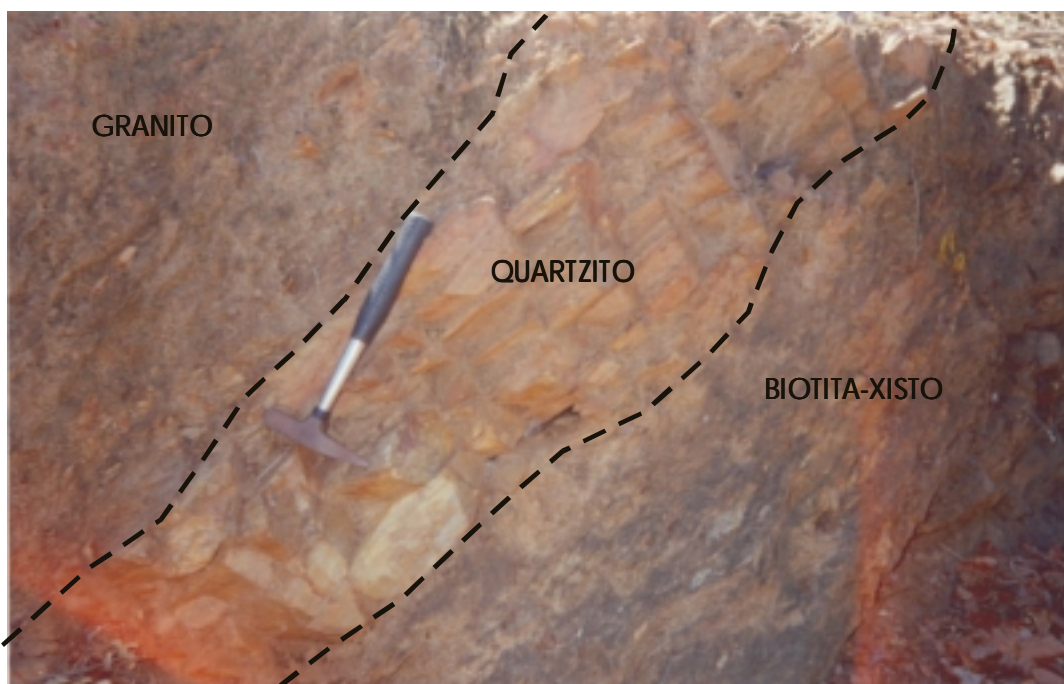


Foto Nº 02 – Contato entre granito, quartzito e biotita-xisto. A atitude de foliação no biotita-xisto é $N158^{\circ}Az / 40^{\circ} NE$. A seqüência indica uma inversão estratigráfica, já que o quartzito normalmente teria a posição basal.



Foto Nº 03 – Biotita xisto com planos de xistosidade bem definidos.

Estruturalmente, nenhuma ocorrência de importância local foi identificada nessas áreas, destacando-se apenas um fraturamento coincidente com o contato entre o quartzito e o biotita-xito. Evidenciado pelo talvegue retilíneo de uma grotta.

A partir de 249 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que, conforme mostra a figura Nº 2.3, se dá segundo NE-SW, concentrando-se principalmente entre N50°Az a N60°Az, representando um percentual de 20,5% do



total medido e entre N60°Az a N70°Az, representando 18,5%. O mergulho se dá preferencialmente subvertical (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.

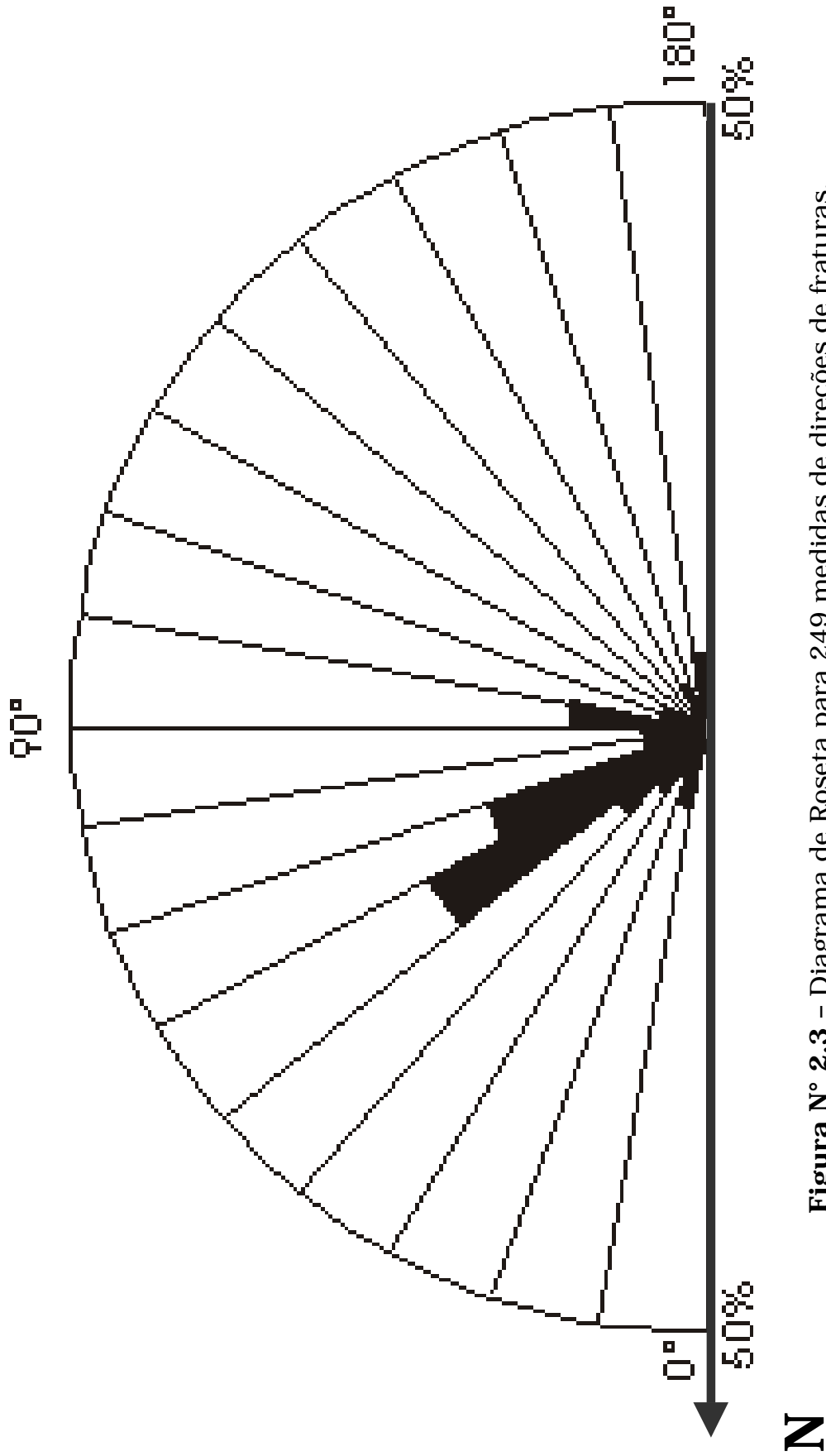


Figura Nº 2.3 - Diagrama de Roseta para 249 medidas de direções de fraturas.



MONTGOMERY WATSON



3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO



3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO

3.1 Sondagens Realizadas

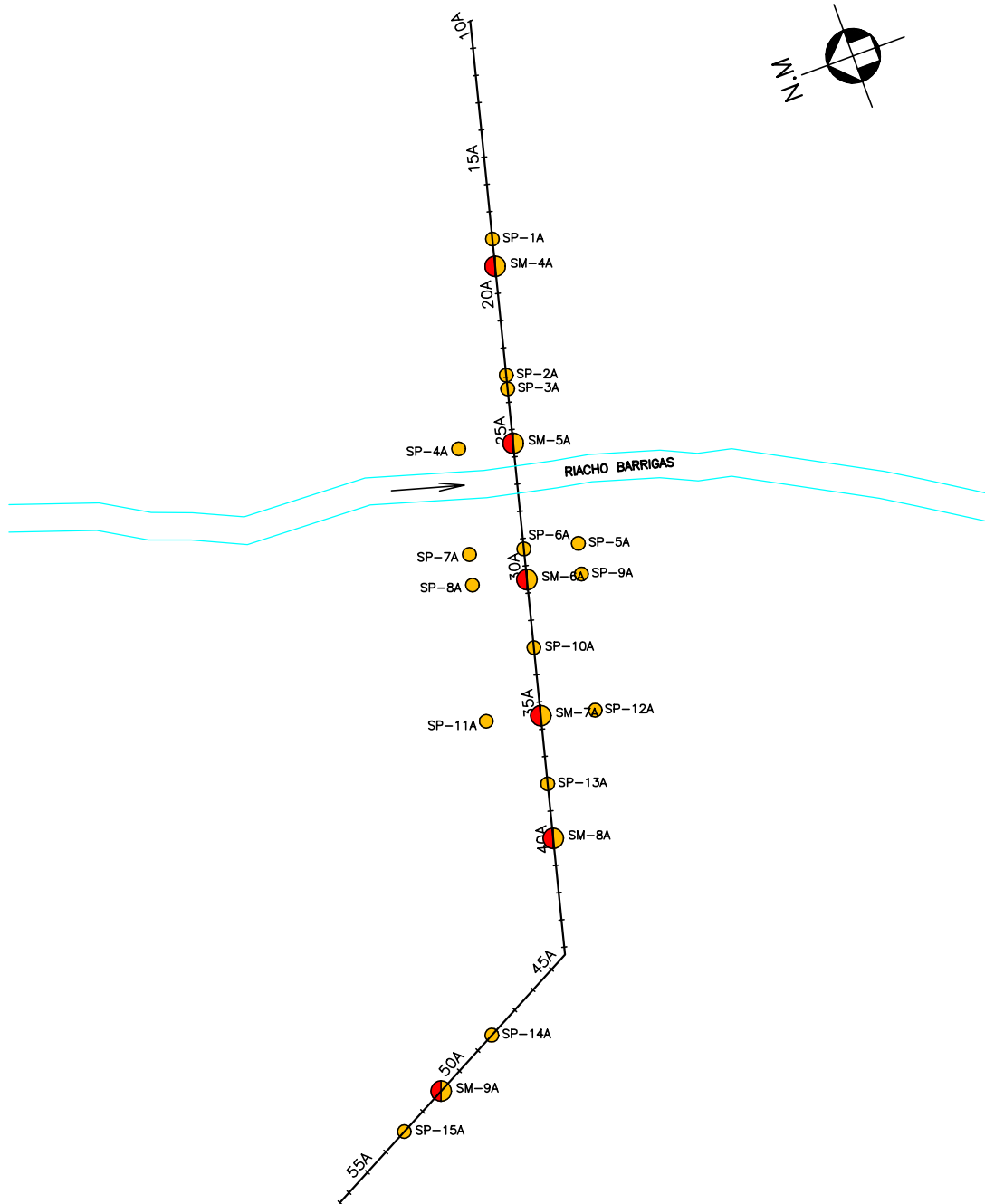
As investigações geotécnicas realizadas no local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Iniciou-se as sondagens mecânicas num eixo escolhido pelas suas condições topográficas favoráveis. Posteriormente, com o andamento das investigações, foram verificadas condições geotécnicas adversas na calha do rio e no local do sangradouro, que inviabilizaram a escolha do eixo. Este eixo descartado foi chamado Eixo Montante. Pesquisou-se novas alternativas e foi eleito um eixo a cerca de 300m a jusante que mostrou-se geotecnicamente favorável, dito Eixo Final.

No eixo adotado (Final) foram realizadas 21 prospeções mecânicas, sendo 15 sondagens à percussão e 6 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa). No eixo montante (descartado) foram executadas 18 prospeções mecânicas, constando de 10 à percussão e 8 mistas. A localização de todos os furos da campanha de sondagens é indicada na figura nº 3.1, apresentada a seguir.

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 furos de sondagens no eixo da barragem. No trecho em solo das sondagens mistas e nas percussivas, estes testes consistiram de ensaios de infiltração de carga e vazão constante (Lefranc) e, no trecho perfurado com sonda rotativa, de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). 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.

INVESTIGAÇÃO NO BARRAMENTO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM UMARI

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

3.1



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.

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)".

Nas Tabelas Nº 3.1 e 3.2, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas executadas no eixo Montante e Final, suas referencias plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

**TABELA Nº3.1: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM UMARI
SONDAGEM PERCUSSIVA - EIXO MONTANTE (descartado)**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada (m)	SPT Mínimo (N)	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-1	9 (40m Montante)	439.089	9.468.759	303,143	2,55	5	Pouco compacta
SP-2	9 (40m Jusante)	439.081	9.468.679	301,666	0,97	23	Medianamente compacta
SP-3	12 (eixo)	439.026	9.468.725	300,597	3,73	5	Pouco compacta
SP-4	18 (eixo)	438.906	9.468.738	300,248	10,04	3	Fofa
SP-5	21 (40m Montante)	438.851	9.468.784	299,788	15,08	4	Fofa
SP-6	21 (40m Jusante)	438.842	9.468.704	299,408	14,84	4	Fofa
SP-7	23 + 10 (eixo)	438.797	9.468.749	299,506	13,70	3	Fofa
SP-8	27 (eixo)	438.727	9.468.756	299,452	9,45	3	Fofa
SP-9	27 (40m Montante)	438.751	9.468.796	299,417	14,06	2	Fofa
SP- 10	27 (40m Jusante)	438.723	9.468.717	299,117	11,75	6	Pouco compacta

**TABELA Nº3.2 : INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM UMARI
SONDAGEM PERCUSSIVA - EIXO FINAL**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-1 A	18 (eixo)	439.022	9.468.369	303,84	4,96	29	Medianamente compacta
SP-2 A	23 (eixo)	438.925	9.468.394	299,423	2,75	5	Pouco compacta
SP-3 A	23+10 (eixo)	438.916	9.468.397	299,652	3,67	5	Pouco compacta
SP-4 A	25 +10 (40m Montante)	438.887	9.468.446	296,745	4,08	4	Fofa
SP-5 A	29 + 7 (40m Jusante)	438.792	9.468.388	296,305	12,03	3	Fofa
SP-6 A	29 + 7 (eixo)	438.802	9.468.426	295,983	6,91	3	Fofa
SP-7 A	29 +7 (40m Montante)	438.812	9.468.465	296,095	3,94	4	Fofa
SP-8 A	30 +10 (40m Montante)	438.790	9.468.471	296,938	8,45	6	Pouco compacta
SP-9A	30 +10 (40m Jusante)	438.770	9.468.393	296,429	10,80	3	Fofa
SP- 10 A	33 (eixo)	438.732	9.468.445	298,956	13,75	3	Fofa
SP- 11 A	35+ 10 (40m Montante)	438.693	9.468.496	298,148	13,98	5	Pouco compacta
SP- 12 A	35+ 10 (40m Jusante)	438.673	9.468.419	298,711	14,28	4	Fofa
SP- 13 A	38 (eixo)	438.635	9.468.470	299,326	4,23	17	Compacta
SP- 14 A	48+5 (B. Auxiliar)	438.477	9.468.572	308,994	2,43	30	Compacta
SP- 15 A	53 (B. Auxiliar)	438.433	9.468.657	309,181	1,22	36/13	Muito compacta

As sondagens a percussão na área do barramento, em ambos os eixos, totalizaram 203,65 m.

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 MACH-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.

Nas Tabelas Nº 3.3 e 3.4, a seguir, são relacionadas as sondagens mistas nos eixos Montante e Final, informadas suas referencias plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

TABELA Nº3.3: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM UMARI								
SONDAGEM MISTA - EIXO MONTANTE (descartado)								
Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-1	5 + 10	439.155	9.468.712	304,273	3,47	9,03	2	Gnaisse, moder. dura a muito dura, gran fina, foliada
SM-2	9	439.085	9.468.719	299,687	1,49	12,01	7	Gnaisse, muito dura, gran fina, foliada
SM-3	15	438.966	9.468.731	296,075	6,10	15,04	3	Gnaisse, moder. dura a muito dura, gran fina, foliada
SM-4	15 (40m Mont)	438.970	9.468.771	296,077	6,65	14,35	2	Biotita xisto, muito dura, gran fina, xistosa
SM-5	15 (40m Jus.)	438.962	9.468.692	296,075	1,49	15,01	4	Gnaisse, macia a muito dura, gran fina, foliada
SM-6	21	438.847	9.468.744	299,302	15,39		3	Não avançou no substrato rochoso
SM-7	28	438.707	9.468.758	298,974	5,93		6	Não avançou no substrato rochoso
SM-8	30+10	438.658	9.468.764	304,957	7,03		22	Não avançou no substrato rochoso

Portanto, na região do maciço do barramento, no eixo Montante (descartado), foram executadas 7 sondagens mistas, totalizando 112,99 m, dos quais 47,55 m com emprego de sonda percussiva e 65,44 m com sonda rotativa.

**TABELA Nº3.4: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM UMARI
SONDAGEM MISTA - EIXO JUSANTE (FINAL)**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-4 A	19 (Eixo)	439.003	9.468.374	302,475	5,86	10,14	13	Biotita Xisto muito macia a muito dura, gran fina xistosa
SM-5 A	9	438.877	9.468.407	296,942	7,19	8,81	4	Biotita Xisto muito macia a muito dura, gran fina xistosa
SM- 6 A	30+ 10	438.780	9.468.432	296,997	13,18	12,38	3	Biotita Xisto muito macia a muito dura, gran fina xistosa
SP- 7 A	35+ 10	438.683	9.468.457	298,764	14,60	9,29	4	Biotita Xisto dura a muito dura, gran fina xistosa
SM-8 A	40	438.616	9.468.475	304,579	3,15	9,85	21	Biotita Xisto muito macia a dura, gran fina xistosa
SM-9 A	51 (B Aux)	438.452	9.468.621	302,783	2,35	8,65	14	Biotita Xisto macia a muito dura, gran fina xistosa

Portanto, na região do maciço do barramento, no eixo Final, foram executadas 6 sondagens mistas, totalizando 105,45 m, dos quais 46,33 m com emprego de sonda percussiva e 59,12 m com sonda rotativa.

3.4 Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, trecho em solo, e nas sondagens percussivas 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. O número de ensaios e a permeabilidade máxima (cm/s) encontradas por furo são relacionadas nas Tabelas



nº3.5 e 3.6, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo no Tomo 4 A.

No trecho em rocha das sondagens SM-01 a SM-05, eixo Montante, e SM-4 A a SM-9 A, eixo Final, 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 nas Tabelas nº 3.5 e 3.6, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no Tomo 4 A.

TABELA Nº3.5: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM UMARI ENSAIOS DE CAMPO - EIXO MONTANTE (Descartado)							
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
SM-1	5 + 10 (eixo)	12,50	2	3	9,1x10E-4	1,14	1,5 a 2,0 / 4,0 a 7,0
SM-2	9 (eixo)	13,50	1	4	4x10E-5	0,23	1,0 a 1,46 / 2,0 a 5,0
SM-3	15 (eixo)	21,14	5	5	1,6x10E-3	1,90	5,0 a 6,0 / 6,5 a 9,5
SM-4	15 (40m M)	21	7	3	4x10E-4	0,19	6,5 a 9,5 / 15,0 a 18,0
SM-5	15 (40m J)	16,50		5		0,16	/ 8,0 a 11,0
SM-6	21 (eixo)	15,39	15		10E-2		11,5 a 12,0
SM-7	28 (eixo)	5,93	5		3,8x10E-5		5,0 a 5,93
SM-8	30+ 10 (eixo)	7,03	6		6,3x10E-5		6,0 a 7,03

Perda D'água em l/min/m/atm



TABELA Nº3.6: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM UMARI
ENSAIOS DE CAMPO - EIXO FINAL

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
SM - 4A	19 (eixo)	18.94		5		0,24	/7,0 a 10,0
SM - 5A	25+10 (eixo)	16.0	7	3	2,9x10E-4	0,34	2,5 a 3,00 /14,0 a 16,0
SM - 6A	30+10 (eixo)	25.56	12	4	5,7x10E-3	0,34	10,5 a 11,0 /14,0 a 17,0
SM - 7A	35+10 (eixo)	23.89	14	3	1,7x10E-3	0,07	13,5 a 14,0 /15,0 a 18,0
SM - 8A	40 (eixo)	13	3	3	9,8x10E-5	0,31	1,5 a 2,0 /10,0 a 13,0
SM - 9A	51 (eixo)	11.0	2	3	2,3x10E-5	0,13	6,0 a 9,0 /1,5 a 2,0
SP - 1A	18 (eixo)	4,96	4,00		1,7x10E-5		3,5 a 4,0
SP - 2A	23 (eixo)	2,75	2,00		2,9x10E-5		1,50 a 2,0
SP - 3A	23+10 (eixo)	3,67	3,00		9,6x10E-4		2,5 a 3,0
SP - 4A	25+10 (40m Mont.)	4,08	3,00		5,7x10E-4		1,5 a 2,0
SP - 5A	29+7 (40m Jus.)	12,03	11,00		8,8x10E-4		3,5 a 4,0
SP - 6A	29+7 (eixo)	6,91	6,00		1,1x10E-3		2,5 a 3,0
SP - 7A	29+7 (40m Mont.)	3,94	3,00		9x10E-4		1,5 a 2,0
SP - 8A	30+10 (40m Mont.)	8,45	8,00		10E-3		7,5 a 8,0
SP - 9A	30+10 (40m Jus.)	10,80	10,00		1,2x10E-3		6,5 a 7,0
SM - 10A	33 (eixo)	13,75	13,00		1,2x10E-2		6,5 a 7,0
SM - 11A	35+10 (40m Mont)	13,98	13,00		8,3x10E-4		10,5 a 11,0
SM - 12A	35+10 (40m Jus.)	14,28	14,00		2,3x10E-3		14,0 a 14,28
SM - 13A	38 (eixo)	4,23	4,00		4,1x10E-6		2,5 a 3,0
SP - 14A	48+5 (eixo)	2,43	2,00		4,9x10E-6		1,5 a 2,0



3.5 Comentários

Da campanha de sondagem realizada no eixo selecionado para a barragem (eixo Final), pode-se observar, entre outras coisas, que:

- A zona da calha do rio transcorre aproximadamente entre estacas 25 e 37 (240m de extensão). No segmento entre as estacas 25 e 30 ocorre um depósito aluvionar com espessura entre 2 e 3,4 m porém, uma sondagem a 40m a jusante da estaca 29+7 indicou 8 m deste solo. Este depósito aluvionar caracteriza-se por um solo constituído de areia fina e média siltosa com pedregulhos, sobreposto a um silte arenoso micáceo. Subjacente a este depósito ocorre um solo residual silto arenoso ou silto areno argiloso com espessura entre 1,60 e 4,0 m;
- No segmento da calha do rio compreendido entre as estacas 30 e 37 observa-se que o pacote aluvionar, de areia fina e média siltosa, alcança maiores profundidades, entre 9 e 14 m, e o solo residual subjacente constitui-se de silte arenoso, com espessura variando de poucos centímetros até 3,8 metros;
- O nível d'água, na região da calha do rio, foi encontrado, no mês de julho/01, nas profundidades limites de 0,36m (estaca 29+7- jusante) e 3,90 m (estaca 35+10-eixo), representando as cotas 296,0 e 294,8 m. respectivamente;
- Os ensaios de penetração SPT indicaram compacidades de fofa a medianamente compacta para o pacote arenoso da fundação, sendo a região fofa restrita, em média, ao primeiro metro de profundidade, alcançando nas sondagens das estacas 29+7 (40 m jusante) e 33 o máximo de 3,5 m. Na fundação não foram encontrados, em caracter geral, materiais argilosos/siltosos de consistência preocupante, apenas nas sondagens da estaca 35+10 (no eixo e a 40 m Montante) foi observada uma camada silto argilosa mole com 1,3 m de espessura, no eixo, e uma



de argila, com 2 m de espessura e consistência média a rija, a 40 m a montante. Como este material parece ocorrer num bolsão restrito a uma profundidade máxima de 3,9 m da superfície, sugere-se a remoção deste material e sua substituição por material arenoso proveniente das escavações da fundação e/ou da trincheira de vedação;

- Com base nos ensaios de infiltração realizados nos furos de sondagem no aluvião da calha do rio, pode-se considerar, de forma genérica, que o depósito aluvionar possui uma permeabilidade entre 5×10^{-4} e 2×10^{-5} cm/s. Na região de solo residual classificado como silte arenoso micáceo, compacto a muito compacto, obteve-se na sondagem SM-6 A valores de permeabilidade de 10^{-2} e 2×10^{-3} que surpreenderam, haja visto que em 24 ensaios realizados neste material, nos furos das sondagens percussivas, obteve-se uma gama de resultados variando de $7,7 \times 10^{-4}$ a $3,6 \times 10^{-6}$, com média de $2,4 \times 10^{-4}$.
- As perdas d'água no ensaio Lugeon indicaram, de um modo geral, valores pouco significativos tanto nas ombreiras como na zona aluvionar. Na ombreira esquerda obteve-se o valor máximo de 0,24 l/min/m/atm, na ombreira direita 0,31 l/min/m/atm e na zona aluvionar 0,34 l/min/m/atm. Os ensaios Lugeon realizados no eixo de montante (descartado) também ratificaram a característica de baixa a nula condutibilidade da rocha de fundação, no entanto, a sondagem SM-03 apresentou uma perda específica de 1,9 l/min/m/atm para a pressão inicial e 0,84 para a pressão máxima. O comportamento do fluxo durante a execução dos ensaios, onde houve perda, foi do tipo “de deformação com fechamento” e “sem deformação”.
- Portanto, com base nestes ensaios, é de se prever que o substrato rochoso na região da calha do rio e nas ombreiras não deve apresentar valores preocupantes de condutibilidade hidráulica porém, parece recomendável uma linha leve de impermeabilização do substrato rochoso,



nos primeiros 6 metros nas ombreiras e nos primeiros 6 a 9 m na calha do rio, onde a frequência de fraturas chega a mais de 20/m.

- Analisando o perfil geotécnico percebe-se que ao longo da ombreira esquerda e da ombreira direita o manto de solo apresenta boas características de suporte, revelados nos valores dos ensaios de SPT, desde a superfície. Sendo assim, é suficiente apenas a remoção do material superficial com matéria orgânica para a fundação da barragem nestes trechos.
- Na barragem auxiliar (lado direito do eixo) foram realizadas duas sondagens percussivas, uma em cada ombreira, e uma mista no ponto mais baixo, que mostraram solos resistentes e com boa impermeabilidade nas ombreiras. No talvegue verificou-se a existência de 1 m de solo transportado sobrejacente a 1,35 m de solo residual bastante impermeável. A rocha de fundação mostrou-se constituída de uma Biotita- Xisto que a partir de 1,35 m de profundidade mostrou-se moderadamente dura a dura, pouco fraturada e com baixa a nula condutibilidade hidráulica, máximo de 0,13 l/min/m/atm no ensaio Lugeon.



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.

As investigações geotécnicas foram iniciadas no eixo de Montante e, como consequência dos resultados obtidos, paralisadas e reiniciadas em outro eixo, situado a jusante do primeiro e dito eixo Final.

Do programa de sondagens previsto para o eixo de Montante foram executadas 5 (cinco) sondagens mistas, sendo 4 na sela topográfica onde se previa o sangradouro e uma ultima, situada à direita deste local, para uma nova tentativa de localização do sangradouro ainda neste eixo.

A Tabela Nº 4.1 mostra a identificação dos furos executados na primeira campanha, isto é, no eixo Montante (descartado).

TABELA Nº 4.1: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM UMARI SANGRADOURO (EIXO MONTANTE)								
Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus.	Rotat.		
SM-9	34	405.384	9.616.318	312.393	13,03	8,33	Gnaisse, macia a dura, foliada, intercalada c/5 m solo residual	Moderadam Intemper.
SM-10	53	405.443	9.616.327	320.474	8,12	13,19	Biotita xisto, macia a moder. dura gran. fina, xistosa	Levemente. Intemper.
SM-12	37	405.436	9.616.376	311.549	11,44	8,21	Biotita xisto, macia a muito dura, gran. fino, foliada	Sã
SM-13	37 (20 m Montante)	405.502	9.616.335	310.950	10,00	7,16	Gnaisse muito macia a muito dura, gran. fina, foliada	Moderadam Intemper.

**TABELA Nº 4.1: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM UMARI SANGRADOURO (EIXO MONTANTE)**

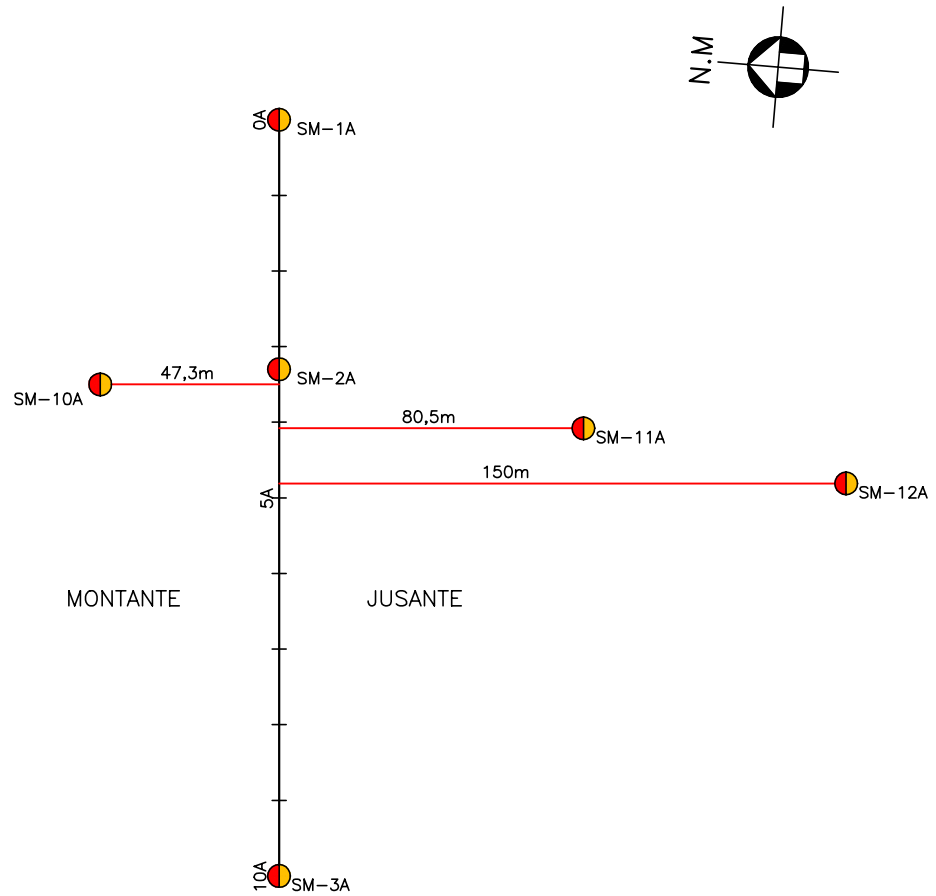
Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus.	Rotat.		
SM-15	40	405.245	9.616.297	317.529	3,45	12,00	Gnaiss muito dura, gran. fina, foliada	Levemente Intemper.

Diante das condições geotécnicas encontradas no eixo anterior deslocou-se o eixo da barragem para jusante onde, selecionou-se uma sela topográfica na ombreira esquerda para possível sangradouro. Nesse local foram realizadas 6 sondagens mistas, sendo 3 no eixo, 1 para montante e 2 para jusante, conforme pode ser visto na figura nº 4.1. Na Tabela Nº 4.2 mostra-se a campanha de sondagens executada na região do sangradouro deste novo eixo (eixo Final).

TABELA Nº 4.2: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM UMARI SANGRADOURO (EIXO FINAL)

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus.	Rotat.		
SM-1 A	0 - 7,40	439.376	9.468.346	321,592	6,12	6,53	Gnaiss, moder. dura a muito dura, gran. fina, foliada	Sã
SM-2 A	3+6,0	439.310	9.468.340	316,425	1,19	8,11	Biotita xisto moder. dura gran. fina, xistosa	Moderadam. Intemper.
SM-3 A	10	439.276	9.468.337	318,266	2,17	7,92	Biotita xisto moder. dura e veio de pegmatito dura	Levemente Intemper.
SM-10 A	3+ 10 (47,3 m Montante)	439.302	9.468.387	317,488	0,50	6,64	Gnaiss dura a muito dura, gran. fina, foliada	Sã
SM-11 A	4+ 1,60 (80,5 m Jusante)	439.302	9.468.258	309,116	3,60	9,25	Biotita xisto macia a muito. dura gran. fina, xistosa	Levemente Intemper.
SM-12 A	4+16,2 (150 m Jusante)	439.293	9.468.188	305,596	1,05	11,25	Biotita xisto macia a dura e gnaiss muito dura foliada	Biotita leve a alta intemp. e gnaiss sã

INVESTIGAÇÃO NO SANGRADOURO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM UMARI

ESCALA:

1:2.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

4.1



Os resultados destas sondagens 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.

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.

As campanhas executadas na pesquisa dos locais do sangradouro totalizaram 11 sondagens mistas, com 159,26 m, sendo 60,67 m com percussão e 98,59 m com sonda rotativa.

4.2. Comentários

Da campanha de sondagens realizadas no eixo de montante (descartado) pode-se observar que:

- No local originalmente idealizado para localizar o sangradouro, entre estacas 34 e 40, apenas na estaca 40 o manto de solo tem uma menor espessura, cerca de 3,5 m, no restante da área a espessura deste material variou de 10 a 13 metros. Com isto o topo rochoso, com exceção da estaca 40, ficou entre as cotas 299,4 e 301,0 m, o que está muito abaixo da cota 310,0 m definida como ideal para a sangria. Interessante salientar que na região de grande cobertura de solo os primeiros 2 a 3m do substrato rochoso mostrou-se altamente intemperizado e com uma frequência de fraturas superior a 20 unidades por metro.
- A tentativa de deslocar o local do sangradouro para uma região mais a direita, neste mesmo eixo, foi materializada através da SM-10, que apresentou uma cobertura de solo de 8,1 m e um substrato rochoso composto de uma Biotita-xisto macia, altamente intemperizada até



próxima da cota 308,8 m e a partir desta cota uma moderada dureza e um grau de intemperismo mediano.

Da campanha de sondagens realizada no local previsto para o sangradouro no eixo situado a jusante (eixo Final), pode-se tecer os seguintes comentários:

- Com exceção da sondagem SM-1 A, que indicou uma espessura de solo de 6,12 m, as demais sondagens apresentaram um manto de solo residual de espessura variando entre 0,50 m e 3,16 m.
- Na extremidade esquerda do eixo do sangradouro verificou-se a presença de um gnaisse que, no nível da cota 310,0 m, mostra-se dura, sã, com RQD de 10 a 40%, com uma freqüência de 10 fraturas por metro.
- Na região central do eixo constatou-se a presença de uma Biotita-Xisto, moderadamente dura, que no nível da cota 310,0 m mostra-se com RQD de 30%, levemente intemperizada e com cerca de 15 fraturas por metro.
- Na extremidade direita do eixo constatou-se nos primeiros 4 m a presença de intercalações de veios de pegmatito em um micaxisto decomposto e a partir daí uma Biotita-Xisto, que no nível 310, m mostra-se sã, muito dura, com RQD de 60% e com cerca de 10 fraturas por metro.
- Na sondagem situada à montante do eixo o substrato é constituído de uma gnaisse, que no nível 310,0 m apresenta-se muito dura, sã, com RQD de 90% e com cerca de 5 fraturas por metro.
- Nas duas sondagens executadas a jusante do eixo foram encontradas uma rocha constituída de Biotita-Xisto, que nos primeiros 2 a 3 m apresenta-se mais intemperizada, mais fraturada e com menor RQD.
- Observando-se a planta de localização das investigações verifica-se que, dependendo das dimensões a serem adotadas para o elemento de sangria e sua otimização com o relevo topográfico, poderão ser necessárias novas sondagens posicionadas dentro da área de escavação, para melhor avaliação das condições do substrato rochoso.



- As escavações rochosas do sangradouro, tanto na rocha Gnaisse e na Biotita-Xisto, deverão ser selecionadas e, excluídas suas porções altamente intemperizadas, utilizadas para enrocamento, transições e agregados nas obras da barragem



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.

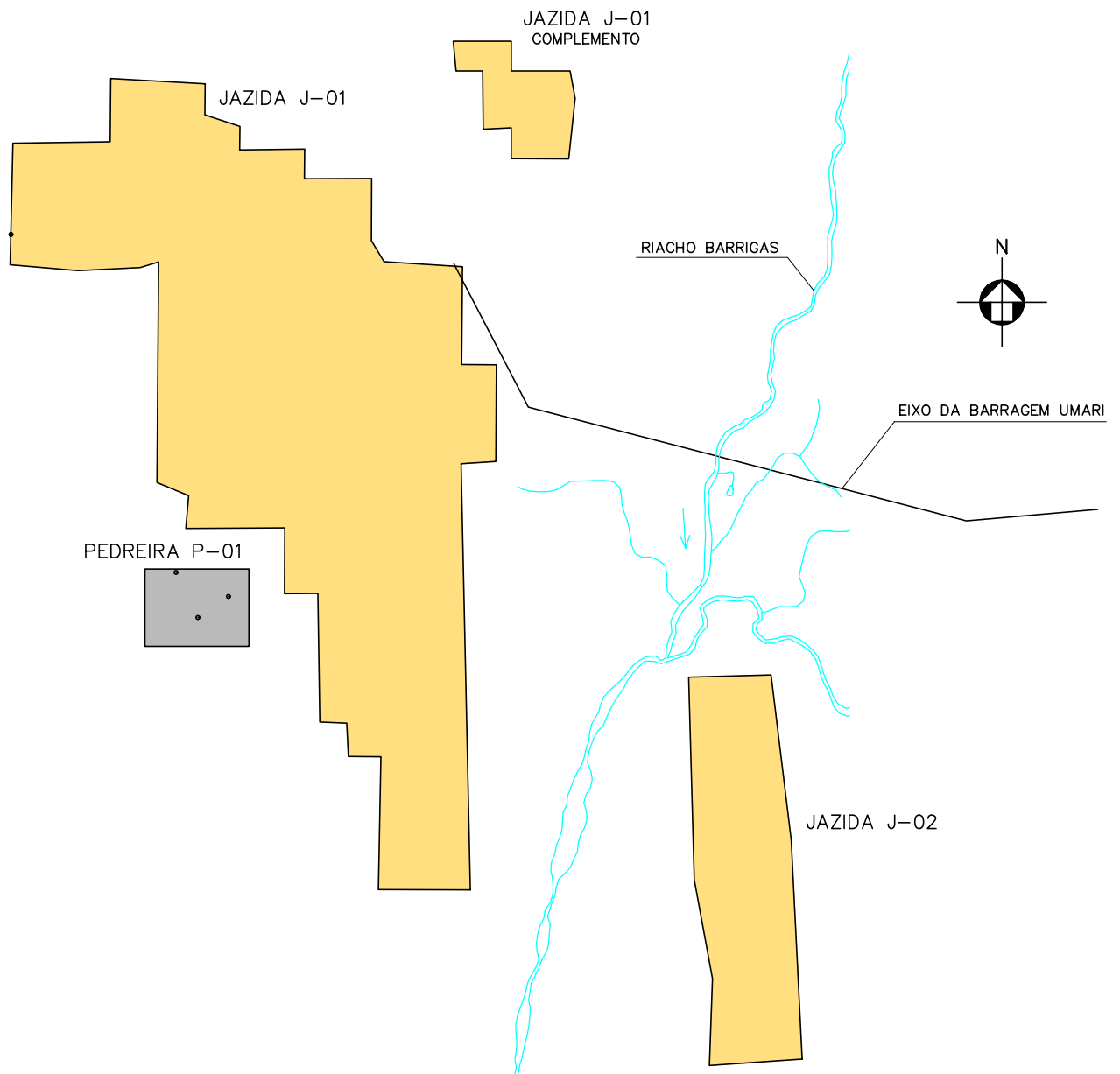
Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 2 jazidas de solos, um areal, uma pedreira e duas outras áreas alternativas de afloramentos, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista na figura nº 5.1.

A jazida J-1 situada na ombreira direita, a montante e jusante do eixo, distante cerca de 0,6 km do eixo, consta de uma área de solo silto areno argiloso, com presença de pedregulhos, cuja profundidade investigada variou de 0,40 a 0,90 m. O material constitui-se predominantemente de solos SC que poderão ser utilizados em qualquer zona do maciço da barragem.

A jazida J-2 situa-se a jusante do eixo, na ombreira esquerda, e é constituída de solos silto areno argilosos, com pouco pedregulho, com uma espessura variável de 0,50 a 1,10. O material constitui-se, também, de solos SC que poderão ser empregados na execução de um maciço homogêneo. A área dista cerca de 0,4 km para o eixo e está fora da bacia hidráulica da barragem.

A rocha pouco alterada originária da escavação obrigatória do sangradouro deverá ser utilizada como material pétreo nas diversas etapas da construção da barragem. No entanto, para possível complementação dos volumes, sondou-se um afloramento na ombreira direita, dito Pedreira P-01, e identificou-se mais duas áreas no lado esquerdo.

LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS
DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM UMARI

ESCALA:

1:10.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.1



5.1. Jazidas de Solo

As jazidas de solos foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 50 m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas figuras nº 5.2 a 5.3, a seguir. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados tátil visualmente e medidas suas espessuras, conforme apresentado nos boletins de campo no Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia- Anexos.

A tabela 5.1 apresenta um resumo de características gerais das jazidas estudadas.

Tabela 5.1: Características Gerais das Jazidas		
	Jazida J - 01	Jazida J - 02
Proprietários	João de Pinho	Antônio Coriolano Jucá Souza
Área Estudada (m²)	424.202	80.636
Nº de poços executados	229	52
Espessura média do expurgo (m)	0,10	0,10
Espessura média de material utilizável (m)	0,53	0,70
Volume de expurgo (m³)	42.420	8.063
Volume de material utilizável (m³)	224.827	56.445
Distância ao eixo da barragem (m)	643	866
Extensão total estudada (m)	144,0	36,3

Na tabela 5.2 são apresentados um quadro resumo contendo os volumes utilizáveis e expurgáveis, bem como o volume total de material disponível nas jazidas.

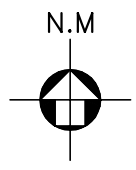
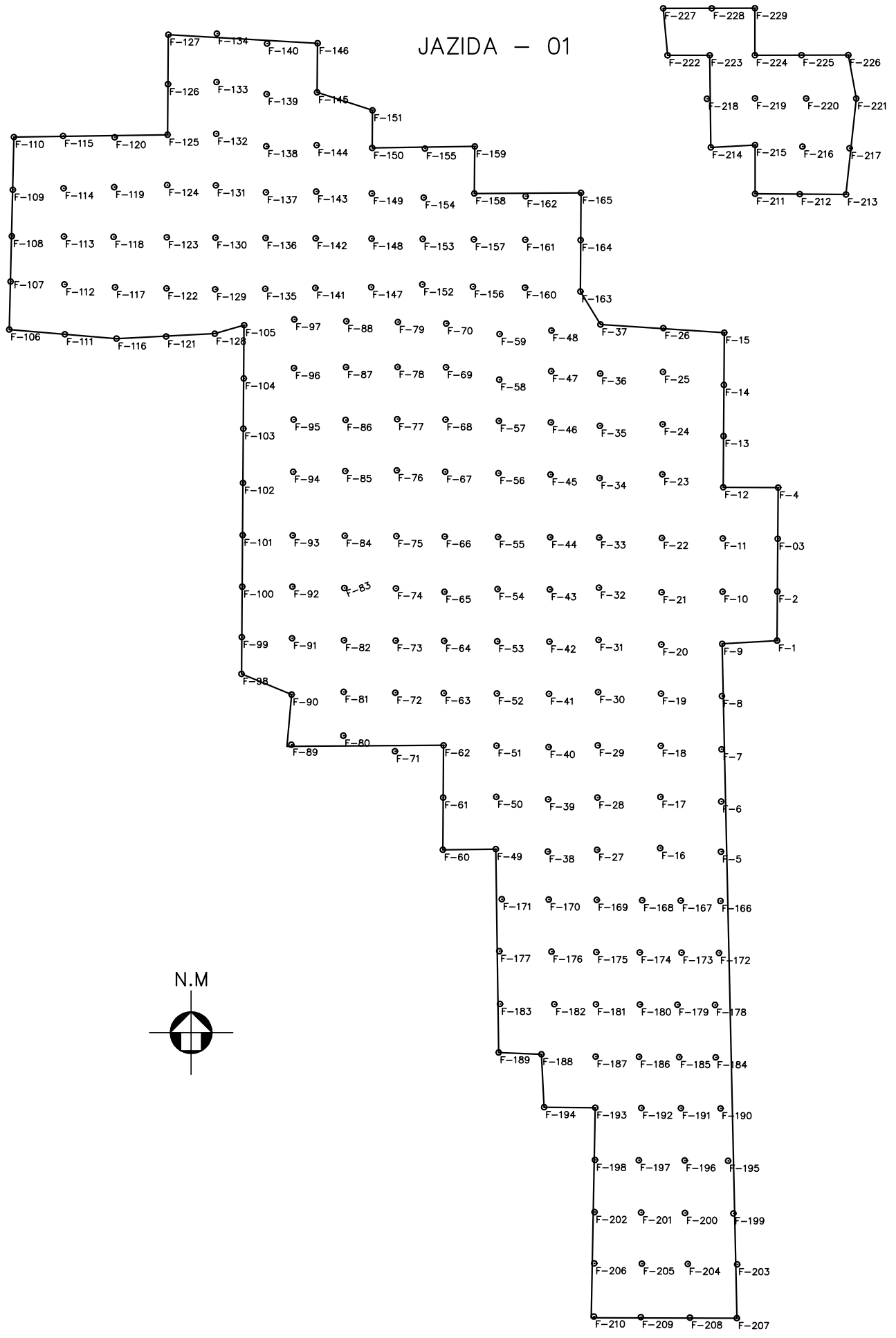
Tabela 5.2: Volume de Materiais das Jazidas		
Local	Volume (m³)	
	Utilizável	Expurgável
Jazida J - 01	224.827	42.420
Jazida J - 02	56.445	8.064
Volume Total	281.272	50.484



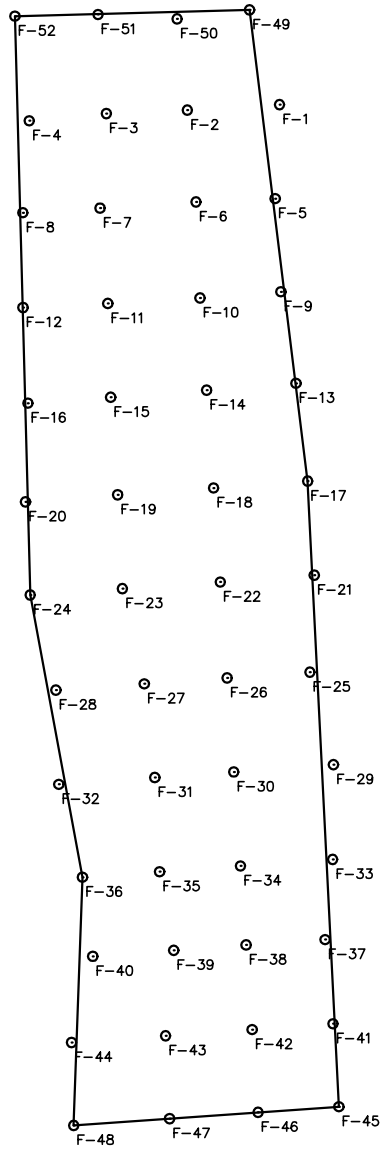
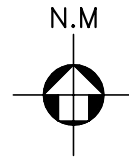
Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas a campanha de ensaios geotécnicos, a saber:

- 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)

JAZIDA - 01



JAZIDA - 02



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM UMARI

ESCALA:

1:4.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.3



Nas Tabelas Nº 5.4 e 5.5 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório.

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

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Triaxial

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

Tabela Nº 5.3: Valores Médios dos Ensaos Especiais das Jazidas			
Jazida	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)	Triaxial	
		Coesão (kgf/cm²)	φ (°)
J-01	8,9x10E-7	0,03 e 0,05	27,5 e 29,3
J-02	7,6x10E-7	0,10	26,2

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

Furos	02	03	06	20	39	44	46	53	72	77	83	113	122	125	139	142	157	174	188	191	204	211	216	225			
GRANULOMETRIA																											
2"	100	100	100	100	100	100	100	100	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	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
3/4"	100	100	100	100	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
1/2"	97	94	98	100	91	97	99	97	100	100	100	100	99	100	100	99	98	100	99	100	99	99	98	98	98	98	
3/8"	93	91	94	100	89	93	95	92	99	100	99	99	98	99	98	96	94	98	97	99	96	97	96	95	95	95	
Nº 4	88	85	90	99	84	88	91	89	94	99	96	96	94	97	96	92	90	93	92	95	91	94	92	90	90	90	
Nº 10	82	78	83	91	79	82	86	83	89	94	89	90	88	92	89	84	83	87	85	87	83	86	88	80	80	80	
Nº 40	55	50	53	35	57	58	57	55	53	55	51	54	55	59	61	58	55	61	58	60	55	58	57	53	53	53	
Nº 100	41	32	38	15	43	43	42	40	39	41	43	41	41	43	45	44	42	48	44	45	40	42	41	41	41	41	
Nº 200	35	25	31	13	37	36	34	32	30	30	35	31	32	34	36	34	33	37	33	36	32	31	33	32	32	32	
<0,005			12	5				13			13	11			16		16	20		15		12			15	15	
LIMITES DE ATTERBERG																											
LL	32,0	31,0	30,0	30,2	33,2	32,2	33,1	32,1	32,2	33,1		34,1	34,1	34,2	33,1	32,0	33,1	34,1	34,0	34,2	31,1	31,2	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1
LP	20,0	20,1	19,9	22,9	21,2	20,9	21,9	22,3	22,2	23,2		24,2	23,1	23,1	20,8	21,3	22,3	21,4	21,9	20,2	21,2	22,1	21,9	21,2	21,9	21,2	21,2
IP	12,0	10,9	10,1	7,3	12,0	11,3	11,2	9,8	10,0	9,9		9,9	11,0	11,1	12,3	10,7	10,8	12,7	12,1	14,0	9,9	9,1	10,2	10,9	10,9	10,9	10,9
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																											
U.S.C.S.	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	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)	1,866	1,774	1,766	1,811	1,817	1,820	1,824	1,840	1,850	1,835		1,840	1,834	1,820	1,811	1,824	1,830	1,808	1,839	1,829	1,820	1,846	1,840	1,833	1,833	1,833	1,833
Umidade Ótima (%)	11,30	12,30	11,80	10,20	11,00	11,40	11,20	10,80	10,80	11,00		10,80	11,30	11,90	12,60	12,20	12,00	13,00	12,50	12,90	12,30	11,10	12,40	11,90	11,90	11,90	11,90
ENSAIOS <i>IN SITU</i>																											
Umidade Natural (%)			2,90	3,10				3,70			3,70	3,10			3,10		4,10	3,70		3,70		3,10		4,10		4,10	4,10
Peso Específico Natural (g/cm ³)			1,389	1,430				1,444			1,483	1,457			1,459		1,371	1,473		1,487		1,483		1,493		1,493	1,493
PERMEABILIDADE																											
Permeabilidade (cm/s)		8,9E-07		9,3E-07				8,9E-07			1,0E-06	9,2E-07			8,6E-07		8,7E-07	8,3E-07		8,5E-07		9,2E-07		8,8E-07		8,8E-07	8,8E-07

**TABELA 5.5: Quadro Resumo dos Ensaios - Jazida J-02**

Furos	02	04	05	11	13	20	22	31	33	42	44
GRANULOMETRIA											
2"	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
1"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	90	100	100	100	100	100	100	94	100	99	99
3/8"	87	100	99	100	100	9	100	91	97	97	98
Nº 4	83	100	99	99	98	98	99	86	94	94	95
Nº 10	79	99	97	97	96	95	97	82	91	90	93
Nº 40	63	89	84	84	83	69	70	60	68	70	72
Nº 100	41	65	66	40	43	44	43	45	44	46	45
Nº 200	32	49	58	28	33	35	33	37	34	39	40
<0,005											
LIMITES DE ATTERBERG											
LL	34,4	36,1	38,0	36,2	31,0	37,0	36,2	31,0	36,2	36,0	35,1
LP	23,0	22,0	23,0	24,0	20,0	25,0	24,0	20,0	24,0	22,0	22,0
IP	11,4	14,1	15,0	12,2	11,0	12,0	12,2	11,0	12,2	14,0	13,1
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.											
U.S.C.S.	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
COMPACTAÇÃO											
Densidade Seca - γ_s (g/cm ³)	1,786	1,667	1,635	1,829	1,740	1,711	1,787	1,709	1,763	1,712	1,767
Umidade Ótima (%)	12,10	15,50	15,10	10,90	14,60	14,50	13,10	12,20	12,90	14,50	13,40
ENSAIOS <i>IN SITU</i>											
Umidade Natural (%)	3,10					3,60	3,10			3,90	
Peso Específico Natural (g/cm ³)	1,459					1,410	1,447			1,402	
PERMEABILIDADE											
Permeabilidade (cm/s)	8,5E-07					7,5E-07	7,7E-07			6,8E-07	



5.2. Areal

O areal foi identificado no leito do riacho Barrigas e estudado para a execução do filtro vertical, dreno horizontal e concretos.

A tabela 5.6 apresenta um resumo de características gerais do areal estudado.

Tabela 5.6: Características Gerais do Areal	
Área Estudada (m ²)	15.787
Nº de poços executados	16
Espessura média de material utilizável (m)	1,50
Volume de material utilizável (m ³)	23.681
Distância ao eixo da barragem (m)	1.137

Foram coletadas amostras na área do rio selecionada como areal A-1 para a realização do seguinte ensaio de laboratório:

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

Na Tabela Nº 5.7 são mostrados os resultados médios da companhia de ensaios de laboratório realizada no Areal.

Tabela Nº 5.7 Valores Médios dos Ensaio do Areal									
Granulometria (% que passa)								D _{max} (mm)	USC
1"	3/8"	Nº4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100		
100	100	96	85	62	22	3	0,5	4,8	SP

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 5.8.



Tabela Nº 5.8 Valores Médios dos Ensaios Especiais do Areal	
Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)	
7x10 ⁻³	

5.3. Pedreira

A pedreira identificada, denominada de P-01, foi estudada como possível fonte complementar para a execução dos enrocamentos, transições, rip-rap e concretos.

A área definida como pedreira P-01 situa-se à direita do eixo, em terras fora da área do futuro reservatório, distando cerca de 0,75 km para a ombreira direita (ver figura 5.4). Neste local foram realizadas sondagens mistas (iniciada a percussão e prosseguida por sonda rotativa) em um total de 3 furos, como descrito na Tabela Nº 5.9. A análise dos resultados mostrou que o manto de solo de recobrimento apresenta uma espessura de cerca de 1 m (máximo de 2m) e que a rocha constituiu-se de um gnaisse com boas características mecânicas, tendo alta dureza e uma recuperação média em RQD superior a 70%, com médio a baixo grau de fraturamento porém, com passagens alteradas e intensamente fraturadas, onde o RQD chega a zero.

Tabela Nº 5.9: Investigação Geotécnica da Barragem Umari -Pedreira P-01			
Sondagem Nº	Estaca	Trecho	
		Percussão	Rotativa
FP-01	P-1	1,00	6,04
FP-02	P-1	2,22	5,76
FP-03	P-1	1,29	7,21

Duas outras áreas de material rochoso foram identificadas; uma consta da antiga pedreira utilizada para a construção da BR-020 e que situa-se em terras lindeiras a rodovia, e a outra no lado esquerdo do futuro reservatório, próxima da localidade de



Salgadinho. Na tabela 5.10 são apresentadas as coordenadas registradas nestas áreas.

Tabela Nº 5.10: Localização das Áreas Alternativas de Fonte de Material Pétreo		
Área	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
PEDREIRA BR-020	438.826	9.467.126
AFLORAMENTO	439.355	9.469.012

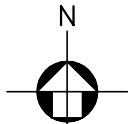
Selecionada a área da pedreira P-01 (ver figura nº 3.7) como fonte complementar apropriada de obtenção de material pétreo, coletou-se amostras para a realização dos ensaios de desgaste por Abrasão “Los Angeles”, cujo valor médio é apresentado na Tabela Nº 5.11.

Tabela Nº 5.11: Valores Médios dos Ensaios da Pedreira
Abrasão Los Angeles (%)
26

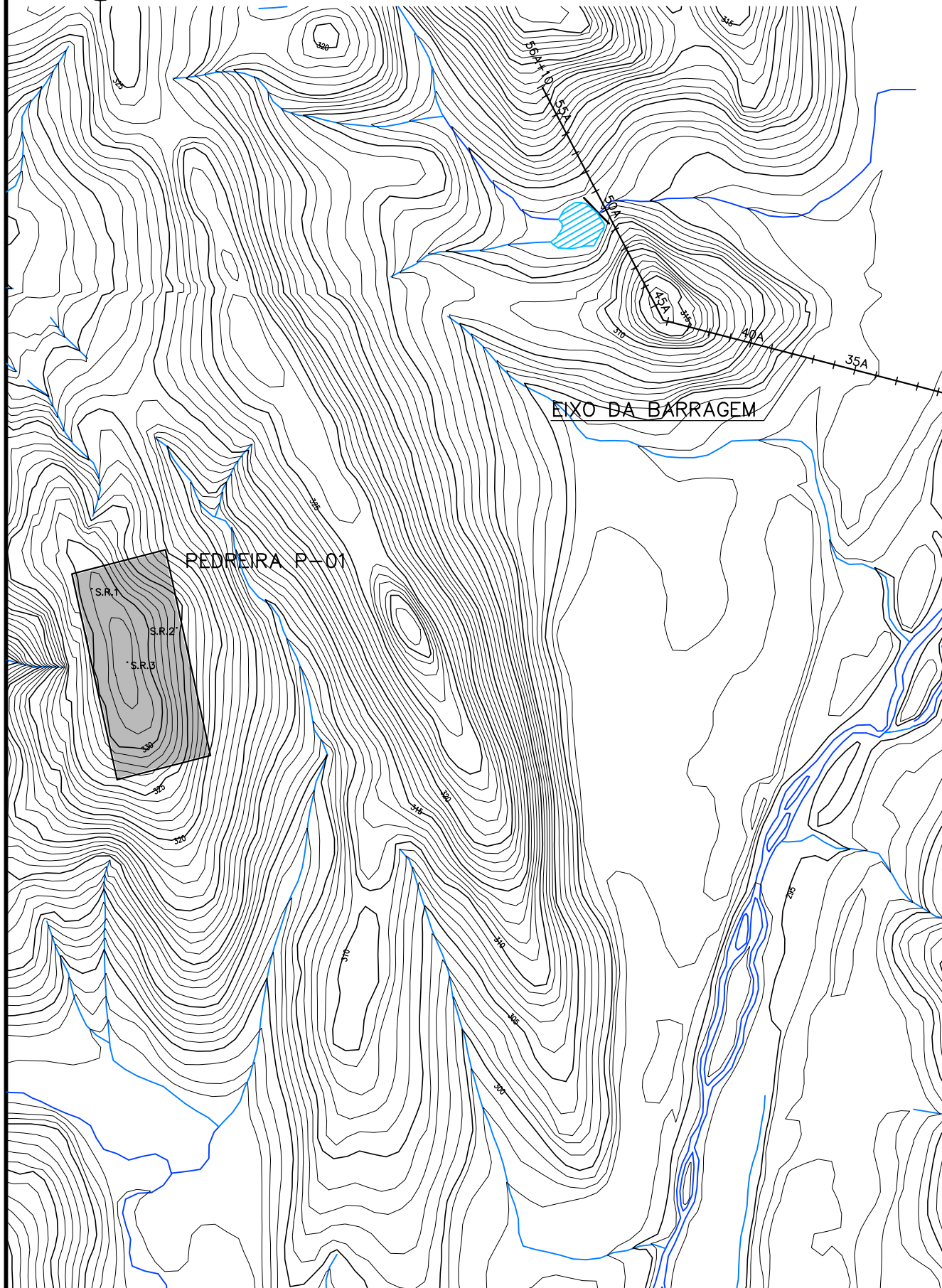
A tabela Nº 5.12 apresenta um resumo de características gerais da pedreira estudada.

Tabela Nº 5.12: Características Gerais da Pedreira P-01	
Proprietário	Ovidio Carneiro de Oliveira
Área Estudada (m²)	18.317
Nº de poços executados	03
Espessura média de decapagem (m)	1,50
Espessura média de material utilizável (m)	6,34
Volume de decapagem (m³)	27.537
Volume de material utilizável (m³)	116.069
Distância ao eixo da barragem (m)	1.078

Os ensaios de laboratório da pedreira P-01 são apresentados no Tomo 4 A.



LOCALIZAÇÃO DA PEDREIRA



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM UMARI

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.4



5.4. Comentários

- Os exames dos ensaios de caracterização realizados (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01 e J-02, permitiram enquadrar os materiais estudados no grupo SC (Areias argilosas) 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 apresentam as seguintes características:

Solo SC

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

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que seja feito o controle de umidade e densidade durante a construção. Para orientação deste controle são apresentados na Tabela N° 5.10 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 N° 5.10: Ensaios de Laboratório de Compactação		
Discriminação	Jazida	
	J-01	J-02
Densidade (g/cm ³)	1,824	1,737
Umidade(%)	11,6	13,5

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



- Os solos das jazidas J-01 e J-02 possuem características muito parecidas e poderão ser utilizados em qualquer região da seção, formando um maciço do tipo “homogêneo”.
- Os solos das escavações obrigatórias da área do sangradouro deverão ser aproveitados no maciço da barragem, preferencialmente no espaldar de jusante.
- 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 formações rochosas apropriadas para tais fins. Como complementação desta fonte indicou-se a pedra P-01, constituída de gnaiss são, muito duro e com médio a baixo fraturamento. O maciço gnaissico da pedra está intercalado com camadas máficas e félsicas sendo algumas com espessura superior a 1 m, onde o grau de alteração é elevado e o fraturamento intenso. O emprego do material componente destas passagens alteradas deve ser evitado.
- Os bancos de areia do riacho Barrigas, com permeabilidade média de 7×10^{-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.



MONTGOMERY WATSON





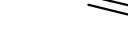


6. ANEXOS

LEGENDA


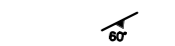
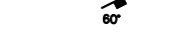


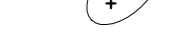
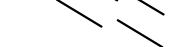
CONVENÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA

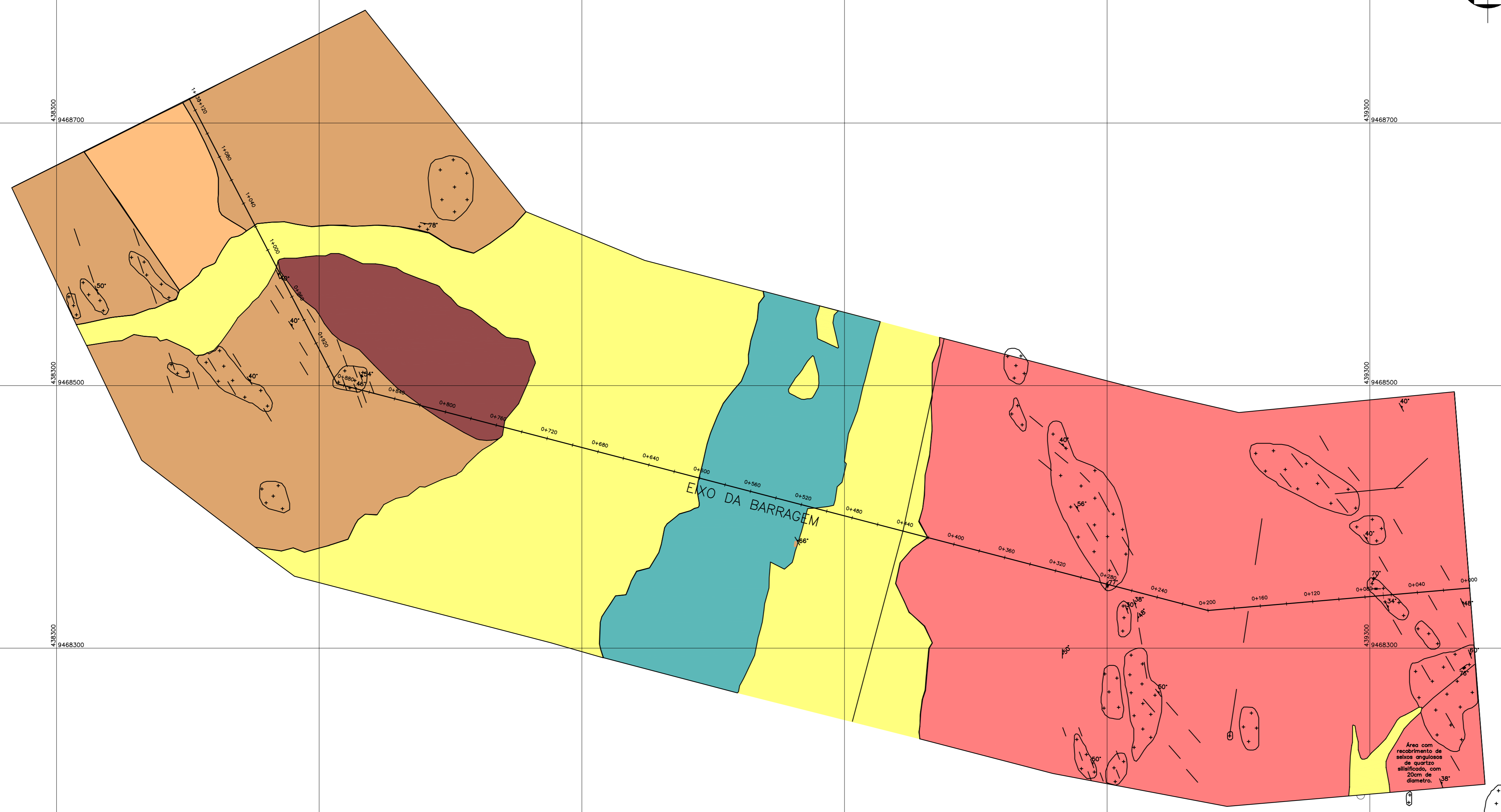
- CENOZÓICO
QUATERNÁRIO
- ALUVIÃO
 - GRANITO
 - BIOTITA-XISTO ASSOCIADO A GNAISSE E ANFIBOLITO
 - QUARTZITO ASSOCIADO A BIOTITA-XISTO
 - GNAISSE MIGMATÍTICO

Convenções

-  Açuete
-  Rio
-  Carroçal
-  Caminhos
-  CE

Convenções geológicas

-  Contato litológico
-  Atitude de foliação
-  Atitude de fratura
-  Atitude de fratura vertical
-  Fratura
-  Afloramento de rocha
-  Trampo de foliação



LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :


REVISÕES

Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

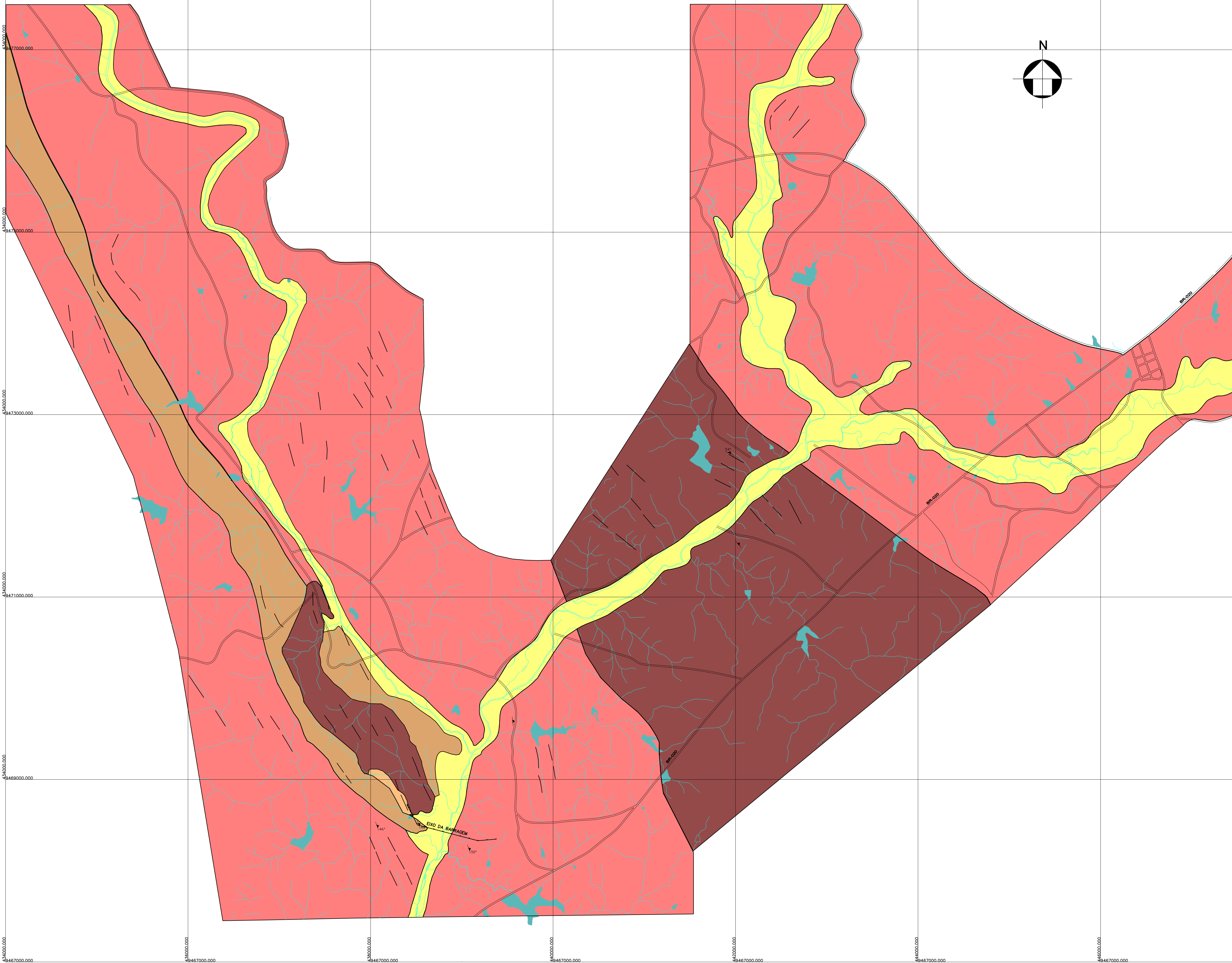
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH – PROGERIRH

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 UMARI

Projeto :	Umari_Figura_2-4.dwg	Arquivo
Visto :	JAN./2002	Data de Emissão :
Verificado :	ESCALA :	1:2000
Aprova :		

Nº do Desenho : FIGURA_2-4



LEGENDA

CONVENÇÃO LITOSTRATIGRÁFICA

- CENOZÓICO
QUATERNÁRIO
- ALUVIÃO
 - GRANITO
 - BIODITA-XISTO ASSOCIADO A GNAISSE E ANFIBOLITO
 - QUARTZITO ASSOCIADO A BIODITA-XISTO
 - GNAISSE MIGMATÍTICO

Convenções

- Açude
- Rio
- Carreçal
- Caminhos
- CE

Convenções geológicas

- Contato litológico
- Atitude de foliação
- Atitude de foliação sem medidas de mergulho
- Fratura
- Traço de foliação

LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES			
Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

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

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 UMARI

Projeto :	Arquivo Umari_Figura_2-5.dwg
Visto :	Data de Emissão : JAN / 2002
Verificado :	ESCALA : 1:20000
Aprova :	Nº do Desenho : FIGURA_2-5

Consórcio



MONTGOMERY WATSON

