

MÓDULO III – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM TRAIRI

VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 5 – ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Nov/01	Apresentação – Edição Preliminar	CONSÓRCIO	TAC	NKT	NKT
a	Mar/02	Apresentação – Edição Definitiva	CONSÓRCIO	TAD	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	9
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	11
<u>3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS</u>	15
<u>3.1 - GEOLOGIA REGIONAL</u>	19
<u>3.2 - GEOLOGIA LOCAL</u>	24
<u>3.3 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE</u>	27
<u>3.3.1 - Diagrama de Fraturas</u>	29
<u>4 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u>	30
<u>4.1 - BARRAGEM E SANGRADOURO</u>	31
<u>4.1.1 - Sondagens a Pá e Picareta</u>	31
<u>4.1.2 - Sondagens à Percussão</u>	33
<u>4.1.3 - Sondagens Mistas e Rotativas</u>	35
<u>4.1.4 - Ensaios de Permeabilidade " in situ" com Carga Constante (Le Franc)</u>	37
<u>4.1.5 - Ensaios de Perda D' Água (LuGeon)</u>	37
<u>4.2 - ESTUDOS DOS MATERIAIS</u>	38
<u>4.2.1 - Permeabilidade com Carga Variável</u>	40
<u>4.2.2 - Permeabilidade com Carga Constante</u>	40
<u>4.2.3 - Cisalhamento Direto Lento</u>	41
<u>5 - CONSIDERAÇÕES GERAIS</u>	42
<u>5.1 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</u>	43
<u>5.2 - FUNDAÇÕES</u>	44
<u>5.2.1 - Barragem</u>	44
<u>5.3 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÕES</u>	47
<u>5.3.1 - Jazidas Identificadas</u>	47

5.4 - CONCLUSÕES	49
6 - ANEXOS	51
6.1 - SONDAgens	
6.1.1 - Ensaio de Infiltração (Le Franc)	
6.1.2 - Ensaio de Perda D'Água (LuGeon)	
6.2 - ENSAIOS DOS MATERIAIS	
6.2.1 - Jazida - 01	
6.2.2 - Areal 01	
6.2.3 - Areal 03	
6.2.4 - Pedreira 01	
6.2.5 - Jazida 01 - Boletins de Caracterização	
7.0 - PLANTAS	
CROQUI DA JAZIDA 01	
CROQUI DO AREAL 01	
CROQUI DO AREAL 02	
CROQUI DO AREAL 03	
CROQUI DA PEDREIRA 01	
PLANTA DE LOCAÇÃO DAS SONDAgens	
PERFIL LONGITUDINAL DO SUBSOLO	
MAPA GEOLÓGICO DA BARRAGEM E SANGRADOURO	
MAPA GEOLÓGICO DA BACIA HIDRÁULICA	
PERFIL DA GEOLOGIA LOCAL	

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pelo Consórcio JP ENGENHARIA – AGUASOLOS – ESC/TE, no âmbito do Contrato nº 005/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH/2001, assinado em 22/03/2001 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a Elaboração dos Estudos de Viabilidades Técnicas, Ambientais e Econômicas, EIA's-RIMA's, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Adutoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE, no Estado do Ceará.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Módulos, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

Módulo I – Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Adutoras

VOLUME I – Estudo de Alternativas e Opções para a Localização dos Eixos Barráveis e Adutoras

Módulo II – Estudos dos Impactos Ambientais

VOLUME I – Estudos dos Impactos Ambientais - EIA

VOLUME II – Relatório dos Estudos dos Impactos Ambientais - RIMA

Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME II – Anteprojeto

Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral

Tomo 2 – Plantas

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I – Levantamento Cadastral

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico Socioeconômico

Tomo 2 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Adustras

VOLUME I – Estudos Básicos - Levantamentos Topográficos e Investigações Geotécnicas

VOLUME II – Anteprojeto

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medições

Tomo 5 – Plantas

Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção

Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Trairi*, e é parte integrante do *Módulo III*.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

O presente relatório, refere-se ao Módulo III – Projeto Executivo da Barragem, Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Trairi, tendo como objetivo, definir as características da fundação da barragem, bem como dos materiais construtivos, terrosos, arenosos e pétreos a serem utilizados na sua construção.

Os estudos geológicos foram realizados através de bibliografias correlatas à área em questão, utilizando-se uma escala regional, para uma visão mais ampla das características geológicas da região. Em seguida, os estudos foram realizados em escala localizada, possibilitando uma melhor definição das litologias e suas respectivas estruturas, nos locais de implantação das obras.

Os estudos geológicos de superfície constaram de um mapeamento detalhado do sítio barrável, executado 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;

Os estudos geotécnicos constaram de investigações da subsuperfície realizadas através de sondagens a pá e picareta, percussivas, rotativas e mistas, executadas ao longo do eixo barrável e sangradouro e de ensaios de permeabilidade com carga constante (Le Franc) e ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Foram pesquisadas as áreas de empréstimos, com a caracterização dos materiais terrosos, granulares e pétreos e serem utilizados na construção da barragem.

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Trairi localiza-se na região Norte do Estado do Ceará. Sua situação geográfica é definida pelas coordenadas 3°16'40" de latitude Sul e 39°16'08" de longitude Oeste. A altitude da sede é de 18,00 m. Os seus limites são: ao Norte o Oceano Atlântico; ao Sul os municípios de São Luiz do Curu e Tururu; a Leste Paraipaba e São Gonçalo do Amarante e a Oeste Itapipoca. A sua extensão territorial é de 756 km² e a distância a Fortaleza é de 130 km. O acesso a Fortaleza é feito pela BR-222 e pelas CE's-163 e 085.

O acesso ao sítio do barramento pode ser feito a partir de Fortaleza pela rodovia BR-222 até, aproximadamente, 4,2 km após a cidade de São Luiz do Curu. A partir desse ponto toma-se a direita (sentido norte) pela CE-163, na qual percorre-se cerca de 33 km, onde entra-se a esquerda, uma estrada carroçável na qual percorre-se cerca de 5 km e chega-se ao local do boqueirão, à 1Km da localidade denominada Córrego Fundo, bem próximo à rodovia CE-085. (ver figuras a seguir)

Outra forma de acesso ao local do boqueirão seria partindo de Fortaleza pela Rodovia Estruturante (CE-085) até a localidade de Córrego Fundo, aproximadamente 119km. Deste ponto toma-se a esquerda em estrada carroçável e a 1km chega-se ao local do boqueirão.

Figura 2.1

Mapa de localização

Arquivo Corel

Figura 2.2

Mapa de localização

Arquivo Corel

3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

3- ESTUDOS GEOLÓGICOS

A área em estudo para o projeto da Barragem Trairi situa-se no Município de Trairi, na região norte do estado do Ceará.

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 1:2.000;
- 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.

Os estudos geológicos estão apresentados na forma de três subitens, denominados de Geologia Regional, Geologia Local e Levantamento Geológico de Superfície.

Figura 3.1 - Mapa Geologia Brasil

Figura 3.2 - Mapa Geologia Ceará

3.1 - GEOLOGIA REGIONAL

A descrição da geologia regional 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.

O rio Trairi, escolhido para a formação da barragem é um rio intermitente que integra a bacia litorânea à noroeste do Estado do Ceará, desaguardo no mar.

Quatro feições morfológicas estão presentes. A primeira compreende a faixa litorânea caracterizada pelas dunas, dispostas em cordões paralelos à costa. Entre o relevo litorâneo e as serras altas do interior, desenvolve-se a segunda feição, representada pelos tabuleiros cenozóicos, ocupando uma faixa de largura entre 30 a 50Km ao longo da costa, formando uma superfície aplainada, suavemente inclinada para o mar. Essas coberturas pertencem aos sedimentos do Grupo Barreiras Indiviso de idade Tércio-quadernária. A terceira feição corresponde a um extenso pediplano de rochas cristalinas Pré-cambrianas, constituindo um conjunto profundamente arrasado, com cotas em torno de 60m. Sobressaindo desse relevo monótono tem-se a feição representada pelos maciços montanhosos esculpido em rochas cristalinas, destacando-se a serra Sítio Verde, próximo à cidade de Itapipoca, e a serra de Uruburetama, no município de mesmo nome.

A geologia da área é representada em grande parte pelas rochas cristalinas pré-cambrianas, ocorrendo os sedimentos cenozóicos na porção ao norte de Itapipoca, bem como nas áreas onde se situam Trairi e Paraipaba, próximo ao litoral.

As rochas cristalinas pré-cambrianas foram agrupadas em cinco unidades litoestratigráficas individualizadas segundo os critérios estruturais e sendo consideradas as associações litológicas, estratigraficamente indiferenciadas, visto que os elementos estruturais relacionados aos eventos geológicos foram mascarados pela

tectônica superimposta desenvolvida em vários ciclos de reativação. Passa-se a descrever a seguir as unidades descritas nas fontes de pesquisa supracitadas:

- **Complexo Caicó:** esta unidade é constituída de gnaisses variados, incluindo lentes de quartzito, metarcósio, anfibolito e calcário cristalino. Além de migmatitos com estruturas planares bem desenvolvidas (metatexitos) e com estruturas homogeneizadas (diatexitos). O “trend” estrutural está orientado segundo NE-SW, tendo como características na região de domínio dos gnaisses as feições retilíneas. A ausência de foliação é característica no domínio dos diatexitos.
- **Rochas Plutônicas Granulares:** esta unidade representa todas as rochas granulares formadas em baixo da superfície terrestre, representada por granitóides, gabróides e sienitos posicionados concordantes com o “trend” regional. Os granitóides estão representados por um corpo a noroeste de Itapipoca, com coloração rósea, granulação grosseira e contatos transicionais. Os gabróideas ocorrem em corpos geralmente com forma ovóide, apresentando contatos transicionais, eventualmente bruscos, bordejados por rochas foliadas e apresentando composição predominantemente diorítica, ocorrendo em dois pequenos corpos situados na porção sudeste da área, entre Apuiarés e Canafistula, próximo do rio Curú.
- **Complexo Tamboril-Santa-Quitéria:** Apresenta uma morfologia uniformemente elevada e tem contatos transicionais para com as rochas cristalinas circunjacentes. Compreende litologias altamente migmatizadas, apresentando uma zonação da periferia para o núcleo, começando com gnaisses e migmatitos homogeneizados, com culminações granitóides nas porções mais centrais da unidade. Estratigraficamente trata-se de um domo gnaiss-granito, também chamado de domo migmatítico. Está orientado segundo o “trend” da estruturação regional. Os corpos granitóides pertencentes às porções centrais deste domo são, petrograficamente, constituídos por granitos granodioritos de grã média a grossa equigranulares ou porfiróides.

- **Grupo Ceará:** compreende uma sequência formada por quartzitos na base, seguida de xistos, filitos, gnaisses e lentes carbonáticas no topo da sequência. O quartzito, o filito e a fácies carbonática podem, localmente estar ausentes. Via de regra a unidade mostra-se dobrada, formando sinclinais assimétricas ou reviradas, fazendo contatos aparentemente concordantes com o Complexo Caicó.
- **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 com direções NW, NE ou N-S.

Da era Cenozóica, estão presentes as unidades mais recentes, estratigraficamente falando, divididas da seguinte forma:

- **Grupo Barreiras Indiviso:** de idade Tércio-quadernária, ocorre formando extensos tabuleiros, fazendo contatos nítidos com as rochas cristalinas e constituindo uma sequência sedimentar representada por conglomerados, arenitos e siltitos de cores variegadas com intercalações de argila e cascalhos.
- **Sedimentos Litorâneos:** esta unidade é formada por cordões areníticos de idade recente, representados por arenitos flúvio-marinhos e sedimentos inconsolidados de origem eólica, que constituem as dunas, desenvolvendo-se paralelamente à linha de costa, capeando a sequência sedimentar do Grupo Barreiras, podendo ser subdivididas, de acordo com suas características genéticas, morfológicas e faciológicas, em dunas móveis e paleodunas; as primeiras constituídas de sedimentos inconsolidados, formadores de dunas de praia, estando intimamente condicionados ao desenvolvimento da geomorfologia litorânea; as segundas, representadas pelas dunas antigas, rebaixadas quase ao nível dos tabuleiros costeiros, pelo constante retrabalhamento dos ventos, constituídas litologicamente por areias de grã fina a média, raramente siltosas, quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas, com grãos arredondados e foscos, bem selecionados, de

coloração variando de cinza-claro a alaranjado no topo e avermelhado na base.

- **Aluviões:** são formações recentes, de idade quaternária, constituídas de depósitos fluviais ou lagunares, compondo-se de sedimentos arenosos inconsolidados. Ocorrem principalmente nos leitos e margens dos principais rios e riachos da região, destacando-se os rios Aracatiaçu, Cruxati, Mundaú, Trairi e Curú.

Estruturalmente nenhum evento de grandes proporções se destaca na região. Na porção noroeste da região, a aproximadamente 35Km de Córrego Fundo (local escolhido para o barramento), tem-se o final da falha de Forquilha, que apresenta uma direção NE-SW e rejeito dextrógiro. Sua extensão total é de aproximadamente 130Km, passando por Groaíras, Forquilha e adentrando na calha do rio Cruxati, onde é coberta pelas aluviões e pelos sedimentos terciário-quaternários existentes na porção setentrional da região. Ao longo da área que será ocupada pela bacia hidráulica da barragem em estudo, se desenvolve um extenso falhamento, com aproximadamente 15Km de extensão, com direção quase N-S.

Na Figura 3.3, a seguir, é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Meridianos – 39° 00' a 39° 45' de longitude oeste e Paralelos 3° 00' a 4° 00' de latitude sul, compilada do Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983.

Figura 3.3

Geologia regional

Arquivo Corel (falta fazer)

3.2 - GEOLOGIA LOCAL

A área estudada fica no município de Trairi, próximo à localidade de Córrego Fundo, no Estado do Ceará.

Ao longo do eixo topográfico locado, o terreno se desenvolve através de uma topografia plana, com suaves declividades para os talvegues dos rios, constituído de sedimentos inconsolidados pertencentes ao Grupo Barreiras, sendo um fato marcante, a ausência total de afloramentos. Esses sedimentos possuem uma cobertura arenosa rasa (em torno de 10 a 40 cm de espessura), de coloração esbranquiçada, com pedregulhos de quartzo, sobre um pacote espesso de sedimento silto-areno-argiloso de granulação fina a média, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, com estratificação indistinta e, muitas vezes, apresentando um bom índice de plasticidade. Ainda no local do barramento, ocorre, pela margem esquerda do rio Trairi, uma faixa de depósito aluvial constituída por sedimentos de granulação fina, siltosos e argilosos de coloração cinza clara a escura, contendo matéria orgânica. No local definido para o sangradouro, todo o terreno é constituído pelos mesmos sedimentos pertencentes ao Grupo Barreiras supra descritos, verificando-se total ausência de afloramentos de rocha ao longo da superfície.

Ao longo da área de ocupação da bacia hidráulica foram identificadas feições geológicas mais diversificadas, com ocorrências de rochas pré-cambrianas graníticas, gnáissicas e quartzíticas, bem como áreas dominadas por sedimentos do Grupo Barreiras, de idade Tércio-quadernária, e/ou por coberturas colúvio-eluviais, também Tércio-quadernárias, além dos depósitos aluviais, do Quadernário, que se desenvolvem nas margens dos principais rios e riachos. A maior parte da área é caracterizada por uma topografia plana com suaves ondulações, com predominância dos terrenos de superfície arenosa que muitas vezes dificultam visualmente a distinção e separação entre um tipo e outro, ou seja, se pertencem ao Grupo Barreiras ou se representam sedimentos colúvio-eluviais. Na área constituída predominantemente pelos sedimentos colúvio-eluviais o terreno é caracterizado por uma camada superficial de solo proveniente da decomposição da rocha subjacente, formando um manto com espessura média entre 0,60m a 2,00m de profundidade, que recobre rochas cristalinas, com escassez de afloramentos, de topografia plana e suave. Tratam-se de sedimentos imaturos, inconsolidados, provenientes da alteração de rochas cristalinas

transformados em sedimentos areno-silto-argilosos, contendo grãos de quartzo pouco desgastados e palhetas de mica e grãos de feldspatos em vias de alteração com coloração avermelhada ou amarelada e granulação fina a média. Esses sedimentos, quando mais lixiviados, apresentam-se mais arenosos e são mais esbranquiçados. Nos leitos das grotas, onde o terreno é mais dissecado pela erosão, ocorrem com frequência afloramentos de pegmatito, que caracterizam as rochas filoneanas que preenchem fraturas. Muitas vezes se pode notar, na superfície do terreno, veios de quartzo que se preservaram durante o processo de formação desses sedimentos, bem como extensas áreas com cobertura de seixos angulosos e/ou rolados de quartzo e sílica e fragmentos de rochas formando zonas que se pode definir como “cascalheiras”; no mapa geológico da bacia hidráulica, apresentado em anexo, está indicado o ponto de coordenadas 459.731E / 9.626.994 em uma área de ocorrência desse tipo de material com recobrimento de seixos de quartzo sobre a superfície do terreno. Há também uma área de concentração laterítica, cujo solo de matriz areno-argilosa, com concreções ferruginosas e seixos rolados de quartzo, de cor vermelho e amarelo, variegado e mosqueado, constitui uma jazida de “piçarra”, indicada no mapa geológico da bacia hidráulica através dos pontos com as seguintes coordenadas: 460.100E/9.627.200N, 460.491E/9.627.366N, 460.348E/9.627440N, 460.766E/9.627.162N. Na área de domínio dos sedimentos pertencentes ao Grupo Barreiras a topografia do terreno também é plana e suave e o solo tem grandes espessuras que, conforme pode-se verificar nos cacimbões escavados na área, ultrapassa 10m de profundidade, e é constituído de sedimentos areno-argilosos, não ou poucos litificados, consistentes, pois em muitos casos as paredes dos cacimbões não possuem revestimento, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado, mal selecionados, de granulação fina a média, com horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos, de matriz argilosa caulínica, com cimento argilo-ferruginoso e às vezes silicoso.

Na área de ocorrência dos granitos há grandes afloramentos distribuídos de forma dispersa, sobressaindo-se da topografia plana do terreno, muitas vezes constituindo áreas de potencial para exploração de material pétreo, inclusive alguns locais com indícios de exploração paralisada. A rocha, via de regra, apresenta aspecto são e alta dureza, de coloração cinza clara a rósea, leucocrática, textura equigranular, algumas vezes porfiróide, granulação média a grossa, pouco fraturada, eventualmente

recortada por veios quartzo-feldspáticos, constituída essencialmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e ortoclásio) e biotita. Foram indicados alguns pontos que merecem atenção no sentido de se investigar a viabilidade de exploração de material pétreo para a obra, cujas coordenadas são enumeradas a seguir: 460.112E/9.626.450N, 459.507E/9.626.170N, 459.310E/9.626.200N, 459.115E/9.626.276N, 459.981E/9.626.076N.

Na porção mais à montante ao longo do rio Trairi, ou seja, no extremo da bacia hidráulica, ocorrem as rochas gnáissicas, que afloram próximo às margens e no leito do rio Trairi, apresentando cor cinza clara a escura, granulação fina a média, com minerais bem orientados, exibindo foliação e bandeamento, algumas vezes migmatizada, em alguns locais intensamente fraturada e alterada, milonítica, de cor amarelada e granulação muito fina, constituída essencialmente de quartzo, feldspato e biotita, e subordinadamente muscovita e hornblenda, tendo a granada como mineral acessório em grande quantidade. A rocha é frequentemente recortada por veios de quartzo com espessura variando de 1cm a 3cm, concordantes com a foliação, que tem orientação preferencial segundo NE-SW e mergulhos subverticais entre 60° a 70°, ora para NW, ora para SE, atribuindo-se essa variação aos dobramentos a que foi submetida a rocha. São também comuns as ocorrências de zonas cataclásticas e miloníticas além de veios pegmatíticos que recortam a litologia tanto de forma concordante como discordante com a foliação. As características descritas evidenciam a presença de zona de falha.

A este do eixo da barragem, a uma distância aproximada de 1.200 m da ombreira direita, ocorre uma área constituída de quartzito, formando uma elevação alongada que se sobressai na topografia, configurando um corpo de forma elipsoidal. A rocha apresenta uma certa anisotropia, com minerais bem orientados constituindo uma lineação, com acamamento visível, de cor creme e amarela com tons avermelhados, bastante fraturada, de granulação fina e textura maciça, contendo essencialmente quartzo, mas também apresentando presença marcante de mica (muscovita), sendo recortada, concordantemente, com frequência, por veios pegmatíticos. A atitude do acamamento medida se dá segundo N168°Az/68°SW, ou seja, com direção segundo NW-SE, discordante com o “trend” regional, que é NE-SW.

As aluviões constituem depósitos sedimentares recentes de idade quaternária que formam faixas alongadas estreitas e sinuosas depositadas nas calhas e margens do rio Trairi e de seus contribuintes, constituídos de silte-areno-argiloso de cor cinza escura nas margens, e areias finas mal selecionadas, algumas vezes com seixos e fragmentos de rochas nas calhas. As ocorrências de areia para agregados nas calhas dos rios e riachos da área são muito escassas, com potencial de volume indisponível para a exploração necessária à obra, sendo necessário a investigação em outra região próxima que venha atender essa necessidade.

A drenagem local, nas áreas de domínio das rochas cristalinas, ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas.

Quanto ao aspecto estrutural, a feição mais relevante que evidencia a existência de movimentação ruptural e dúctil, é um falhamento existente na porção mais à montante da bacia hidráulica, na área de domínio dos gnaisses, com direção aproximadamente segundo N-S, com evidências de cataclase e milonitização nos afloramentos visualizados. Outro aspecto estrutural é a configuração retilínea de alguns córregos e riachos com afloramentos de pegmatito nos seus leitos, evidenciando fraturamentos com preenchimento dessas rochas filoneanas. Na faixa próxima ao eixo locado, nenhuma estrutura pode ser visualizada a nível de superfície, já que o terreno é totalmente encoberto por espesso pacote de sedimentos inconsolidados.

3.3 - 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.

O eixo topográfico locado se subdivide em dois segmentos contínuos que dividem o sangradouro e a barragem, ficando o sangradouro na ombreira esquerda com estaqueamento ao longo do eixo a cada 20 metros, com um trecho decrescente da esquerda para a direita (Est. 08 a Est. 00=11+10,00m), e outro trecho também

decrecente da esquerda para a direita (Est. 11+10,00m a Est. 00=00 da barragem); o eixo da barragem, também estaqueado a cada 20m, com a numeração das estacas crescendo no sentido oposto ao do sangradouro, ou seja, da ombreira esquerda para a direita (Est. 00=Est.00 do sangradouro a Est. 79). Ao longo do eixo foram identificadas as seguintes litologias:

- ***Da estaca 08 do sangradouro a 22+10,00m da barragem***

O terreno tem topografia plana com suave declividade em direção ao talvegue do rio. Em toda a extensão dessa área o terreno se constitui de um solo composto de sedimentos inconsolidados pertencentes ao Grupo Barreiras, com ausência total de afloramentos, e com cultivo de melancias em toda área. O solo de cobertura mais superficial é silto-arenoso, de granulação fina, com pedregulhos de quartzo, de cor cinza clara e vermelha, variegada, contendo raízes, até uma espessura em torno de 40 cm, recobrando um solo contendo areia fina, argilosa de cor vermelha, com boa trabalhabilidade, em termos de plasticidade. Na Est. 10+10,00m, em torno de 190 metros para jusante do eixo do sangradouro há um cacimão escavado com profundidade em torno de 8,00m, cujo nível d'água está a aproximadamente 6,50m. Não há indícios de rocha e o solo escavado é composto de silte areno-argiloso com concreções ferruginosas (laterita), com níveis conglomeráticos, com porções caulínicas, de coloração mosqueada de tons branco, vermelho e amarelo. O material escavado tem ótima consistência, pois as paredes do cacimão não possuem revestimento. Nas margens e leito de um córrego que passa mais à jusante, não há indícios de afloramentos, e o solo é arenoso, de granulação fina, homogêneo, de cor cinza claro. Na Est. 22+10,00m, no eixo, tem-se o contato entre os sedimentos da Formação Barreiras e a faixa de aluvião que ocorre pela margem esquerda do rio Trairi, abrangendo o riacho Santana.

- ***Da estaca 22+10,00m a 39+10,00m (barragem)***

Nesta faixa tem-se o domínio dos solos aluviais, apresentando uma constituição fina e formados por areia fina, silte e argila, de cor cinza clara a escura, ricos em matéria orgânica. As calhas do rio Trairi e do riacho Santana com largura em torno de 20 metros, encontravam-se com água.

- **Da Est. 39+10,00m a Est. 79**

O terreno tem as mesmas características descritas no primeiro trecho, com topografia plana, com suave declive em direção ao leito do rio. O solo superficial, que é mais lixiviado, tem composição silto-arenosa, granulação fina, com pedregulhos de quartzo. O solo subjacente, verificado através de formigueiros, tem composição silto-areno-argilosa, de granulação fina a média, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, apresentando um bom índice de plasticidade.

3.3.1 - Diagrama de Fraturas

A escassez de afloramentos de rocha na área impossibilita a confecção do Diagrama de Fraturas para definição da direção preferencial média percentual das fraturas, que por esse motivo não é apresentado neste relatório.

São apresentados no Capítulo 6 – Anexos, o Mapa Geológico do local da Barragem e Sangradouro, contendo as unidades litológicas identificadas, bem como o Mapa Geológico contendo as unidades litológicas na área da Bacia Hidráulica.

4 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

4 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos constaram de investigações de subsuperfície, através de sondagens à pá e picareta, percussivas, rotativas e mistas. Constaram ainda de ensaios de infiltração (Le Franc) e perda d'água (Lugeon), como também a caracterização dos materiais terrosos, granulares e pétreos a serem utilizados na construção da barragem.

A locação das sondagens, bem como os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, serão apresentados no Capítulo 7 - Plantas.

Nestas investigações procurou-se identificar as características do pacote aluvionar, quanto ao aspecto hidráulico e de suporte, através das sondagens à percussão e ensaios de infiltração, caracterizar a camada de solo e/ou alteração de rocha, sob o aspecto geomecânico e de transmissibilidade hidráulica, através das sondagens rotativas e ensaios de perda d'água.

As áreas de empréstimos dos materiais terrosos e granulares foram pesquisadas através de poços de inspeção.

4.1 - BARRAGEM E SANGRADOURO

4.1.1 - Sondagens a Pá e Picareta

As sondagens a pá e picareta distribuídas ao longo do eixo barrável e sangradouro, foram realizadas objetivando o balizamento rochoso abaixo do capeamento dos solos residuais. Todos os poços foram perfurados até o ponto em que a alteração de rocha não mais permitisse a escavação com pá e picareta.

Foram executadas 09 (nove) sondagens a pá e picareta ao longo do eixo barrável e sangradouro, perfazendo um total de 20,40 metros. É apresentado no Quadro 4.1.1, o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento e no Capítulo 6 – Anexos, os boletins de sondagens.

QUADRO 4.1.1 RESUMO

Sondagens SPP

4.1.2 - Sondagens à Percussão

O objetivo principal destas sondagens foi à definição da espessura dos depósitos aluvionares sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT” (STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado.

Todas as sondagens à percussão foram executadas com diâmetro 2 1/2” polegadas e o critério de paralisação da perfuração foi em função da lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para cada dez minutos de lavagem).

Foram executadas 27 (dezessete) sondagens à percussão, perfazendo um total de 271,96m perfurados. É apresentado a seguir, no Quadro 4.1.2, o resumo das sondagens, com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento. Os perfis individuais das sondagens à percussão são apresentados no Capítulo 6 - Anexos.

QUADRO 4.1.2 RESUMO DAS SP

4.1.3 - Sondagens Mistas e Rotativas

Foram executadas 05 sondagens mistas, perfazendo um total de 94,35 metros. No Quadro 4.1.3 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento e o número de ensaios “*Le Franc*” e de perda d’água “*Lugeon*”. No Capítulo 6 – Anexo são apresentados os perfis individuais das sondagens e o resultado dos ensaios.

Os trechos de sondagens rotativas foram executados com coroa NX (diâmetro externo: 75,3mm e interno 54,7mm) acoplada a um barrilete duplo giratório com caixa de mola. A sonda utilizada foi uma MACH 920 da Maquesonda de avanço manual. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças - dados que podem ser visualizados nos perfis de sondagens.

As sondagens mistas foram iniciadas pelo método de sondagem a percussão e prosseguidas por sondagens rotativas. A metodologia empregada é a mesma para sondagens a percussão e rotativas.

Baseado nos resultados das sondagens, foi elaborado um Perfil Longitudinal do Subsolo que está apresentado no desenho JPAE-3120-Z02-G-007, em anexo. Lembramos que este perfil representa evidentemente apenas uma indicação do provável desenvolvimento das camadas do subsolo, pois foi feito somente na vertical e foi elaborado para uma melhor visualização da natureza geral da área em estudo.

QUADRO 4.1.3 RESUMO DAS SM

4.1.4 - Ensaio de Permeabilidade "in situ" com Carga Constante (Le Franc)

Neste tipo de ensaio, mantém-se constante a vazão de água no furo até que as condições de fluxo se estabilizem e a coluna d'água no furo, se torne constante. Com estas condições, é possível medir a vazão e a carga. Os ensaios podem ser executados abaixo e/ou acima do nível d'água.

Foram realizadas 58 (vinte e dois) ensaios de permeabilidade "in situ" com carga constante e os resultados destes ensaios podem ser observados no Capítulo 6 – Anexos.

4.1.5 - Ensaio de Perda D' Água (LuGeon)

Os ensaios de perda d'água sob pressão (LuGeon), em furos de sondagens tem por objetivo a determinação da permeabilidade e do comportamento dos maciços rochosos frente à percolação da água através de suas fissuras.

Consiste na injeção de água sob pressão em um trecho do furo de sondagem e na medida da quantidade da água que se infiltra na maciço, durante um certo tempo, sob uma dada pressão de injeção. O ensaio é realizado em 5 (cinco) estágios de pressão, sendo o 1º e o 5º estágios sob uma pressão mínima; o 2º e 4º estágios sob uma pressão intermediária, e o 3º estágio sob uma pressão máxima.

Foram realizados 12 (doze) ensaios de perda d'água, e os resultados destes ensaios podem ser observados no Capítulo 6 – Anexos.

4.2 - ESTUDOS DOS MATERIAIS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da Barragem Trairi tiveram início com o reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento para a seleção das ocorrências aproveitáveis, considerando a qualidade e o volume dos materiais disponíveis.

Foram estudadas as seguintes ocorrências:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área de 340.000m² e volume útil de 363.800m³;
- Areal 01 - Areia de rio (rio Santana) que será usada nas transições, filtros, drenos e concretos, com área de 35.000m² e volume útil de 52.500m³;
- Areal 02 - Areia de rio (rio Mundaú). O material encontra-se a 6 km a montante e está submerso;
- Areal 03 - Areia de rio (rio Trairi). O material coletado foi analisado, mostrando-se inadequado para utilização na barragem;
- Pedreira 01 - Para a produção de pedra para enrocamento e brita. Está localizada à 6km do eixo da barragem e possui um volume útil de 135.00m³.

As localizações e acessos a todas ocorrências, em relação ao eixo barrável, estão apresentadas no Capítulo 7 – Plantas, em croquis individuais específicos, constantes dos desenhos JPAE-3120-Z02-G-001, JPAE-3120-Z02-G-002, JPAE-3120-Z02-G-003, JPAE-3120-Z02-G-004 e JPAE-3120-Z02-G-005.

A jazida de materiais terrosos (J 01) foi estudada através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 100m x 50m, onde foram executados 89 poços, com um total de 118,25m de sondagem. Da jazida foram coletadas amostras para a execução dos seguintes ensaios de laboratório: Granulometria por Peneiramento, Granulometria por Sedimentação, Limites de Consistência, Peso Específico dos Grãos, Umidade Natural e Ensaios de Compactação (Proctor-Normal). Foram realizados ainda os seguintes ensaios especiais: Permeabilidade com Carga Variável e Cisalhamento Direto Lento.

A seguir é apresentado um resumo dos ensaios geotécnicos realizados na Jazida 01. A classificação Tátil-visual e os resultados dos ensaios são apresentados no Capítulo 6 – Anexos.

Quadro 4.2.1 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 01

ENSAIOS	FUROS COLETADOS																				
	03	05	07	09	10	12	14	17	19	21	22	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
Sedimentação	X						X		X					X		X					
Peneiramento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Permeabilidade	X						X		X						X		X				
Compactação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cisalhamento								X											X		

Continuação:

ENSAIOS	FUROS COLETADOS																TOTAL					
	45	47	49	51	52	54	56	58	60	62	64	66	68	72	75	81		84				
Sedimentação	X	X			X					X		X	X	X	X						15	
Peneiramento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					38
Permeabilidade	X	X			X					X		X	X	X	X						15	
Compactação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					38
Limite Liquidez	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					38
Limite Plasticidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					38
Cisalhamento				X			X			X					X							07

No Areal 01 foram coletadas amostras para a classificação tátil-visual e para a realização, em laboratório de ensaios de Granulometria por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante. Os resultados dos ensaios realizados estão apresentados no Capítulo 6 – Anexos. A seguir é apresentado um quadro com o resumo dos ensaios do Areal (Quadro 4.2.2).

Quadro 4.2.2 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos do Areal 01

ENSAIOS	FUROS COLETADOS			
	02	05	07	10
Granulometria	X	X	X	X
Permeabilidade (Carga Constante)	X	X	X	X

Para a Pedreira 01 foi coletada uma amostra para a realização do ensaio de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”. O resultado deste ensaio está apresentado no Capítulo 6 – Anexos.

4.2.1 - Permeabilidade com Carga Variável

A moldagem do corpo de prova foi realizada no próprio cilindro onde foram executadas os ensaios, sendo o solo compactado na umidade ótima e massa específica seca máxima, obtida no ensaio de compactação.

O equipamento de ensaio foi drenado para retirada das bolhas de ar. Inicialmente, os corpos de prova permaneceram no mínimo 24 horas sob fluxo de água, até que este se tornasse constante, quando foi iniciado o ensaio.

Foi medido o tempo para a água descer uma determinada altura na bureta. O nível da água foi repostado ao nível inicial e a operação repetida no mínimo mais duas vezes. O coeficiente de permeabilidade foi calculado através da média dos valores.

4.2.2 - Permeabilidade com Carga Constante

A moldagem dos corpos de prova foi realizada no próprio cilindro onde foram executados os ensaios, adensando o material com água abundante, percolando o solo até ser atingido o índice de vazio previsto.

Os corpos de prova permaneceram no mínimo trinta minutos com fluxo de água constante, antes do início do ensaio.

Durante a execução do ensaio, foi medido a quantidade de água que atravessou o corpo de prova, durante um certo intervalo de tempo e a operação repetida no mínimo mais três vezes consecutivamente. O coeficiente de permeabilidade foi calculado através da média dos coeficientes obtidos em cada uma das vezes.

4.2.3 - Cisalhamento Direto Lento

Os corpos de prova foram compactados na caixa de cisalhamento, e saturados sob uma tensão vertical de 0,5 kgf/cm². Em seguida foi complementada a carga vertical de tal modo que fosse obtida a tensão normal de ruptura (0,5; 1 e 2 kgf/cm²) e aguardado o tempo necessário para que ocorresse o adensamento primário.

Posteriormente, foi iniciada a fase de ruptura com uma velocidade de 10⁻²mm/min, sendo realizadas leituras das deformações vertical, horizontal e do dinamômetro a cada 15 minutos, até que fosse caracterizada a ruptura ou a tensão de cisalhamento permanecesse constante.

5 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

5 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

5.1 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos Estudos Geotécnicos podem ser visualizados no Anexo, divididos da seguinte maneira:

- Boletins de Sondagens e ensaios no sítio Barrável:
 - Sondagens a Pá e Picareta
 - Sondagens a Percussão
 - Sondagens Mistas
 - Ensaios de Infiltração “Le Franc”
 - Ensaios de Perda D’água Específica
- Estudos dos Materiais:
 - Boletins de Sondagem para jazidas
 - Quadro resumo dos Ensaios de Laboratório
 - Ensaios de Granulometria por Peneiramento
 - Ensaios de Limites de Consistência
 - Ensaios de Compactação (Proctor Normal)
 - Análise Granulométrica por Sedimentação
- Ensaios Especiais:
 - Ensaio de Permeabilidade com Carga Variável
 - Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante
 - Ensaios “Los Angeles”
 - Ensaio de Cisalhamento Direto Lento

5.2 - FUNDAÇÕES

Através da análise dos resultados das sondagens executadas no local das obras, pode-se traçar um provável perfil geotécnico da área do trecho barrável. Este desenho encontra-se em anexo.

As características da fundação da barragem podem ser visualizadas nos boletins de sondagens, nos ensaios de infiltração e perda d'água realizados, bem como no desenho referente ao perfil geológico e geotécnico apresentados no anexo.

O eixo locado é dividido por dois segmentos contínuos, compostos pelo sangradouro e a barragem propriamente dita, ficando o sangradouro na ombreira esquerda com estaqueamento ao longo do eixo.

5.2.1 - Barragem

5.2.1.1 - Calha do rio

Através da análise das sondagens consideradas representativas para esta área (SM-12 a SM-14), observa-se que o subsolo é formado predominantemente por depósitos de solos aluvionares (sedimentar recente), constituídos por areia fina e média siltosa com pedregulhos, medianamente compacta, de coloração cinza e amarela, com valores de SPT variando de 3 a 46 golpes em média. A profundidade média deste pacote aluvionar apresentou-se mais espesso no trecho central do rio, em torno de 4,90m, diminuindo para até 2,85m em direção às ombreiras.

Abaixo destas, encontra-se uma camada de solo residual, classificado como silte arenoso micáceo, com pedregulhos, pouco compacto, com colorações variando entre cinza e amarelo, com SPT variando entre 20 a 21/7 golpes em média. Em alguns trechos, mais especificamente na sondagem SM-14, encontra-se camada de argila arenosa com pedregulhos, rija a dura, cinza e amarela. A camada de solo residual atingiu um máximo de 6,50m de profundidade, quando então encontrou-se rocha. Nos trechos a percussão, as profundidades foram limitadas portanto, pelo solo residual, que se mostrou impenetrável à ferramenta de percussão.

A rocha de fundação, se apresenta profunda nestas sondagens – a partir de 6,00 metros em média. O material detectado está classificado como biotita-xisto, dura, meio granulada, com recuperações baixas, denotando um alto grau de fraturamento. As porcentagens de recuperação ficaram em torno de 20 a 70%.

O nível d'água se apresentou entre 2,70 metros e 4,00 m e não foi detectado na SM-14.

Os ensaios de permeabilidade “*in situ*” nas camadas de solo apresentaram resultados variando entre $k =$ coeficiente de permeabilidade $\cong 1,98 \times 10^{-5}$ cm/s a $k \cong 2,78 \times 10^{-4}$ cm/s para as primeiras camadas de areia. Nas camadas seguintes, determinaram-se valores entre $k =$ coeficiente de permeabilidade $\cong 1,54 \times 10^{-6}$ cm/s a $k \cong 6,97 \times 10^{-6}$ cm/s para o solo residual.

Os ensaios de perda d'água específica nas rochas, apresentaram valores de condutividade hidráulica do maciço variando entre P.E. = Perda d'Água Específica = 0,07 a 9,06 l/min/m/kg/cm², que traduz permeabilidades variando em torno de $k = 7,02 \times 10^{-6}$ a $9,55 \times 10^{-4}$ cm/s.

No entanto, uma característica marcante dos ensaios de perda d'água se dá através da análise dos gráficos de vazão x pressão. O que se nota é que na maioria dos casos, o maciço se comporta com regime laminar sem alteração de fenda. Somente no caso do ensaio efetuado na SM-12, no trecho de 6,50 a 9,50 metros, o regime se dá como turbulento com discreta abertura de fendas.

Para o caso da Barragem Trairi, e analisando-se as pressões atuantes nesta região, pode-se concluir que não haverão problemas localizados relativos a abertura de fendas por elevação da pressão atuante, uma vez que estas ficarão abaixo daquelas aplicadas nos ensaios.

A recomendação que se faz, é que, quando do início das obras, nova campanha de ensaios de perda d'água sejam executados. Isto se faz necessário, de forma a mapear melhor este local, e a níveis de pressão compatíveis ao solicitantes quando da operação do reservatório.

Estes dados serão utilizados para refinar uma eventual campanha de injeção de calda de cimento nas fraturas do maciço para impermeabilização do mesmo, bem como evitar a “clacagem” , isto é, alargamento das fissuras existentes e abertura de novas durante a execução das injeções, rompendo a rocha segundo planos de fraqueza, criando, portanto um maciço diferente do original.

5.2.1.2 - Ombreiras

Na região das ombreiras encontra-se uma camada de solo sedimentar antigo na ombreira direita e solo sedimentar recente na ombreira esquerda. Este é caracterizado por areia siltosa fina e média, de colorações variando entre amarelo, cinza e marrom, com espessuras variando entre 0,70m e 9,17m. Os valores de SPT encontrados nas sondagens estavam em torno de 2 a 19 golpes em média.

Na ombreira esquerda, abaixo da camada de areia, encontra-se camada de argila silto-arenosa com pedregulhos, rija, com coloração variando entre vermelho e cinza variegada. Esta camada foi observada até 24,32 metros, conforme consta na SP-2, sondagem esta muito próxima. Na SM-15, a partir de 19,00 metros, detectou-se arenito muito macio, branco esverdeado, com recuperações em torno de 10% e 40%.

Na ombreira direita, esta camada de argila areno siltosa é detectada, aparecendo, no entanto, com concreções lateríticas. A profundidade máxima observada é de 14,18 metros e valores de SPT em torno de 22 a 15/3 golpes. Não foram executadas sondagens mistas nesta ombreira.

As sondagens a percussão tiveram suas profundidades limitadas pelo solo residual que se mostrou impenetrável à ferramenta de percussão. O nível d'água não foi detectado durante os ensaios.

Os ensaios de permeabilidade “in situ” nas camadas de solo na SP-15, apresentaram resultados variando entre $K =$ coeficiente de permeabilidade $\cong 1,36 \times 10^{-6}$ cm/s a $K \cong 1,46 \times 10^{-5}$ cm/s.

5.2.1.3 - Sangradouro

O terreno apresenta topografia plana e suave, com declividade em direção ao talvegue do rio, formado por solo sedimentar recente. Este é caracterizado por areia siltosa fina e média, de colorações variando entre amarelo, cinza e marrom, com espessuras variando entre 4,40m e 6,00m. Os valores de SPT encontrados nas sondagens estavam em torno de 2 a 19 golpes em média.

Abaixo da camada de areia, encontra-se camada de argila silto-arenosa com pedregulhos, rija, com coloração variando entre vermelho e amarelo, variegada. Esta camada foi observada até 24,32 metros, profundidade esta atingida na SP-2.

A sondagem mista mais próxima da região do sangradouro é a SM-15, que, a partir de 19,00 metros, detectou arenito muito macio, branco esverdeado, com recuperações em torno de 10% e 40%.

O nível d'água não foi detectado na região. Também não foram executados ensaios para determinação da permeabilidade *in situ*.

5.3 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÕES

Foram identificadas uma jazida de solo, denominada de J-01, dois areais denominados de A-01 e A-02 e uma pedreira, denominada de P-01.

5.3.1 - Jazidas Identificadas

Foi identificada uma jazida de material terroso para a construção da barragem, denominada de J-01.

5.3.1.1 - Materiais Terrosos

A jazida de empréstimo em questão é constituída essencialmente por uma camada de solo de expurgo, de espessura média de 0,10 metros seguida de material

areno-argiloso. Os volumes encontrados em princípio, atendem às necessidades da obra, no tocante à execução do maciço compactado.

Através da análise da curva granulométrica com sedimentação e dos dados resultantes dos ensaios dos limites de consistência conclui-se que há predominância de materiais classificados como SC (USC) ou seja, areia argilosa, bem graduada, com excelente ligante argiloso.

O comportamento geotécnico esperado para estes solos quando compactados dentro das especificações, é de média a alta resistência do solo seco, muito pouca expansão ou contração, praticamente impermeável e excelente trabalhabilidade em campo, principalmente com equipamentos tipo rolo pé de carneiro ou equipamentos com pneumáticos.

Os valores obtidos dos ensaios de cisalhamento direto lento cujas amostras foram compactadas nas densidade e umidade ótimas obtidas no ensaio de Proctor, receberam tratamento estatístico e indicaram os valores de $c' = \text{coesão} = 0,18 \text{ kgf/cm}^2$ e $\phi = \text{ângulo de atrito interno do material} = 34,2^\circ$.

Com relação aos ensaios de permeabilidade com carga variável, encontraram-se valores médios de $k = 6,55 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ para a J-01.

Dos resultados obtidos dos ensaios de compactação, após receberem também tratamento estatístico apresentaram para a jazida J-01, valores de $\gamma_{s \text{ máx}} = 1,874 \text{ g/cm}^3$ e $\text{hót}_{\text{máx}} = 12,87\%$.

5.3.1.2 - Materiais Arenosos

Através da análise dos resultados obtidos, classifica-se o depósito como SP ou seja areia de granulação fina a média. Os volumes encontrados em princípio, atendem às necessidades da obra, no tocante à execução das estruturas drenantes do maciço compactado a que se destina.

Os ensaios de permeabilidade executados nas amostras apresentaram valores médios de $k = \text{coeficiente de permeabilidade} \cong 8,875 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$.

5.3.1.3 - Pedreira

O material da pedreira foi classificado com valor resultante do ensaio “Los Angeles” = L.A. = 31%, com graduação da amostra tipo “A”, podendo-se portanto considerar o material da pedreira adequado ao fim que se destina.

Os volumes encontrados em princípio, atendem às necessidades da obra.

5.4 - CONCLUSÕES

O material areno-argiloso a ser utilizado na construção do corpo da barragem será proveniente de uma jazida que se encontra a montante do eixo, na área da bacia hidráulica, a uma distância média de 1.440,00m para a jazida J-01, em relação ao eixo, com um volume total disponível da ordem de 363.800,00 m³.

Os valores obtidos dos ensaios rotineiros foram submetidos a tratamento estatístico, sendo definidas as faixas representativas do material, de acordo com a média e o desvio padrão. Portanto, os resultados deste tratamento estatístico dos parâmetros de interesse ao projeto, são apresentados a seguir :

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado.....SC
- Permeabilidade média..... $k = 6,55 \times 10^{-7}$ cm/s
- Umidade ótima de compactação - Proctor Normal.....12,87%
- Massa específica aparente máxima.....1,874 g/cm³
- Coesão (cisalhamento direto).....0,18 kg/cm²
- Ângulo de atrito interno (cisalhamento direto).....34,2°

Para o areal, cujos dados também receberam tratamento estatístico, apresenta as seguintes características :

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado.....SP

- Permeabilidade média.....8,875 x 10 – 3 cm/s
- Volume disponível.....52.500 m³

No que diz respeito a utilização nos concretos, as amostras ensaiadas atendem integralmente aos limites recomendados pela A.B.N.T. (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e da A.S.T.M. (American Society of Testing Materials) , especialmente no que se refere às porcentagens retidas nas peneiras Nos 4, 10 e 16, correspondentes respectivamente às aberturas da malha 4,8mm, 2mm e 1,2mm. Os percentuais de material pulverulento em todas as amostras está muito aquém do máximo permissível pelas normas.

Para a pedra, os resultados obtidos com ensaios tipo Los Angeles, permitem concluir que o material apresenta características adequadas de resistência e durabilidade, não havendo restrições quanto ao seu uso nos enrocamentos e como agregados nos concretos.

6.1 - SONDAGENS

6.1.1 - Ensaio de Infiltração (Le Franc)

6.1.2 - Ensaio de Perda D'Água (LuGeon)

6.2 - ENSAIOS DOS MATERIAIS

6.2.1 - Jazida - 01

6.2.1.1 - Quadro Resumo

6.2.1.2 - Boletim de Campo

6.2.1.3 - Granulometria por Sedimentação

6.2.1.4 - Permeabilidade com Carga Variável

6.2.1.5 - Ensaio de Cisalhamento

6.2.1.6 - Ensaio de Densidade “*In Situ*”

Método do Frasco de Areia

6.2.2 - Areal 01

6.2.2.1 - Boletim de Campo

6.2.2.2 - Ensaio de Granulometria

6.2.2.3 - Ensaio de Permeabilidade Com Carga Constante

6.2.3 - Areal 03

6.2.3.1 - Boletim de Campo

6.2.4 - Pedreira 01

- Ensaio Los Angeles

6.2.5 - Jazida 01 - Boletins de Caracterização

- - Granulometria por Peneiramento
- - Limites de Consistência
- - Compactação

7 - PLANTAS

Relação dos Desenhos

Item	Desenho	Número
01	Croqui da Jazida 01	JPAE-3120-Z02-G-001
02	Croqui do Areal 01	JPAE-3120-Z02-G-002
03	Croqui do Areal 02	JPAE-3120-Z02-G-003
04	Croqui do Areal 03	JPAE-3120-Z02-G-004
05	Croqui da Pedreira 01	JPAE-3120-Z02-G-005
06	Planta de Locação das Sondagens	JPAE-3120-Z02-G-006
07	Perfil Longitudinal do Subsolo	JPAE-3120-Z02-G-007
08	Mapa Geológico da Barragem e Sangradouro	JPAE-3120-Z02-G-008
09	Mapa Geológico da Bacia Hidráulica	JPAE-3120-Z02-G-009
10	Perfil da Geologia Local	JPAE-3120-Z02-G-010