

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM GAMELEIRA

VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 5 – ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Nov/01	Apresentação – Edição Preliminar	CON	TAC	NKT	NKT
a	Mar/02	Apresentação – Edição Definitiva	CON	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>	23
<u>3.3 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE</u>	26
<u>3.3.1 - Sangradouro (da estaca 18 a 0)</u>	26
<u>3.3.2 - Barragem</u>	27
<u>3.3.3 - Dique Auxiliar (da estaca 47 a 70+10m)</u>	29
<u>3.3.4 - Diagrama de Fraturas</u>	30
<u>4 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u>	32
<u>4.1 - BARRAGEM E SANGRADOURO</u>	33
<u>4.1.1 - Sondagens a Pá e Picareta</u>	33
<u>4.1.2 - Sondagens à Percussão</u>	35
<u>4.1.3 - Sondagens Mistas</u>	37
<u>4.1.4 - Ensaios de Permeabilidade " in situ" com Carga Constante (Le Franc)</u>	39
<u>4.1.5 - Ensaios de Perda D' Água (Lugeon)</u>	39
<u>4.2 - ESTUDOS DOS MATERIAIS</u>	40
<u>4.2.1 - Permeabilidade com Carga Variável</u>	42
<u>4.2.2 - Permeabilidade com Carga Constante</u>	43
<u>4.2.3 - Cisalhamento Direto Lento</u>	43
<u>5 - COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES</u>	44
<u>5.1 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</u>	45
<u>5.2 - FUNDAÇÕES</u>	46
<u>5.2.1 - Barragem</u>	46
<u>5.2.2 - Sangradouro (da estaca 18 a 0)</u>	49
<u>5.3 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÕES</u>	49

<u>5.3.1 - Jazidas Identificadas</u>	49
<u>6 - ANEXOS</u>	53
6.1 - SONDAGENS	
6.1.1 - Ensaio de Infiltração (Le Franc)	
6.1.2 - Ensaio de Perda D'Água (Lugeon)	
6.2 - ENSAIOS DOS MATERIAS	
6.2.1 - Jazida - 01 (Terra)	
6.2.2 - Jazida - 02 (Terra)	
6.2.3 - Areal 01	
6.2.4 - Pedreira 01	
6.2.5 - Jazida 01 - Boletins de Caracterização - Granulometria por Peneiramento - Limites de Consistência - Compactação	
6.2.6 - Jazida 02 - Boletins de Caracterização - Granulometria por Peneiramento - Limites de Consistência - Compactação	
7 - PLANTAS	
CROQUI DA JAZIDA 01	
CROQUI DA JAZIDA 02	
CROQUI DO AREAL 01	
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, JENIPAPEIRO, 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

VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Gameleira*, 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 Gameleira, 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 Açude Gameleira será implantado em um boqueirão do rio Mundaú, divisa dos municípios de Itapipoca e Tururu, distando aproximadamente 16km a leste da cidade de Itapipoca e 26km a norte da cidade de Tururu.

O acesso à área da barragem Gameleira, partindo-se de Fortaleza, é feito pela BR-222 percorrendo-se cerca de 100km até a cidade de Tururu. Daí segue-se 17km no rumo norte por estrada que dá acesso ao povoado de Cemoaba e percorrendo-se cerca de mais 15km até a Fazenda Gameleira, onde se localiza o boqueirão barrável.

Outra opção de acesso é seguir pela CE-085, percorrendo-se cerca de 90km até a localidade de Tamanduá, tomando-se o entroncamento no rumo sul em direção à localidade de Cemoaba, percorrendo-se cerca de 12km até o trecho do barramento (ver Figuras 2.1 e 2.2 a seguir).

Figura 2.1 - Mapa de localização

Arquivo Corel

1/2

Figura 2.2 - Mapa Gameleira

Arquivo Corel

2/2

3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

A área em estudo para o projeto da Barragem Gameleira situa-se no Município de Itapipoca, na região noroeste 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, 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.

A rede hidrográfica é comandada pelo sistema da bacia litorânea noroeste do estado do Ceará. O Rio Mundaú, escolhido para a formação da barragem, recebe a contribuição do Rio Cruxati, bem próximo de sua foz, desaguardo também no litoral. São rios intermitentes onde predomina o padrão de drenagem dendrítico.

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 terciário-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 esculpidos 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, próximo ao litoral. (ver Figura 3.3).

Figura 3.3 - Mapa Geologia Regional

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, anfíbolito 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 gabróides ocorrem em corpos geralmente com forma ovóide, apresentando contatos transicionais, eventualmente bruscos, bordejados por rochas foliadas e apresentando composição predominantemente diorítica, ocorrendo em um corpo situado à oeste de Amontada.
- **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 agrupadas 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 quartzofeldspáticas, 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, constuídas de depósitos fluviais ou lagunares, compondose de sedimentos arenosos inconsolidados. Ocorrem principalmente nos leitos e margens dos principais rios e riachos da região, destacando-se os rios Aracati-Mirim, Aracatiaçu, Cruxati, Mundaú, Trairi e Curú.

O elemento estrutural marcante na região é a falha de Forquilha, que apresenta uma direção NE-SW e rejeito dextrógiro. Sua extensão é de aproximadamente 130Km, passando por Groaíras, Forquilha e adentrando na calha do rio Cruxati, onde é coberta pelos aluviões e pelos sedimentos terció-quaternários existentes na porção setentrional da região.

Na Figura 3.3 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Meridianos – 39° 15' a 40° 00' 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.

3.2 - GEOLOGIA LOCAL

A área estudada fica no limite entre os municípios de Itapipoca e Trairi, próximo às localidades de Gameleira e Porão, no Estado do Ceará.

Ao longo do eixo topográfico locado, a maior parte do terreno é caracterizado por uma camada superficial de solo proveniente da decomposição da rocha subjacente, formando um manto com espessura média de 1,60m de profundidade que recobre rochas cristalinas do Pré-Cambriano, classificadas no Complexo Caicó, muitas vezes recortadas por veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos filonianos. Na área ocupada pela bacia hidráulica foram visualizados afloramentos de rochas gnáissicas, e graníticas, sendo que em alguns locais, na porção leste da área, há o contato entre essas rochas e os sedimentos inconsolidados pertencentes às coberturas terció-quaternárias. Os gnaisses apresentam-se muitas vezes cataclados ou milonitizados, sendo o fácies mais comum, os biotitata-gnaisses, de cor cinza,

mesocráticos, granulação fina a média, foliação bem definida, apresentando estruturas subhorizontalizadas, compostos essencialmente de feldspatos (com predominância do plagioclásio), quartzo, biotita e mucovita, eventualmente encontrado-se a granada como mineral acessório e, com muita frequência, principalmente nas margens e leito do rio Mundaú, ocorrem fenoblastos (cristais porfíricos em forma de áugens) de plagioclásio, orientados concordantemente com a lineação dos minerais, evidenciando o desenvolvimento de cataclase. Nas poções mais milonitizadas a rocha apresenta-se intensamente fraturada, de grã fina, cor cinza clara com tons rosados, leucocrática, com elevada dureza, algumas vezes se confundindo com quartzito. Há também alguns casos em que o gnaiss apresenta-se migmatizado, exibindo estruturas dobradas e estromáticas, que mascaram a foliação. Em uma área situada mais à leste, mais ou menos 3Km à montante do eixo projetado, próximo à localidade de Briosos ou Lagoa dos Briosos, ocorrem grandes afloramentos de gnaiss em forma de lagedos e blocos, que superficialmente apresentam aspecto são, elevada dureza, com bandeamento e diversos falhamentos normais e de transcorrência, com rejeito direcional no sentido destal, com deslocamentos que chegam a 15 cm. Essa área merece atenção especial no sentido de se verificar de forma mais aprofundada, com utilização de sondagem geomecânica, a possibilidade de aproveitamento para disponibilização de materiais pétreos para a obra, tendo em vista que a forma de ocorrência dos afloramentos, dispostos dispersamente em um terreno de topografia plana dificulta a visualização, a nível de superfície, com relação à continuidade e à profundidade do topo rochoso de maneira geral. Em um dos afloramentos visitados nessa área foi registrado, através de GPS, o ponto de coordenadas 449.148E e 9.624.318N, indicado no mapa geológico da bacia hidráulica em anexo. Nos afloramentos de gnaiss visualizados ao longo dos perfis realizados em toda a extensão da bacia hidráulica foram medidas as atitudes de foliação da rocha, com utilização de bússola (Azimute), que indicaram direção preferencial segundo NE-SW (concordante com o “trend” regional), com mergulhos sub-horizontais, variando entre 20° a 60° predominantemente para SE.

Na área de domínio dos granitos a rocha aflora normalmente em forma de blocos e matações dispersos. Nesses afloramentos a rocha apresenta coloração cinza-clara a rósea, mesocrática, textura conspícua, algo orientada, algumas vezes bem homogênea e na maioria das vezes porfíroide, com granulação fina a grosseira, constituídos principalmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e ortoclásio) e biotita. Nas imediações da localidade de Novo Assis, a aproximadamente 8Km à montante do eixo projetado, ocorre uma extensa área com grande concentração de afloramentos em forma de blocos e matações, muitas vezes formando elevações que se sobressaem da superfície aplainada do terreno, se estendendo até o leito do rio Mundaú. É também aconselhável, nesta área, um estudo de viabilidade quanto à possibilidade de

exploração da rocha para suprir as necessidades de materiais pétreos que serão exigidos na obra. Com o auxílio de GPS foram anotados vários pontos de coordenadas onde ocorrem esses afloramentos, a seguir enumerados, e indicados no mapa geológico da bacia hidráulica, em anexo: 448.270E/9.620.150N; 448.395E/9.619.706N; 448.579E/9.619.914N; 448.657E/9.619.992N; 449.706E/9.620.044N.

Os veios quartzosos e de sílica, bem como de pegmatitos, ocorrem frequentemente encaixados, tanto nos gnaisses como nos granitos. Estão ligados a zonas de fraturamento, e normalmente são discordantes da foliação regional.

São comuns também, extensas áreas com cobertura de solo proveniente da decomposição da rocha subjacente, com escassez de afloramentos, e muitas vezes formando depósitos colúvio-eluviais 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. 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”. Ao longo do eixo da barragem em estudo, desde o sangradouro até próximo à margem esquerda do rio, são comuns essas ocorrências.

As aluviões constituem depósitos sedimentares recentes de idade quaternária que formam faixas alongadas estreitas e sinuosas depositadas nas calhas e margens do rio Mundaú e de seus contribuintes, constituídos de silte-areno-argiloso de cor cinza clara a escura, nas margens, e areias mal selecionadas, algumas vezes com seixos e fragmentos de rochas nas calhas.

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

Quanto ao aspecto estrutural, não há visualmente, no âmbito local, nenhuma estrutura ruptural de importância que chame a atenção para alguma advertência no que diz respeito a providências preventivas relacionadas a esse fator. Entretanto chama a atenção a presença de rochas miloníticas intensamente fraturadas que ocorrem na margem direita e na calha do rio Mundaú, bem próximo do eixo projetado, mais precisamente numa faixa situada entre 30 e 100 metros para jusante. O milonitos são

rochas típicas do metamorfismo dinâmico, o qual ocorre ao longo de zonas de cisalhamento, onde predomina a deformação, em geral acompanhada da redução na granulação e recristalização subsequente. Nas áreas próximas a falhamentos predominam esforços puramente mecânicos, sendo o cisalhamento um movimento essencialmente rúptil, causando o fraturamento e a fragmentação da rocha, produzindo os cataclasitos e os milonitos. As estruturas e texturas decorrentes das deformações, no metamorfismo dinâmico, reduzem de maneira sensível as qualidades físico-mecânicas das rochas, além de se configurarem propícias à alteração intempérica.

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, já que via de regra, no âmbito regional, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o complexo cristalino de idade Pré-Cambriana.

O eixo topográfico locado se subdivide em três segmentos contínuos que dividem o sangradouro, a barragem propriamente dita e o dique auxiliar, ficando o sangradouro na ombreira esquerda com estaqueamento ao longo do eixo, crescendo da direita para a esquerda (Est. 0 a Est. 18); o eixo da barragem, também estaqueado a cada 20m, crescendo no sentido oposto ao do sangradouro, ou seja, da ombreira esquerda para a direita (Est. 0 = Est. 0 do sangradouro a Est. 47); o dique auxiliar tem estaqueamento a cada 20m crescendo no mesmo sentido (Est. 47 a Est. 70+10m). Ao longo do eixo foram identificadas as seguintes litologias:

3.3.1 - Sangradouro (da estaca 18 a 0)

O terreno tem topografia plana e suavemente ondulada, com declividade mais acentuada para jusante. É recoberto superficialmente por um solo silto-arenoso de cor cinza-clara. Sobre esse solo ocorrem grandes concentrações de seixos e blocos de quartzo e sílica, bem como fragmentos de rocha formando uma extensa área de cascalheira que se estende tanto para montante como para jusante. Essa mancha faz contatos à montante e à jusante com o solo de recobrimento das rochas cristalinas subjacentes, conforme indicado no mapa geológico do eixo, anexo. Na seção transversal da estaca 11, a 165m à jusante ocorrem, no leito de uma grotá, muitos

seixos e blocos angulosos de quartzo e fragmentos de rocha, bem como alguns afloramentos de gnaiss muito alterados e intensamente fraturados com minerais bem orientados de quartzo, feldspato e mica (biotita e muscovita). A atitude de foliação medida é $N60^{\circ}Az/38^{\circ} SE$. Também na seção da estaca 1 + 10m, 140m à jusante, no leito da estrada, ocorre um pequeno afloramento, a nível superficial, de gnaiss muito alterado, intensamente fraturado, de cor cinza clara e tons amarelados decorrentes da alteração, de granulação fina, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita, cuja atitude de foliação, devido a condição do afloramento não foi possível medir. Na estaca 15 (eixo) foi executado um poço a pá e picareta com 1,00m de profundidade, que indicou: de 0,00 a 0,20m de profundidade uma camada de areia fina, com pedregulhos, com raízes, cinza clara (expurgo); de 0,20 a 0,50m de profundidade uma camada de silte areno-argiloso, com pedregulhos, cinza escuro; de 0,50 a 0,80m de profundidade uma camada de silte areno-argiloso, com concreções, vermelho, amarelo e cinza, variegado e entre 0,80m a 1,00m ocorre um silte argiloso, com pedregulhos e concreções, com fragmentos de rocha alterada (quartzito), vermelho e amarelo, variegado. Na estaca 08 (eixo) também foi executado um poço a pá e picareta com 1,00m de profundidade, que indicou: de 0,00 a 0,20m uma camada de areia fina, siltosa, com pedregulhos, raízes, cinza clara (expurgo); de 0,20 a 0,40m uma camada de silte areno-argiloso, com pedregulhos, cinza escuro; de 0,40 a 0,70m uma camada de silte areno-argiloso, com pedregulhos, com concreções, vermelho, amarelo e cinza, variegado e entre 0,70m a 1,00m apresentou uma rocha muito alterada, intensamente fraturada, fragmentada, com aspecto de quartzito, de granulometria fina e cor amarela, vermelha e cinza, variegada.

3.3.2 - Barragem

- **Da estaca 0 a 14**

Entre a estaca 0 e a estaca 10 ocorrem alguns afloramentos superficiais de quartzito de cor cinza clara, com tons rosados e avermelhados, alterado, muito fraturado, exibindo acamamento com atitude segundo $N64^{\circ}Az/50^{\circ} SE$. A partir daí a superfície do terreno é recoberta por seixos e blocos de quartzo, sílica e quartzito e fragmentos de rocha, constituindo um corpo mais ou menos elipsoidal que se estende de montante a jusante formando uma elevação com declividades para montante e para jusante de forma que o eixo locado coincide com a crista que se desenvolve segundo a direção NE-SW. Entre as estacas 10 e 14 numa área que se desenvolve numa extensão aproximada desde 30m para montante até 70m para jusante do eixo, ocorrem grandes afloramentos em forma de blocos e matacões de quartzito, soltos e dispersos

caoticamente. A rocha tem cor clara, branco-leitosa, com textura maciça e muito raramente acamadada. Na estaca 2 (eixo), foi executado um poço a pá e picareta até a profundidade de 1,40m, onde o topo da rocha não foi encontrado, apresentando-se entre 0,00 a 0,25m uma camada de silte arenoso, com raízes, cinza escuro (expurgo); de 0,25 a 0,70 uma camada de silte arenoso, com pedregulhos, com seixos angulosos e fragmentados de rocha alterada (quartzito), vermelho e cinza claro, variegado e entre 0,70m a 1,40m silte argiloso com pedregulhos e fragmentos de rocha alterada (quartzito), vermelho e cinza claro, variegado. Na estaca 6 (eixo) e estaca 10 (eixo), também foram executados poços a pá e picareta com as mesmas características, sendo que a camada de silte argiloso supradescrita acontece entre 0,25m a 1,40m.

- ***Da estaca 14 a 24***

A partir da estaca 14 a topografia se suaviza e o terreno aplainado é constituído por um solo silto-arenoso com pedregulhos, de cor cinza clara, proveniente da desagregação da rocha subjacente e fazendo contato com a aluvião na estaca 16 (eixo) que se estende pela margem esquerda até a calha do rio Mundaú onde o eixo da barragem o intercepta, na estaca 24. Na estaca 22 + 10m, 35m à montante, no leito de uma grota que contribui para o rio Mundaú, ocorre um afloramento de gnaiss milonítico, muito fraturado, muito alterado, de cor cinza clara com tons rosados e amarelados pela alteração, de granulação fina a média, contendo fenoblastos de feldspato, além de quartzo e biotita.

- ***Da estaca 24 a 25***

Nesse trecho o eixo projetado, intercepta o leito do rio Mundaú que corria com muita água corrente, devido às chuvas ocorridas neste período. Na margem direita do rio, coincidindo com a estaca 24 + 10m, numa faixa compreendida entre 30 a 100 metros à jusante do eixo ocorrem afloramentos de milonito, que possui cor cinza clara a rósea, granulação fina a média, intensamente fraturado, com minerais orientados e foliação bem definida, cuja atitude é N28°Az/25°SE. O curso do rio nesse ponto corre no sentido SE-NW, ou seja, a direção NE-SW da foliação da rocha está no sentido quase perpendicular ao fluxo do rio, mergulhando para SE, no sentido oposto a esse fluxo, portanto evidenciando uma situação favorável do posicionamento do eixo da barragem com relação ao sentido preferencial de percolação. A presença deste tipo de rocha representa uma alerta para os fatos já comentados no ítem anterior. Entre a

estaca 24 + 10m e a estaca 25 ocorre uma faixa de aluvião que se desenvolve pela margem direita, de forma mais discreta do que o verificado pela margem esquerda. Na estaca 25 (eixo) foi executado um poço a pá e picareta até 1,40m de profundidade, onde indicou entre 0,00 a 0,20m de profundidade uma camada de areia fina, siltosa, com raízes, cinza escura (aluvião) e entre 0,20 e 1,0m de profundidade o solo classificado é composto de areia fina siltosa, homogênea, de cor cinza clara (aluvião).

- ***Da estaca 25 a 47***

Ao longo da estaca 25 + 10m, de montante a jusante, tem-se o contato da aluvião com o solo de recobrimento do embasamento cristalino, em que a rocha do substrato é constituída de gnaiss cataclasado e milonitizado, evidenciado pela presença de grande quantidade de fragmentos de rocha com essas características, espalhados pela superfície do terreno, ocorrendo com mais intensidade na faixa entre as estacas 25 + 10m e 28, onde esses fragmentos de rocha apresentam cor rosada, granulação fina a média, intensamente fraturados, com fenocristais de feldspatos em forma de augens. Na estaca 29 (eixo) foi executado um poço a pá e picareta com profundidade de 1,20m, apresentando de 0,00 a 0,20 m de profundidade uma camada de areia fina, siltosa, com seixos rolados de quartzo, com raízes, cinza escura (expurgo); de 0,20 a 0,40m uma camada de areia fina, argilosa, com pedregulhos, cinza e amarelo, variegado; 0,40m a 0,80m solo residual de gnaiss com indícios de alteração de rocha, e de 0,80m a 1,20m a rocha é um gnaiss muito alterado, com muito feldspato caulinizado, cinza e amarelo, variegado. Também na estaca 37 (eixo) foi escavado um poço a pá e picareta até 1,30m de profundidade, não sendo encontrado rocha, sendo o material escavado entre 0,00 a 0,20m constituído de areia fina, siltosa, com raízes, cinza escura (expurgo); de 0,20 a 0,70m compreende uma camada de areia fina, argilosa, com pedregulhos, com seixos rolados de quartzo, cinza, amarelo e vermelho, variegado e entre 0,70m a 1,30m constituído de silte argiloso, com pedregulhos e concreções, com indícios de alteração de rocha, amarelo e vermelho, variegado (mosqueado). O furo foi paralizado pela surgência de água proveniente de ombreira, em decorrência de precipitações chuvosas.

3.3.3 - Dique Auxiliar (da estaca 47 a 70+10m)

Em toda essa extensão a topografia do terreno é plana e suave e o solo superficial é silto-arenoso, com pedregulhos, de cor cinza clara, de granulação fina a média. Em algumas áreas a superfície do terreno é recoberta por seixos angulosos de

quartzo e fragmentos de rocha (quartzito e milonito). Na estaca 52 (eixo) foi executado um poço a pá e picareta até 1,50m de profundidade, sem ocorrência de rocha, classificado da seguinte forma: 0,00m a 0,20m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, com raízes, cinza clara (expurgo); 0,20m a 0,95m – areia fina, siltosa, cinza clara; 0,95m a 1,50m – silte argiloso, com concreções, amarelo e vermelho, variegado (mosqueado). Na estaca 57 (eixo) também foi escavado um poço a pá e picareta, classificado da seguinte forma: 0,00m a 0,10m – areia fina e média, siltosa, com pedregulhos, com raízes, cinza clara (expurgo); 0,10m a 0,60m – areia fina e média, siltosa, com pedregulhos, cinza e amarela variegada. Esse furo foi interrompido a 0,60m de profundidade devido à instabilidade do solo diante da presença de nível d'água decorrente da saturação do terreno ocasionada pelas chuvas. Na estaca 62 o poço a pá e picareta escavado atingiu a profundidade de 1,40m, com surgência de água, sem encontrar rocha, tendo a seguinte classificação: 0,00m a 0,20m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, com raízes, cinza clara (expurgo); 0,20m a 0,95m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, cinza; 0,95 a 1,40m – silte argiloso, com pedregulhos e concreções, com seixos rolados e angulosos de quartzo (ϕ até 20 cm), amarelo e vermelho, variegado (mosqueado), com indícios de alteração de rocha (gnaisse) no fundo do furo. Na estaca 67 (eixo) a sondagem a pá e picareta foi paralisada a 0,90m, também com surgência de água proveniente de chuva, e apresentou as seguintes camadas: 0,00m a 0,10m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, cinza clara, com raízes (expurgo); 0,10m a 0,40m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, cinza; 0,40m a 0,90m – silte argiloso, com pedregulhos e concreções, com seixos rolados e angulosos de quartzo (ϕ até 10 cm), amarelo e vermelho, variegado (mosqueado).

3.3.4 - Diagrama de Fraturas

A partir de 382 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na barragem e no sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Fraturas para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura 3.4, se dá segundo N100°Az a N110°Az, representando um percentual de 13,4% do total medido e entre N140°Az a N150°Az, representando 8,2%. O mergulho se dá preferencialmente sub-vertical (70° a 80°) para SW.

Figura 3.4 - Diagrama de fratura para 382 medidas de direções de fraturas.

São apresentados no Capítulo 7 – Plantas, 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.

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 6 – Anexos e 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, as características das rochas gnaissicas 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 realizadas 31 (trinta e uma) sondagens a pá e picareta no eixo barrável e sangradouro perfazendo um total de 36,30 metros. No quadro a seguir é apresentado, 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 a definição da espessura dos depósitos aluvionares sobre o embasamento rochoso e das resistências das camadas de solo 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 31 (trinta e uma) sondagens à percussão, perfazendo um total de 66,91 metros perfurados. No quadro a seguir é apresentado, o resumo das sondagens, com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento e o número de ensaios de infiltração do tipo “*Le Franc*” executados. Os perfis individuais dessas sondagens e o resultado dos ensaios são apresentados no Capítulo 6 - Anexos.

QUADRO 4.1.2 RESUMO DAS SP

4.1.3 - Sondagens Mistas

Foram executadas 23 (vinte e três) sondagens mistas, perfazendo um total de 238,90 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 na planta JPAE-3110-Z02-G-006, 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 - Ensaios 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 realizados 42 (quarenta e dois) ensaios de permeabilidade "*in situ*" com carga constante e os resultados destes podem ser observados no Capítulo 6 – Anexos.

4.1.5 - Ensaios 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 17 ensaios de perda d'água, e os resultados estão apresentados no Capítulo 6 – Anexos.

4.2 - ESTUDOS DOS MATERIAIS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da Barragem Gameleira 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 igual a 130.00,00m² e volume útil de 79.300,00m³;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 270.000,00m² e volume útil de 278.100,00m³;
- Areal 01 - Areia de rio (Rio Mundaú) que será usada nas transições, filtros, drenos e concretos, com uma área de 27.000,00m² e um volume útil de 40.500,00m³;
- Pedreira 01 - Para a produção de pedra para enrocamento e brita. É uma pedreira de exploração comercial, localizada a 6,00km de distância do eixo da barragem, com volume útil de 90.000,00m³.

As localizações e acessos a todas ocorrências, em relação ao eixo barrável, estão apresentadas no Capítulo 7 - Plantas, em croquis individuais específicos, constantes nas plantas JPAE-3110-Z02-G-001, JPAE-3110-Z02-G-002, JPAE-3110-Z02-G-003 e JPAE-3110-Z02-G-004.

As jazidas de materiais terrosos (J 01 e J 02) foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de 100m x 50m. Na Jazida 01 foram executados 41 poços, com um total de 29,00m de sondagem e na Jazida 02 foram executados 70 poços, perfazendo 101,80m de sondagem. Das jazidas 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 nas jazidas 01 e 02. 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	TOTAL	FUROS COLETADOS												
		05	08	14	17	19	21	23	25	28	32	35	37	40
Granulometria por Sedimentação	06		X	X		X			X		X		X	
Permeabilidade (Carga Variável)	06		X	X		X			X		X		X	
Cisalhamento Direto	04		X			X					X		X	
Compactação (Proctor Normal)	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 4.2.2 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 02

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS												
		02	04	06	08	10	12	16	18	20	22	24	27	
Granulometria por Sedimentação	09	X		X	X					X		X		
Permeabilidade (Carga Variável)	04	X			X							X		
Cisalhamento Direto	04	X			X							X		
Compactação (Proctor Normal)	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Limite Liquidez	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Limite Plasticidade	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Granulometria por Peneiramento	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Continuação

ENSAIOS	FUROS COLETADOS															
	30	32	35	36	38	41	44	47	50	52	55	57	60	65	68	
Granulometria por Sedimentação	X					X			X				X			
Permeabilidade (Carga Variável)													X			
Cisalhamento Direto													X			
Compactação (Proctor Normal)	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	
Limite Plasticidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Granulometria por Peneiramento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

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 4.2.3).

Quadro 4.2.3 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos do Areal 01

ENSAIOS	FUROS COLETADOS			
	01	05	08	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 - COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES

5- COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES

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 (SPP)
 - Sondagens a Percussão (SP)
 - Sondagens Mistas (SM)
 - 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 – geotécnico apresentados no anexo.

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

5.2.1 - Barragem

5.2.1.1 - Calha do Rio

O material predominante encontrado nas fundações é constituído por depósitos de areia fina siltosa com pedregulhos restritos ao fundo do vale, com valores de SPT variando de 14 a 25/5 golpes em média. Abaixo destas camadas, encontra-se uma camada não espessa de solo residual composto por argila arenosa com pedregulhos e seixos, rija, com colorações variando entre cinza e vermelho, com SPT variando entre 22 a 45/27 golpes em média, proveniente da decomposição e alteração da rocha de fundação (granito). As sondagens a percussão tiveram suas profundidades limitadas portanto, pelo solo residual que se mostrou impenetrável à ferramenta de percussão. Estas profundidades variaram de 1,40 a 4,00 metros.

A rocha de fundação se apresenta de modo alternado em formação de gnaiss de coloração cinza a vermelho com variações de tonalidades (claro a escuro) de muito a pouco fraturado, apresentando porcentagens de recuperação de 20% a 90%, e formações de granito rosa, às vezes apresentando veios de pegmatito, de pouco a muito fraturado com recuperações em torno de 20% a 90%.

Após as margens do rio, encontram-se camadas de argila arenosa com pedregulhos e seixos, rija, com colorações variando entre cinza e vermelho, com

valores de SPT variando entre 12 e 23/7 golpes em média e profundidades de 0,50 a 7,00 metros (especificamente SM-14). As sondagens a percussão tiveram suas profundidades limitadas portanto, pelo solo residual que se mostrou impenetrável à ferramenta de percussão.

Ao longo da estaca 25 + 10m, de montante a jusante, tem-se o contato do aluvião com o solo de recobrimento do embasamento cristalino, detectado na sondagem SPP-4, com espessura de 1,40 metros. Esse pacote aluvionar é representado por areia fina, siltosa, de coloração cinza, com tonalidades variando entre escuro e claro.

A menos da SP-21, cujo nível d'água se apresentou a 0,40m, o mesmo não foi detectado em nenhuma outra sondagem nesta região.

Os ensaios de permeabilidade "in situ" nas camadas de solo apresentaram resultados variando entre K= coeficiente de permeabilidade $\cong 2,53 \times 10^{-6}$ cm/s a $K \cong 4,03 \times 10^{-4}$ cm/s.

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 a 2,67 l/min/m/Kg/cm², que traduz permeabilidades variando em torno de $k= 0$ a $2,53 \times 10^{-4}$ cm/s N.

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-13, o regime se dá como turbulento com ligeira abertura de fendas. No entanto, para o caso da Barragem Gameleiras, 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.

Uma outra característica se dá, através da análise geológica do maciço, que cita que a foliação da rocha encontra-se no sentido quase perpendicular ao fluxo do rio, mergulhando para SE, no sentido oposto a esse fluxo, portanto evidenciando uma

situação favorável do posicionamento do eixo da barragem com relação ao sentido preferencial de percolação.

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 a campanha de injeção de calda de cimento nas fraturas do maciço para impermeabilização do mesmo, bem como evitar a “clacagem” do maciço, 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 capa de solo residual delgada formada por silte arenoso com pedregulhos e seixos angulosos, cinza escuro com espessura variando entre 0,25 m e 2,50 m, atingindo logo a seguir a rocha do tipo granito pouco a muito fraturado cinza. Os valores de SPT encontrados nas sondagens estavam em torno de 16 a 20/5 golpes em média.

Na ombreira esquerda, abaixo da camada de silte, encontra-se camada de argila silto-arenosa com pedregulhos, rija, com coloração variando entre vermelho e cinza. Na ombreira direita, esta camada não é detectada, aparecendo, no entanto, uma delgada camada de areia fina siltosa com pedregulhos de espessura entre 0,20 e 1,00 metro em média. Abaixo desta camada, encontra-se camada de silte argiloso com concreções, atingindo 1,50 metros de profundidade.

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 apresentaram resultados variando entre $K =$ coeficiente de permeabilidade $\cong 3,61 \times 10^{-6}$ cm/s a $K \cong 1,06 \times 10^{-4}$ cm/s.

Com relação ao dique auxiliar de fechamento (da estaca 47 a 70+10m na ombreira esquerda), a topografia do terreno é plana e suave e o solo superficial é silto-arenoso, com pedregulhos, de cor cinza clara, de granulação fina a média. Em algumas áreas a superfície do terreno é recoberta por seixos angulosos de quartzo e fragmentos de rocha, com espessura pequena, caindo imediatamente em rocha gnaisse.

5.2.2 - Sangradouro (da estaca 18 a 0)

O terreno apresenta topografia plana e suavemente ondulada, com declividade mais acentuada para jusante. É recoberto superficialmente por camada de solo silto-arenoso de cor cinza-clara, com espessura de 0,20 a 1,40 metros. Sobre esse solo ocorrem grandes concentrações de seixos e blocos de quartzo e sílica, bem como fragmentos de rocha formando uma extensa área de “cascalheira” que se estende tanto para montante como para jusante.

A rocha de fundação apresenta formação de gnaisse milonitizado moderadamente a muito duro de coloração amarela a vermelha, de muito a pouco fraturado, apresentando porcentagens de recuperação de 20% a 90%, e formações de granito rosa, às vezes apresentando veios de pegmatito, de pouco a muito fraturado com recuperações em torno de 20% a 90%.

Nas sondagens tipo percussão efetuadas nesta região obtiveram-se valores de SPT variando entre 5 e 20/5.

5.3 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÕES

Foram identificadas duas jazidas de solos, denominadas de J-01 e J-02, um areal denominado de A-01 e uma pedreira, denominada de P-01.

5.3.1 - Jazidas Identificadas

Foram identificadas duas jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01 e J-02.

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 e SM, areia siltosa.

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 densidades e umidade ótimas obtidas no ensaio de Proctor, receberam tratamento estatístico e indicaram os valores:

Parâmetro	JT1	JT2
C (Kgf/cm ²)	0,18	0,17
ϕ (°)	34,8°	34,4°

Com relação aos ensaios de permeabilidade com carga variável, encontrou-se valores médios de $k = 8,18 \times 10^{-7}$ cm/s para a JT01 e de $k = 7,15 \times 10^{-7}$ cm/s para JT02.

Dos resultados obtidos dos ensaios de compactação, após receberem também tratamento estatístico apresentaram para a jazida J-01, valores de γ_s máx = 1,87 g/cm³ e $hót$ máx = 13,08% e na jazida J-02, valores de γ_s máx = 1,88 g/cm³ e $hót$ máx = 12,3%

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 constante nas amostras apresentaram valores máximos de K= coeficiente de permeabilidade $\cong 7,42 \times 10^{-3}$ cm/s .

5.3.1.3 - Pedreira

O material da pedreira foi classificado como gnaisse, com valor resultante do ensaio “Los Angeles” (L.A.) = 29%, 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.

5.3.1.4 - Conclusões

O material areno-argiloso a ser utilizado na construção do corpo da barragem será proveniente de duas jazidas que se encontram a montante do eixo, na área da bacia hidráulica, a uma distância média de 1.180 m para a jazida J.01 e 2.730m para a jazida J.02, em relação ao eixo, com um volume total disponível da ordem de 357.400,00 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.....SM-SC
- Permeabilidade média..... $7,66 \times 10^{-7}$ cm/s
- Umidade ótima de compactação - Proctor Normal.....12,69%
- Massa específica aparente máxima..... $1,875$ g/cm³
- Coesão (cisalhamento direto) $0,02$ kg/cm²
- Ângulo de atrito interno (cisalhamento direto)..... 30°

Para o areal, que também recebeu tratamento estatístico, apresentam as seguintes características :

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado.....SP
- Permeabilidade média..... $7,42 \times 10^{-3}$ cm/s
- Volume disponível..... 40.500 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 MATERIAS

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 - Jazida - 02

6.2.2.1 - Quadro Resumo

6.2.2.2 - Boletim de Campo

6.2.2.3 - Granulometria por Sedimentação

6.2.2.4 - Ensaio de Permeabilidade com Carga Variável

6.2.2.5 - Ensaio de Cisalhamento

6.2.2.6 - Ensaio de Densidade “ *In Situ*”

Método do Frasco de Areia

6.2.3 - Areal 01

6.2.3.1 - Boletim de Campo

6.2.3.2 - Ensaio de Granulometria

6.2.3.3 - Ensaio de Permeabilidade Com Carga Constante

6.2.4 - Pedreira 01

- Ensaio Los Angeles

6.2.5 - Jazida 01 - Boletins de Caracterização

- Granulometria por Peneiramento
- Limites de Consistência
- Compactação

6.2.6 - Jazida 02 - Boletins de Caracterização

- Granulometria por Peneiramento
- Limites de Consistência
- Compactação

7 - PLANTAS

Relação das Plantas

Item	Plantas	Número
01	Croqui da Jazida 01	JPAE-3110-Z02-G-001
02	Croqui da Jazida 02	JPAE-3110-Z02-G-002
03	Croqui do Areal 01	JPAE-3110-Z02-G-003
04	Croqui da Pedreira 01	JPAE-3110-Z02-G-004
05	Planta de Locação das Sondagens	JPAE-3110-Z02-G-005
06	Perfil Longitudinal do Subsolo	JPAE-3110-Z02-G-006
07	Mapa Geológico da Barragem e Sangradouro	JPAE-3110-Z02-G-007
08	Mapa Geológico da Bacia Hidráulica	JPAE-3110-Z02-G-008
09	Perfil da Geologia Local	JPAE-3110-Z02-G-009