

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**“Avaliação dos Condicionantes Geológico-Geotécnicos
de um Aproveitamento Hidrelétrico em
Estudos de Viabilidade”**

Daniel Augusto Buzzatto de Lima

**Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares
Co-orientadora: Profa. Dra. Marilda Tressoldi**

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/13)

SÃO PAULO
2008

TF
L732
DAB.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

“Avaliação dos Condicionantes Geológico-Geotécnicos
de um Aproveitamento Hidrelétrico em
Estudos de Viabilidade”

Daniel Augusto Buzzatto de Lima



Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares
Co-orientadora: Profa. Dra. Marilda Tressoldi

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/13)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900025821

SÃO PAULO
2008

TF
L732
DAB.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Avaliação dos Condições Geológicas-Geotécnicas
de um Aterro Sanitário Históricas em
Estados de Visibilidade



Geotécnica e Geologia de Minas

Geotécnica e Geologia de Minas
Geotécnica e Geologia de Minas

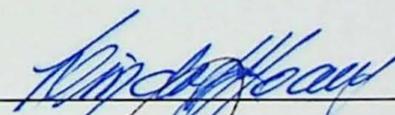
MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMALIZAÇÃO
(1988)

SÃO PAULO
1988

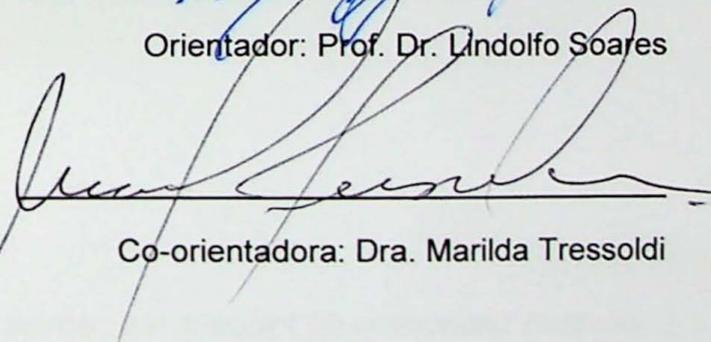
Monografia de Trabalho de Formatura

“Avaliação dos Condicionantes Geológico-Geotécnicos de um Aproveitamento Hidrelétrico em Estudos de Viabilidade”

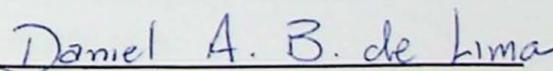
De acordo:



Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares



Co-orientadora: Dra. Marilda Tressoldi



Aluno: Daniel Augusto Buzzatto de Lima

Dedico este trabalho a minha mãe Cenyra e ao meu pai Joaquim (in memoriam), pessoas fundamentais e inestimáveis da minha vida.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à DEUS, que nos momentos mais difíceis me deu serenidade e perseverança.

A minha noiva Francine, sempre ao meu lado, me incentivando e principalmente acreditando em mim. Valeu neguinha!!!!

As minhas irmãs Daisy, minha segunda mãe e Denise, que colocou no mundo a minha afilhada Mariana.

Á Fátima, minha terceira mãe e ao meu irmão Rodrigo meu irmão.

Ao meu tio Roberto e minha tia Eloísa, que me acolheram como filho no início de tudo.

A Geóloga Marilda Tressoldi, com quem aprendi muito e ao Professor Lindolfo Soares, meu orientador.

Aos amigos Carlão, Léo, Aline, Diego, Gustavo, André, Nikolai, Maurício, Vivi, Ricardo, Silvia, Talita, Fábio, Nonato, Cláudio, Sidão, Mário e Alba.

"A natureza é grande nas coisas grandes e grandíssima nas pequeninas."

Saint-Pierre (1658-1743) - Filósofo Francês

Sumário

Resumo	1
Abstract	2
1. Introdução	3
2. Metas e Objetivos	4
3. Trabalhos Realizados	4
3.1. Revisão Bibliográfica.....	5
3.1.1. Projetos de Viabilidade Executados e Trabalhos Acadêmicos	5
3.1.2. Estudos geológico-geotécnicos do Sítio do Aproveitamento e dos Materiais de Construção	5
a. Estudos Preliminares	5
b. Levantamentos	6
b.1. Programação de investigações geológico-geotécnicas	6
b.2. Investigações Manuais.....	6
b.3. Investigações Mecânicas	7
b.4. Investigações Geofísicas	7
b.5. Ensaio geotécnicos e geomecânicos.....	7
c. Estudos Básicos.....	8
c.1. Mapa geológico regional	8
c.2. Mapa geológico do local do aproveitamento	8
c.3. Mapa geológico-geotécnico do local do aproveitamento	8
c.4. Seções geológico-geotécnicas	9
c.5. Materiais naturais de construção.....	9
c.6. Tecnologia de rochas	9
d. Tipos de Barragem	9
3.1.3. Materiais Naturais de Construção	10
a. Solos “in situ” ou residuais	10
b. Solos Transportados	10
c. Solos para Empréstimo	11
d. Classificações Geotécnicas Convencionais	13
e. Classificações Geotécnicas Não Convencionais.....	13
f. Areia, Cascalho e Rocha	13
3.1.4. Levantamentos e Estudos Básicos Ambientais do Meio Físico referentes ao Tema Geologia	15
a. Sismicidade	16

b. Recursos Minerais	17
c. Estanqueidade	18
d. Águas Subterrâneas	18
e. Erosão e Estabilidade de Encostas.....	18
3.2. Levantamentos geológico-geotécnicos efetuados	19
a. Investigações no Sítio do Aproveitamento	19
b. Investigações nas Áreas de Empréstimo	21
c. Investigações em Jazidas de Areia, Cascalho, Brita e Materiais Rochosos	21
3.3. Levantamentos Ambientais do Meio Físico relacionados ao tema Geologia	22
4. Materiais e Métodos.....	22
4.1. Fontes Materiais	22
4.2. Metodologia Utilizada	22
4.2.1. Estudos de Engenharia	22
a. Sítio do Aproveitamento.....	23
b. Materiais Naturais de Construção	25
4.2.2 Estudos Ambientais do Meio Físico referentes ao Tema Geologia.....	25
a. Geologia	25
b. Sismicidade	25
c. Recursos Minerais	25
d. Hidrogeologia.....	26
e. Estanqueidade e Estabilidade de Encostas	26
5. Desenvolvimento do Trabalho	26
6. Resultados	27
6.1. Compartimentação Tectônica e Geologia da Área de Influência	27
6.1.1. Compartimentação Tectônica.....	27
6.1.2. Geologia	28
a. Bacia Dardanelos.....	28
b. Bacia dos Parecis	28
c. Bacia do Alto Xingu.....	30
d. Unidades Litoestratigráficas	30
d.1. Grupo Caiabis	30
d.1.1. Formação Dardanelos.....	30
d.2. Grupo Parecis	31
d.2.1. Formação Salto das Nuvens	31
d.3. Bacia do Alto Xingu.....	31
d.3.1. Formação Ronuro	31

e. Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas.....	31
f. Depósitos Aluvionares	32
6.2. Condicionantes Geológico-Geotécnicos do Sítio do Barramento	32
6.2.1. Geologia do Sítio.....	32
6.2.2. Caracterização das unidades geológico-geotécnicas.....	32
a. Aluvião.....	33
b. Tálus.....	33
c. Solos de Alteração (SA – C4) e Rocha Alterada Mole (RAM – C3)	33
c.1. SA/RAM de arenito.....	33
c.2. SA/RAM de argilito	33
c.3. SA/RAM de intercalações de arenito/argilito.....	33
c.4. SA/RAM de intercalações de argilito/arenito.....	34
d. Arenitos e Argilitos – Formação Dardanelos	34
d.1. Arenito maciço ou com estratificação incipiente	34
d.2. Arenito estratificado	34
d.3. Arenito com estratificações rítmicas.....	34
d.4. Arenito com matriz argilosa.....	35
d.5. Argilito espelhado	35
d.6. Argilito estratificado.....	35
6.2.3. Aspectos Estruturais	35
6.3. Materiais Naturais de Construção	36
6.3.1. Solos para empréstimo	36
a. Margem Direita	37
b. Margem Esquerda	37
6.3.2. Areia, Cascalho e Rocha.....	37
6.4. Estudos de Alternativas do Aproveitamento.....	38
6.4.1. Estudos dos Eixos.....	38
6.5. Estudos de Arranjo do Aproveitamento.....	40
7. Conclusões	42
8. Bibliografia.....	44
9. Anexos.....	48

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Sondagens mistas executadas no sítio do barramento.	20
Tabela 2 – Sondagens a trado realizadas nas áreas de empréstimo.	21
Tabela 3 – Jazidas de Areia, Cascalho, Brita e Materiais de Construção.	21
Tabela 4 – Normas de classificação de sondagens a percussão (Themag Engenharia e Gerenciamento).	23
Tabela 5 – Normas de classificação de sondagens rotativas (Themag Engenharia e Gerenciamento).	24
Tabela 6 – Cronograma completo das atividades realizadas.	26
Tabela 7 – Áreas de empréstimo da margem direita.	37
Tabela 8 – Áreas de empréstimo da margem esquerda.	37

Índice de Figuras

Figura 1 – Barragem de enrocamento com núcleo argiloso (Adaptado de Marques Filho e Geraldo, 1998).	10
Figura 2 – Curvas granulométricas dos solos utilizados na UHE Porto Primavera (Cruz, P. T. da, 1996).	12
Figura 3 – Programação de Sondagens e Seções geológico-geotécnicas.	20
Figura 4 – Domínios Tectono-estratigráficos do Estado de Mato Grosso (Adaptado de Lacerda Filho <i>et. al.</i> , 2004).	29
Figura 5 – Estereograma das atitudes de acamamento.	35
Figura 6 – Estereograma das medidas de fraturas.	36
Figura 7 – Local do Eixo da Barragem (Adaptado do software Google Earth).	39
Figura 8 – Estudo de arranjo preliminar.	40
Figura 9 – Alternativa 1 de arranjo.	40
Figura 10 – Alternativa 2 de arranjo.	41

Índice de Desenhos

Anexo 1 – Mapa Geológico.	49
Anexo 2 – Perfis individuais de Sondagens, Seções Geológico-Geotécnicas e Mapas de Contorno Estrutural do topo Rochoso.	50
Anexo 3 – Mapa Áreas de Empréstimo.	51
Anexo 4 – Jazidas de Areia e Pedreiras.	52

Termos Técnicos Utilizados

Sondagem: Investigação feita num local, visando a obtenção de características geológicas de formações subjacentes. Pode ser feita através de métodos diretos (poço, galeria, trincheira, sondagem a trado, percussão e rotativa) indiretos (sondagem a varejão e geofísica).

Sondagem Rotativa: Método de sondagem moto-mecanizada que consiste na rotação de um dispositivo cortante (coroa) com aplicação simultânea de pressão de avanço. Obtêm-se amostras cilíndricas da formação atravessada.

Sondagem a Percussão: Método de sondagem que consiste na introdução em solo, de um tubo de aço através de golpes de um peso de cravação. É utilizada tanto para se obter amostras como índices de resistência a penetração.

Sondagem a Varejão: Método expedito de sondagem geralmente utilizado em aluvião, que consiste em cravar manualmente um varejão (haste) com ponteira metálica, procurando-se detectar, perceptivamente, o tipo e a espessura do material aluvionar subjacente.

Sondagem a trado: Método de sondagem que utiliza o trado como instrumento para investigação.

Poço de Inspeção: Método de sondagem que consiste na abertura de um poço para a retirada de amostras e mapeamento das formações atravessadas.

Trincheira: Método de sondagem que consiste na abertura de uma trincheira com o intuito de mapear e coletar amostras das formações atravessadas.

Ensaio de Permeabilidade: Ensaio realizado em furos de sondagem para a determinação da permeabilidade das formações atravessadas.

Ensaio de Perda d'água sob pressão: Ensaio realizado em furos de sondagem com o objetivo de determinar a permeabilidade e o comportamento de maciços rochosos frente a percolação de água através de suas fissuras.

Estes termos foram retirados do *Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia* (TOGNON, A. A., 1985).

Resumo

A presente Monografia de Trabalho de Formatura foi desenvolvida em conjunto com a Empresa Themag Engenharia e Gerenciamento, a partir de um projeto de Viabilidade de um Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) de um rio localizado no Estado de Mato Grosso.

Os estudos se desenvolveram no decorrer do ano de 2008, envolvendo a realização de trabalhos de campo, interpretações preliminares e discussões finais. O enfoque dos trabalhos foi dado na Área de Influência Direta (AID) do projeto, definida no Manual de Viabilidade da Eletrobrás (1997) como *“Aquela (área) cuja abrangência dos impactos incide diretamente sobre os recursos ambientais e a rede de relações sociais, econômicas e culturais, podendo se estender além dos limites da área a ser definida como polígono de utilidade pública”*.

Nos estudos de viabilidade de um projeto que envolve a construção de um aproveitamento hidrelétrico são considerados em condicionantes de vital importância para a avaliação final, sendo eles:

- Condicionantes geológico-geotécnicos do sítio do aproveitamento e dos materiais de construção;
- Condicionantes geológico-ambientais da área do reservatório.

Os dados utilizados foram obtidos dos trabalhos de campo, sendo empregadas para a interpretação, as técnicas de Geologia de Engenharia cabíveis ao projeto e consultas bibliográficas referentes ao tema. O enfoque principal da avaliação foi dado aos condicionantes geológico-geotécnicos do sítio do barramento, efetuando-se para os condicionantes geológico-ambientais da área do reservatório uma abordagem quanto à revisão bibliográfica, trabalhos efetuados e metodologia utilizada. Não serão apresentados os resultados do diagnóstico ambiental, impactos e programas ambientais, pois ainda estão em andamento.

No intuito de contribuir com a avaliação, os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, refletindo assim de forma positiva ao prosseguimento dos trabalhos para a implantação do projeto.

Abstract

This present Graduating Final Monograph has been developed in partnership with the firm *Themag Engenharia e Gerenciamento*, from a Hydroelectric Using Viability project (*projeto de Viabilidade de Aproveitamento Hidrelétrico - AHE*).

The studies were made in the year 2008, encompassing field works, preliminary interpretations and final considerations. The prime focus was on the project's Direct Influence Area (*Área de Influência Direta - AID*), defined by the 1997 Eletrobras' Viability Manual (*Manual de Viabilidade da Eletrobrás - 1997*) as "That one (area) whose impacts on it directly affects the environmental resources as well as the social, economical and cultural relationships, being expandable beyond the area limits to be defined as a public utility polygon".

The viability studies of a project involving the building of hydroelectric using facilities were divided in conditioning factors of vital importance for a final evaluation, among them:

- Geological and geotechnical conditioning factors at the using area and building materials;
- Environmental geological conditioning factors at the reservoir.

The data was obtained from field works and in order to understand it we used proper Geological Engineering techniques as well as proper bibliographical references. The prime focus of the evaluation was given to the geological and geotechnical conditioning factors at the dam's area, briefly discussing aspects such as bibliography, previous works and methodology concerning the environmental geological conditioning factors at the reservoir. Results from environmental evaluation, impacts and environmental programs will not be shown, since they are still on progress.

In order to contribute to the evaluation, the obtained results showed themselves to be satisfactory ones, thus supporting in a positive manner the on-going process towards the project implementation.

1. Introdução

O projeto que envolve a construção de barragens para geração de energia é no mínimo ousado, pois todo um sistema que aparentemente está em equilíbrio – nesse caso um rio de uma bacia hidrográfica – se não tratado de forma adequada, levando em conta para isso fatores geológicos, ambientais e sócio-econômicos, terá sua dinâmica totalmente comprometida e alterada.

Portanto, para tentar evitar ao máximo esse comprometimento, entra em cena um ramo da Geologia definido pela ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental), a qual consta em estatuto (Artigo 2º - Definição de Geologia de Engenharia e Ambiental) como: *“A Geologia de Engenharia e Ambiental é a ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de Engenharia e do Meio Ambiente decorrentes da interação entre a Geologia e os trabalhos e atividades humanas, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos”*, sendo assim, cabe aos Geólogos estudarem de forma aprofundada e minuciosa - baseando-se para tanto, nos condicionantes geológico-geotécnicos - o local para a implantação de um projeto desse porte.

Segundo Cruz (1996), *“Há barragens que não ferem a paisagem, e até fazem a paisagem mais aprazível e acolhedora, como é o caso da Barragem de Hoover no meio do Deserto Americano, e há barragens que agridem a vista e criam problemas ambientais desnecessários”*, como por exemplo, *“as barragens de Edgard de Souza e Pirapora, que tiveram o seu tempo e sua história, hoje são estorvos na vida do paulistano”*, ambas no estado de São Paulo, Brasil.

No Brasil, os projetos que envolvem a construção de barragens contribuíram para o desenvolvimento da Geologia de Engenharia, pois nessa época foi iniciada a criação e o desenvolvimento do principal conjunto de técnicas e métodos empregados em geotecnia.

O grande impulso dado atualmente à energia hidráulica no País deve-se principalmente a fatores ambientais e sócio-econômicos, pois a utilização de materiais radioativos ou derivados de petróleo - mesmo com os grandes reservatórios encontrados nos últimos anos - como matriz energética para a produção de energia elétrica, não se torna viável quando se trata das necessidades de suprimento da população, do setor industrial e dos grandes problemas ambientais inerentes.

Em regiões onde existem grandes bacias hidrográficas com rios que apresentam grandes volumes de água e que correm em locais onde existem características fisiográficas favoráveis e declividade acentuada do perfil do rio necessária ao barramento, o uso de barragens hidrelétricas como fonte de energia elétrica se torna muito importante.

Outro fator que deve ser levado em conta, é que a energia hidráulica contribui com 14,9% na matriz energética brasileira renovável, sendo responsável por 85,2% da geração de eletricidade do País (Resenha Energética Brasileira, 2008).

Dentro desse contexto, as justificativas para a realização de estudos relacionados à implantação de barragens vêm do fato da crescente demanda por energia elétrica no Brasil, e a construção de aproveitamentos hidrelétricos, a fim de tentar suprir os problemas energéticos, poderá dar um melhor suporte à população e ao setor industrial em regiões onde existem bacias hidrográficas com rios potencialmente viáveis à construção de barragens. É válido lembrar que grandes projetos já foram implantados, com destaque principalmente às Usinas Hidrelétricas de Itaipu, Ilha Solteira, Tucuruí e Sobradinho.

Esses projetos, entre outros, localizam-se nas principais bacias hidrográficas, com rios que apresentam as melhores características geológico-geotécnicas, hidráulicas e proximidade com os grandes centros consumidores de energia.

Uma alternativa, portanto, é a avaliação de novos rios que atendam à viabilidade de aproveitamentos e de barramentos, dentre os quais podemos destacar os rios Teles Pires, Madeira, Xingu e Tocantins, localizados na região norte do Brasil. Essa avaliação é feita considerando condicionantes geológico-geotécnicos do sítio do barramento (eixo da barragem, arranjo da barragem e materiais naturais de construção) e dos condicionantes ambientais do meio físico relacionados com a geologia: geologia do reservatório, sismicidade, recursos minerais, estanqueidade, águas subterrâneas e erosão e estabilidade de encostas.

Conforme consta na ANEEL, o limite para definir um aproveitamento hidrelétrico está na capacidade de produção de energia elétrica, sendo superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente ou autoprodução.

Devido a restrições contratuais, não serão exibidos os atributos do projeto do Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) em fase de viabilidade.

2. Metas e Objetivos

O presente trabalho de formatura tem como objetivo contribuir na avaliação dos condicionantes geológico-geotécnicos do sítio de um aproveitamento hidrelétrico e que necessariamente deve ser feita em estudos de viabilidade. A meta principal é a aplicabilidade dos resultados no projeto de avaliação dos condicionantes geológico-geotécnicos.

3. Trabalhos Realizados

Os estudos do potencial do rio iniciam-se com estudos de inventário. No presente estudo foram abordados os trabalhos realizados na fase de viabilidade de um dos

aproveitamentos selecionados para esse detalhamento nos estudos prévios. Também serão apresentados trabalhos acadêmicos, projetos de viabilidade executados e revisão bibliográfica relacionados ao tema.

3.1. Revisão Bibliográfica

3.1.1. Projetos de Viabilidade Executados e Trabalhos Acadêmicos

Dentre os projetos de viabilidade executados e que serviram como fonte de material bibliográfico, destacam-se os estudos realizados pela Themag Engenharia e Gerenciamento no rio Tocantins, como aqueles de Serra Quebrada, Tupiratins e Ipueiras.

Quanto aos trabalhos acadêmicos, Monticelli (1984), utiliza para a individualização de unidades geológico-geotécnicas de maciços rochosos para fundação em estudos de viabilidade, investigações de superfície, de subsuperfície, ensaios de laboratório e ensaios especiais, com o intuito de obter a capacidade de carga, a estanqueidade e as condições de escavação dos materiais rochosos.

3.1.2. Estudos geológico-geotécnicos do Sítio do Aproveitamento e dos Materiais de Construção

Os estudos geológico-geotécnicos em estudos de viabilidade relativos ao projeto de engenharia envolveram o sítio do aproveitamento e os materiais naturais de construção.

Conforme o Manual de Viabilidade da Eletrobrás (1997) os estudos de viabilidade compreendem as seguintes atividades:

- Estudos preliminares;
- Levantamentos;
- Estudos Básicos;
- Estudos de alternativas do aproveitamento;
- Estudos finais;
- Relatório final dos estudos de viabilidade.

a. Estudos Preliminares

Em estudos de viabilidade, os aspectos geológico-geotécnicos já são contemplados nos estudos preliminares, devendo ser desenvolvida a coleta de dados existentes e feita a análise desses dados coletados. Além disso, é feita também a inspeção de campo que é multidisciplinar, onde os aspectos geológico-geotécnicos do sítio do barramento e dos materiais de construção é de fundamental importância.

b. Levantamentos

Os aspectos geológico-geotécnicos continuam sendo contemplados nos levantamentos quando deve ser apresentada a programação de investigações geológico-geotécnicas.

b.1. Programação de investigações geológico-geotécnicas

Nessa atividade serão elaborados os programas para a execução das investigações de campo e ensaios de laboratório.

A programação de investigações geológico-geotécnicas deverá ser desenvolvida em etapas, de forma a fornecer, em cada uma dessas etapas, subsídios necessários à tomada de decisões para a seleção de eixo e do arranjo do aproveitamento, bem como para detalhamento do arranjo selecionado.

b.2. Investigações Manuais

Deverão ser executadas sondagens a trado, a varejão, poços de inspeção e trincheiras de inspeção no sítio de implantação das obras, nas áreas de empréstimo e jazidas, com coleta de amostras deformadas e indeformadas e classificação tátil-visual dos solos prospectados, elaboração dos perfis individuais das sondagens e mapeamento das paredes dos poços e trincheiras, visando subsidiar a programação para execução de ensaios geotécnicos e, principalmente, definirem a caracterização geológico-geotécnica preliminar das camadas de solo e rocha decomposta na área do sítio.

Na etapa de seleção de eixo, o grau de detalhamento das investigações dos materiais de construção será definido em função da importância da quantificação e qualificação dos materiais nos arranjos em estudo.

Nas áreas potenciais de empréstimo de materiais naturais para construção, deverá ser feita a seguinte programação mínima de investigações:

- Materiais terrosos: sondagens a trado e/ou poços de inspeção e/ou trincheiras, a cada 150 a 200 m;
- Areias e cascalhos: sondagens a varejão ou a percussão, com amostrador especial, a cada 100 m.

Eventualmente, algumas investigações manuais (poço de inspeção ou trincheiras) poderão ser também programadas ao longo dos eixos de barragens de terra/enrocamento.

A abordagem dos estudos geológico-geotécnicos dos materiais naturais de construção é feita através da caracterização dos solos para empréstimo e da localização de jazidas de areia, cascalho e rocha.

b.3. Investigações Mecânicas

Deverão ser executadas sondagens rotativas e a percussão no sítio do barramento, com a finalidade de fornecer subsídios à escolha do local definitivo do eixo das estruturas e compreendendo, também, as sondagens necessárias à pesquisa geológico-geotécnica, que será executada até o final dos estudos, para definição das condições das fundações das estruturas, dos locais de pedreiras e depósitos de areias e cascalhos aluvionares. As sondagens realizadas deverão caracterizar completamente a geologia local e os parâmetros geotécnicos das fundações do aproveitamento, ficando para fases posteriores de projeto, apenas investigações complementares específicas.

As sondagens rotativas deverão ter diâmetro N_x (7,57 cm) em rochas decompostas, podendo reduzir para B_x (6,0 cm) nas rochas de boa qualidade geomecânica. Deverão ser feitas classificações tátil-visuais das amostras de solo e de rocha coletadas pelas sondagens rotativas e a percussão, análises dos resultados dos ensaios executados e perfis individuais de sondagens.

b.4. Investigações Geofísicas

Deverão ser executadas investigações através de sísmica de refração e de reflexão e, eventualmente, eletrorresistividade e outros.

A sísmica de refração e a eletrorresistividade são aplicáveis às áreas emersas, tendo como objetivo determinar a espessura das camadas de solo e de rocha alterada e/ou fraturada que compõem o maciço rochoso, bem como indicar a posição do lençol freático, e servindo também para subsidiar a locação das investigações mecânicas. As seções geofísicas deverão ser feitas ao longo e perpendiculares ao eixo da barragem e, se necessário, das estruturas utilizadas no barramento.

Quanto à sísmica de reflexão, deverá ser feita ao longo do leito do rio, onde a sua finalidade é o levantamento indireto da topografia do leito, através da determinação do topo rochoso e da espessura de sedimentos submersos.

Estas investigações fornecerão subsídios à pesquisa e seleção do local do eixo das estruturas, bem como à localização e cubagem de depósitos submersos de areias e cascalhos aluvionares, e deverão ser feitos, preferencialmente, durante a primeira etapa das investigações.

b.5. Ensaios geotécnicos e geomecânicos

Deverão ser executados ensaios correntes e ensaios especiais, em solo, rocha e em materiais granulares, a partir das amostras deformadas e indeformadas de áreas de empréstimo, fundação e jazidas, visando a identificação qualitativa e quantitativa dos

diversos materiais aproveitáveis na construção e existentes na fundação, definindo-se os parâmetros que permitirão o dimensionamento preliminar das obras de terra e enrocamento.

c. Estudos Básicos

No desenvolvimento da atividade estudos básicos referentes a aspectos geológico-geotécnicos devem ser apresentados: mapa geológico regional, mapa geológico do local do aproveitamento, mapa geológico-geotécnico do local do aproveitamento, seções geológico-geotécnicas, materiais naturais de construção e tecnologia de rochas.

c.1. Mapa geológico regional

Com base no material bibliográfico coletado preliminarmente, e na interpretação de imagens de satélites, de radar e de fotografias aéreas, deverá ser elaborado Mapa Geológico Regional em escala 1:100.000 a 1:250.000 da região de interesse dos estudos, visando reunir subsídios aos estudos de sismicidade, estanqueidade e assoreamento do reservatório.

c.2. Mapa geológico do local do aproveitamento

Baseado na interpretação de fotografias aéreas, mapeamento de afloramentos rochosos e classificação de solos localizados em uma área com cerca de 2 a 10 km de raio em torno do local do Aproveitamento, será elaborado o mapa geológico da área, em escala 1:5.000 a 1:25.000, para definição das macro-unidades e macro-feições geológicas que condicionarão as unidades e feições geológico/geotécnicas do sítio de implantação das obras.

c.3. Mapa geológico-geotécnico do local do aproveitamento

O mapa geológico-geotécnico do local do Aproveitamento deverá ser elaborado em escala de 1:500 a 1:5.000, de acordo com as dimensões da obra. Nele deverão ser representadas as unidades e feições geológico-geotécnicas de importância ao projeto das fundações das estruturas de concreto e de terra e/ou enrocamento.

Este mapa deverá ser feito com base na interpretação de fotografias aéreas, na análise dos dados de sondagens, poços e trincheiras, nas investigações geofísicas, no mapeamento detalhado de afloramentos do maciço rochoso e na classificação de solos de cobertura, bem como nos ensaios geotécnicos e geomecânicos executados na área de implantação da obra e em suas vizinhanças, principalmente nas áreas ribeirinhas, ilhas, corredeiras e margens do rio.

c.4. Seções geológico-geotécnicas

Com base na análise dos dados do mapeamento geológico do local do aproveitamento e das investigações realizadas, incluindo os ensaios geotécnicos e geomecânicos, deverá ser elaborada uma série de seções geológico-geotécnicas, que servirá de subsídio à escolha de um eixo e às suas alternativas de arranjo, incluindo a representação das sondagens através de perfis simplificados.

Através destas seções, serão representadas as unidades litológicas e feições estruturais envolvidas no projeto e serão fixadas, a esse nível de detalhamento, as cotas de fundação das estruturas, além de fornecer subsídios aos projetos de tratamento das fundações.

Esta atividade inclui a elaboração de seções geológico-geotécnicas na área de implantação das construções especiais, nos depósitos de materiais naturais granulares, nas pedreiras e áreas de empréstimo.

c.5. Materiais naturais de construção

Os estudos referentes aos materiais naturais de construção visam definir as características geotécnicas básicas, os volumes e a distribuição dos materiais, com vista ao pré-dimensionamento das obras de terra e enrocamento e construções especiais, além da comparação técnico-econômica de alternativas.

No âmbito desta atividade, será realizada a análise dos resultados de ensaios executados e apreciação dos limites de variação e características médias dos materiais para cada alternativa.

c.6. Tecnologia de rochas

A partir da análise dos dados de sondagens e demais formas de investigações disponíveis, inclusive ensaios de laboratório, serão definidos a adequabilidade e o emprego, na obra, do material rochoso a ser retirado das áreas de escavações obrigatórias e das eventuais pedreiras que forem identificadas.

d. Tipos de Barragem

Segundo Marques Filho e Geraldo (1998), os tipos de barragens podem ser classificados em barragens de concreto e barragens de aterro.

As **barragens de concreto** são freqüentemente construídas com Concreto Compactado com Rolo (CCR) ou com concreto convencional. Os tipos principais são as barragens de gravidade aliviada, barragens de gravidade e barragens de contrafortes em arco. Segundo Frazão e Paraguaçu (1998), concreto compactado com rolo (CCR) é um concreto que apresenta as mesmas características do concreto convencional, porém a sua

aplicação é feita através de lançamento seguido de compactação executada de forma semelhante à feita em um aterro.

As **barragens de aterro** são construídas a partir da compactação de solos e rochas encontrados na região do barramento. Os tipos mais comuns são as barragens de enrocamento (Figura 1) e as barragens de terra.

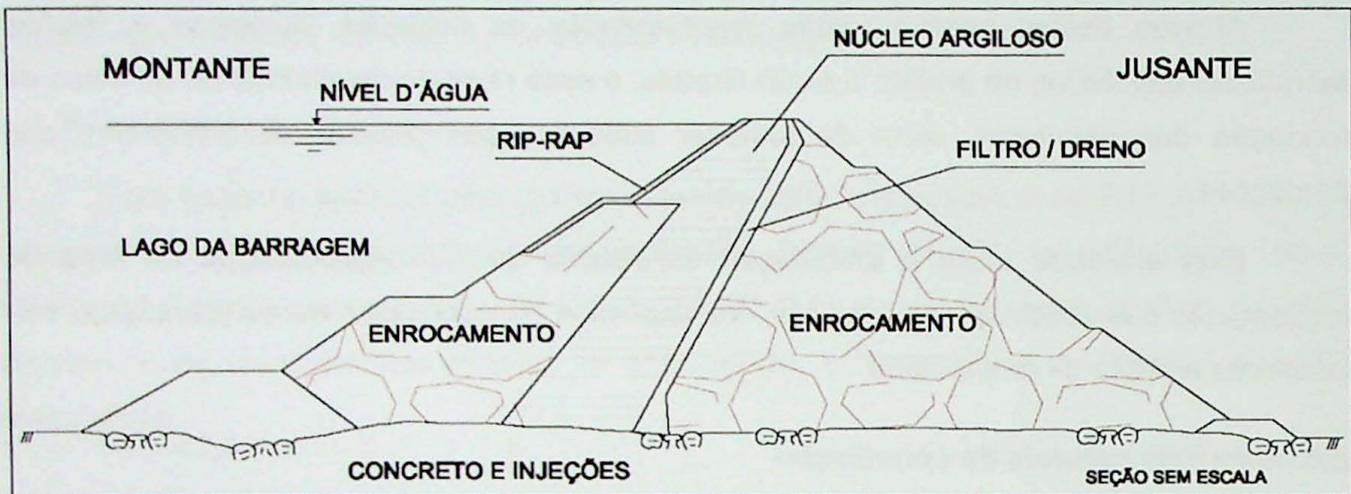


Figura 1 – Barragem de enrocamento com núcleo argiloso (Adaptado de Marques Filho e Geraldo, 1998).

3.1.3. Materiais Naturais de Construção

Na fase de viabilidade, deve-se investigar em campo a existência de solos que possam servir como fonte de materiais naturais de construção, como por exemplo, solos “in situ” e solos transportados, pois podem apresentar as características desejadas para a utilização nas obras de terra da barragem.

a. Solos “in situ” ou residuais

Solos formados pela ação intempérica, física ou química ou de ambas, e que não sofreram nenhum tipo de transporte. A composição mineralógica e granulométrica destes solos, bem como a espessura e estrutura estão vinculados ao tipo de rocha fonte. No Brasil, devido ao acentuado intemperismo químico, estes solos apresentam-se espessos – da ordem de dezenas de metros –, sendo ao mesmo tempo uma fonte de material natural de construção e um risco geológico as fundações.

b. Solos Transportados

São solos que foram transportados de seu local de origem até o local onde estão depositados, sem sofrer consolidação. Assim como os solos residuais, representam uma grande fonte de materiais naturais de construção e um problema para fundações. Podem ser divididos em:

- Aluviões: são materiais erodidos e transportados por sistemas fluviais, apresentando-se altamente heterogêneos devido à variação do fluxo das águas;
- Terraços fluviais: são aluviões antigos e posicionados em cotas mais altas do que os aluviões – antigo curso d'água do rio -, são compostos em sua maioria por areia grossa e cascalho;
- Coluviões: são solos encontrados nas encostas íngremes, de pouca espessura (0,5 a 1m) e compostos por misturas de solos e blocos de rocha pequenos. Podem também ser encontrados recobrimdo divisores de água em regiões planas, onde são compostos por materiais homogêneos como areias argilosas e argilas arenosas;
- Tálus: são depósitos formados por blocos de rocha de tamanhos variados e geralmente arredondados, em uma matriz, sendo envolvidos ou não, de material areno-silto-argiloso, freqüentemente saturado. Os mais antigos apresentam laterização da matriz, sendo mais consolidados e estáveis e sem nível d'água;
- Solos Eólicos: são depósitos gerados pela ação do vento e compostos por areia fina quartzosa e bem arredondada.

c. Solos para Empréstimo

Os solos são utilizados diretamente na construção de barragens, portanto torna-se imprescindível a sua localização, cubagem e caracterização geológico-geotécnica com investigações de campo e ensaios de laboratório. Esses tipos de depósitos são chamados de áreas de empréstimo e são utilizados em aterros compactados.

Segundo Marques Filho e Geraldo (1998), os solos utilizados em obras de aterro compactado devem apresentar granulometria fina a grossa e baixa permeabilidade. Nogueira Junior e Marques (1998), consideram que solos para empréstimo não devem conter matéria orgânica de qualquer natureza, argilas expansivas e mica em excesso, pois dificultam a compactação, diminuem a resistência e causam mudanças no comportamento e nas características do aterro ao longo do tempo.

Os tipos de solos comumente utilizados em aterros compactados são coluviões, terraços argilosos, solos residuais de granitos, gnaisses e basaltos. Na Figura 2 são apresentadas as curvas granulométricas dos solos utilizados nos aterros compactados da UHE Porto Primavera, classificados como ideais para estes tipos de obra, pois apresentam grande quantidade de material fino. Os solos utilizados estão contidos dentro do grupo I, que abrange o intervalo granulométrico que vai de silte a areia fina/média.

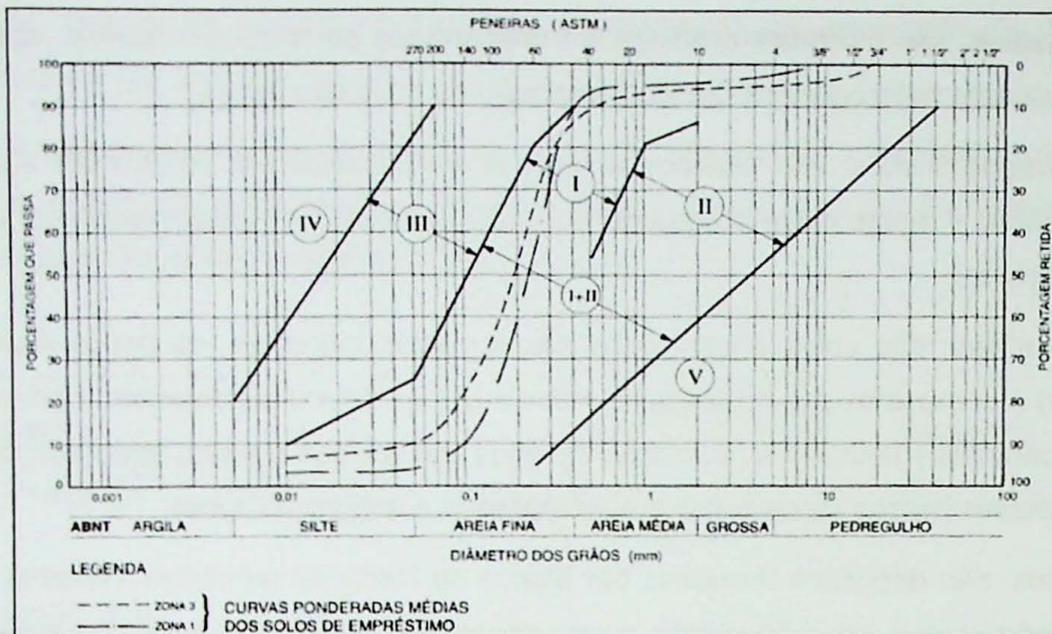


Figura 2 - Curvas granulométricas dos solos utilizados na UHE Porto Primavera (Cruz, P. T. da, 1996).

A localização das áreas de empréstimo deve ser feita primeiramente através de interpretações de fotos aéreas e inspeções de campo com posterior execução de sondagens a trado preliminares. Segundo Cruz e Bezerra (1996), as jazidas de solo devem estar a uma distância máxima de 2 km do eixo da barragem, além de estarem em locais com topografia suave e preferencialmente dentro da área de inundação.

Para a caracterização dos solos é feita uma cubagem, que consiste na separação volumétrica dos diferentes tipos encontrados, utilizando para tanto a classificação tátil-visual dos materiais obtidos através das sondagens a trado e poços de inspeção realizados nas áreas de empréstimo.

As investigações de campo são feitas a partir da identificação dos tipos de depósitos encontrados na região do eixo, com a realização de novas sondagens a trado e novos poços de inspeção. Essas sondagens são efetuadas a partir de uma malha predefinida após a delimitação preliminar das áreas de empréstimo.

Para obter as classificações geotécnicas dos solos das áreas de empréstimo são feitos ensaios laboratoriais em amostras selecionadas do material obtido nas sondagens. A seleção das amostras é feita a partir da definição das unidades geológico-geotécnicas, de representatividade, granulometria e angularidade, além da observação de macroestruturas, como cor e consistência. Para os ensaios laboratoriais, são utilizadas as Classificações Geotécnicas Convencionais e Não Convencionais (Fortes e Pastore, 1998).

d. Classificações Geotécnicas Convencionais

Nestes tipos de classificação, são considerados os ensaios de granulometria e limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade) com a intenção de determinar e classificar o estado dos solos.

e. Classificações Geotécnicas Não Convencionais

Estes tipos de classificações baseiam-se nos mais diversos índices, tais como peso específico x índice de vazios, entretanto as mais utilizadas são as que se baseiam em ensaios de compactação e perda de massa por imersão de corpos de prova.

f. Areia, Cascalho e Rocha

Assim como os solos, esses materiais também apresentam grande importância na viabilidade do projeto, pois são utilizados como agregados de concreto e em filtros, drenos e enrocamento do barramento. Sendo assim, a localização, a cubagem, a caracterização geológico-geotécnica com investigações de campo e ensaios tecnológicos se tornam indispensáveis. As áreas compreendidas por esses materiais são chamadas de jazidas de areia, cascalho e rocha.

A aplicação desses materiais na forma de brita, areia e cascalho é feita em filtros, transições de barragens de terra, drenos e em agregados de concreto. Na forma de "rocha" são usados em tamanhos métricos, sob a denominação de enrocamento e entram como elementos estruturais em seções de barragens de terra com núcleo de enrocamento ou em barragens de enrocamento.

A localização das jazidas deve ser feita primeiramente através de interpretações de fotos aéreas e mapas geológicos da região, seguidos de trabalhos de campo com a intenção de identificar locais com a presença dos materiais pétreos, como por exemplo, pedreiras ou afloramentos que possam fornecer material britado e blocos que servirão como enrocamento, além da inspeção das margens dos rios. Assim como os solos, essas jazidas devem estar o mais próximo possível do eixo da barragem.

A areia e o cascalho são encontrados principalmente nas calhas dos rios da região, em solos transportados e terraços aluviais. Já a brita e a rocha em afloramento de rocha ou pedreiras com volume necessário e em pedreiras comerciais especializadas na produção de brita e enrocamento. Assim como nos solos, a cubagem consiste na separação volumétrica dos materiais homogêneos encontrados.

Nas investigações de campo, a localização dos depósitos de areia e cascalho será feita através da observação das calhas dos rios da região, em solos transportados e terraços aluviais e na execução de sondagens a varejão nas calhas dos rios.

A brita e a rocha são investigadas mediante a localização de afloramentos de rocha ou pedreiras que sejam potencialmente viáveis, sendo que nesse caso pode ser necessária a execução de sondagens rotativas, e na verificação da existência de pedreiras comerciais na região do sítio do barramento. A caracterização dos materiais em campo é feita tátil visualmente.

Os ensaios tecnológicos desses materiais são feitos a fim de conhecer suas propriedades físicas, físico-químicas, físico-mecânicas e petrográficas, visto que devem ser utilizados na construção os materiais disponíveis na região.

A seleção de amostras deve ser feita de forma criteriosa, levando em conta a representatividade, a quantidade volumétrica e a massa suficientes para a realização dos ensaios.

Os ensaios normalmente realizados nas amostras selecionadas são petrografia, granulometria, impurezas, massa específica, porosidade e absorção de água, massa unitária, forma dos fragmentos, reatividade potencial, adesividade, abrasão, esmagamento, tenacidade, compressão uniaxial, flexão, desgaste por atrito, dilatação térmica linear e alterabilidade.

- Petrografia: identificação dos minerais e seus estados de alteração;
- Granulometria: análise granulométrica por peneiramento;
- Impurezas: verificação de materiais pulvulentos, matéria orgânica, argila em torrões e materiais friáveis e sais solúveis;
- Massa específica, porosidade e absorção de água: utilizado para cálculo do traço do concreto e resistência do agregado;
- Massa unitária: feito para obter a proporção de agregado e ligante;
- Forma dos fragmentos: obtêm o índice de forma: comprimento por espessura;
- Reatividade Potencial: determinação de minerais silicosos que podem reagir com o cimento Portland;
- Adesividade: mede a resistência ao deslocamento da película e amostra de agregado;
- Abrasão: mede o desgaste e a intensidade do impacto submetidas ao agregado;
- Esmagamento: mede a resistência ao esmagamento;
- Tenacidade: mede a resistência ao impacto;
- Compressão uniaxial: mede a resistência máxima até a ruptura;
- Flexão: obtêm a largura máxima do agregado até sofrerem flexão;
- Desgaste por atrito: mede a coesão e dureza a partir do desgaste abrasivo;

- Dilatação térmica linear: dá o coeficiente de dilatação térmica do agregado;
- Alterabilidade: mede a degrabilidade do agregado.

Conforme consta no Manual de Viabilidade da Eletrobrás (1997), a partir da análise dos dados de sondagens e demais formas de investigações disponíveis, inclusive ensaios de laboratório, serão definidos a adequabilidade e o emprego, na obra, do material rochoso a ser retirado das áreas de escavações obrigatórias e das eventuais pedreiras que forem identificadas.

3.1.4. Levantamentos e Estudos Básicos Ambientais do Meio Físico referentes ao Tema Geologia

Os estudos ambientais do meio físico referentes ao tema geologia seguem as normas estabelecidas no Manual de Viabilidade da Eletrobrás (1997) e nos Termos de Referência dos Órgãos Ambientais do projeto.

Através do Manual de Viabilidade da Eletrobrás *op. cit.*, os **levantamentos ambientais** deverão levar em conta os seguintes aspectos:

- Levantamento de dados secundários existentes incluindo cartas, mapas geológicos, geomorfológicos de solo e perfis de subsolo considerando a escala mínima de investigação de 1:100.000 para a Área de Influência Direta e 1:250.000 para a Área de Influência Indireta;
- Levantamento de dados de sismicidade natural e induzida;
- Investigações geológico-geotécnicas eventuais (complementares àquelas realizadas nos levantamentos geológico-geotécnicos) em áreas específicas do reservatório (áreas cársticas, encostas instáveis e outras de interesse);
- Levantamentos de relatórios e mapas hidrogeológicos regionais;
- Levantamentos dos aquíferos existentes (localização, natureza, geometria, litologia, estrutura e outros) e das condições de sua exploração;
- Levantamento dos níveis do lençol freático;
- Identificação das principais feições geomorfológicas e suas respectivas compartimentações, com ênfase na caracterização dos processos geodinâmicos, integrando-se as informações de natureza geológica, pedológica e geotécnica, visando a identificação de áreas potencialmente instáveis, erodíveis e zonas cársticas. A escala mínima de investigação para a Área de Influência Direta é 1:100.000;
- Levantamento das minas, jazidas e garimpos na Área de Influência, sua localização e quantificação de produção e potencialidade.

Durante as atividades de **estudos básicos** é efetuado o diagnóstico ambiental e quanto aos temas relacionados à geologia devem ser contemplados os seguintes aspectos no diagnóstico de Área de Influência Indireta e da Área de Influência Direta.

- Geologia regional (aspectos estruturais e litológicos);
- Sismicidade com descrição de sismos ocorridos e localização do epicentro;
- Aquíferos existentes, sua relação com as águas superficiais com outros aquíferos e condições de exploração;
- Estimativa da profundidade dos níveis das águas subterrâneas;
- Geomorfologia regional, classificação das formas de relevo, caracterização da sua dinâmica (processos de erosão e assoreamento) e áreas potencialmente instáveis;
- Caracterização da atividade minerária (formal e informal);
- Ocorrências minerais e situação dos processos minerários junto ao DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral);
- Unidades e classes de solos.

São elaborados estudos de impacto ambiental, sendo utilizado para tanto o Termo de Referência do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) ou o Termo de Referência do Órgão Ambiental Estadual específico para o empreendimento. Esses termos de referência, normalmente solicitam o diagnóstico sobre as condições geológicas, geotécnicas, sismológicas, dos recursos minerais, relevo, grau de estabilidade de encostas, regiões com presença de ambientes cársticos e ocorrência e magnitude de eventos sísmicos naturais e daqueles induzidos pelo enchimento do reservatório.

Para os estudos de impacto ambiental referentes à espeleologia, é utilizado o Termo de Referência do CECAV/ICMBIO (Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas / Instituto Chico Mendes de Biodiversidade) que estabelece as diretrizes dos trabalhos a serem, tais como a localização geoespacial das cavernas e demais características.

Os estudos ambientais do meio físico referentes ao tema geologia são divididos nos seguintes subtemas: sismicidade, recursos minerais, estanqueidade, águas subterrâneas e erosão e estabilidade de encostas.

a. Sismicidade

O objetivo da sismicidade é a caracterização dos sismos naturais e induzidos. Os naturais estão vinculados as zonas sismogênicas. Mioto (1993) identificou vinte e três zonas sismogênicas e três prováveis no Brasil, através da correlação entre atividades sísmicas -

de ocorrência não contínua no tempo geológico - e fraqueza crustal, aliadas a informações geológicas e geofísicas (sismicidade, gravimetria, magnetometria e geotermia).

No Brasil, a sismicidade é intraplaca e está associada às zonas de cisalhamento relacionadas com a estabilização de terrenos arqueanos e à reativação de zonas de cisalhamento por eventos tectônicos subseqüentes (Bartorelli e Haralyi, 1998).

Dentro desse quadro, os locais que podem ser considerados de risco para a implantação de grandes obras são depósitos sedimentares quaternários, consolidados ou não e que estejam próximos a descontinuidades maiores presentes em terrenos antigos.

Quanto aos sismos induzidos, estes estão vinculados ao enchimento do reservatório do barramento, em que o peso da água poderia provocar um aumento de pressão neutra ou poropressão, esta atuante de cima para baixo. Poderá também ocorrer o aumento da subpressão, que é uma componente vertical da pressão neutra, só que atua de baixo para cima e afeta principalmente as descontinuidades presentes, tais como: falhas, fraturas e contatos geológicos (Marques Filho e Geraldo, 1998).

Quanto aos dados utilizados para o desenvolvimento dos estudos de sismicidade, eles são contratados junto ao Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, que efetua o monitoramento sísmico do Brasil.

b. Recursos Minerais

Na região do sítio do aproveitamento, podem existir áreas com ocorrência mineral já constatada ou não e que serão afetadas direta ou indiretamente pela construção do barramento. A abordagem é feita através da identificação de direitos minerários e da potencialidade mineral existentes.

Os direitos minerários existentes encontram-se legalmente cadastrados no DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) e são processos representados por polígonos fechados que contêm uma ou mais substâncias minerais de interesse econômico. Esses processos, conforme registro no DNPM, podem estar em fase de requerimento de pesquisa, autorização de pesquisa, direito de lavra, licenciamento minerário, requerimento de lavra garimpeira ou lavra garimpeira.

Já o potencial metalogenético está ligado às características geológicas da área. Essas potencialidades são divididas em potencialidade alta, média e baixa (retirado de CPRM - Carta de Previsão de Minerais – Folha Altamira, escala 1:250.000):

- Potencialidade alta: Áreas de rochas hospedeiras e/ou estruturas favoráveis com minas e/ou garimpos, depósitos, jazidas, além de anomalias geoquímicas e geofísicas superpostas e/ou ocorrências e indícios;

- Potencialidade média: Áreas de rochas hospedeiras e/ou estruturas favoráveis com ocorrências e/ou indícios, e/ou anomalias geoquímicas ou geofísicas;
- Potencialidade baixa: Áreas de rochas hospedeiras e/ou estruturas favoráveis, sem registros diretos ou indiretos de mineralização e demandando estudos básicos complementares.

c. Estanqueidade

Os estudos relacionados à estanqueidade do reservatório visam avaliar os tipos litológicos e estruturas geológicas presentes que possam impedir o enchimento ou causar fuga de água após o enchimento do reservatório (Marques Filho e Geraldo, 1998). Os fatores podem ser geológicos, topográficos e hidrogeológicos, como por exemplo a existência de cavidades naturais (cavernas) e a disposição do lençol freático.

d. Águas Subterrâneas

Os estudos das águas subterrâneas estão relacionados com a avaliação das características hidrogeológicas das rochas e coberturas sedimentares aluvionares presentes no sítio do barramento, tais como porosidade, permeabilidade e disposição do lençol freático. O intuito é dimensionar as áreas afetadas pela elevação do lençol freático.

Esta elevação é influenciada pelo lago da barragem, pois quando o nível d'água máximo é atingido, será mantido um nível constante das águas superficiais. Esse nivelamento pode inverter temporariamente o sentido fluxo normal das águas subterrâneas (que é no sentido do rio) devido à pressão causada pelo peso da água.

Aliado a isso, se a porosidade e a permeabilidade das rochas ou coberturas que contêm aquíferos livres presentes no sítio do barramento for grande, poderão facilitar a elevação do nível d'água, desde que sejam adjacentes a reservatórios de barragens hidrelétricas (Albuquerque Filho, 2002).

Dentro desse quadro, se estes aquíferos forem aflorantes ou rasos, as variações do nível d'água podem desestabilizar fundações de construções existentes. Em zonas onde há contaminação ou poluição do lençol freático, estas variações poderão contribuir para a contaminação ou poluição dos aquíferos existentes.

Sendo assim, as áreas urbanas construídas sobre estes aquíferos representam áreas de risco, devendo dessa forma, serem delimitadas.

e. Erosão e Estabilidade de Encostas

A erosão e estabilidade de encostas estão associadas aos processos dinâmicos causados pelo lago da barragem, como por exemplo, a erosão pela ação das ondas, que afeta diretamente materiais pouco coesos localizados nas encostas do lago, os

escorregamentos causados por este processo são classificados como de pequeno e médio porte e podem afetar melhoramentos localizados nas margens do lago da barragem, como estradas ou plantações.

Já os maiores riscos estão associados aos deslizamentos de grandes massas, que ocorrem mais freqüentemente em encostas ou taludes de lagos presentes em regiões montanhosas compostas por rochas sedimentares dobradas ou rochas metamórficas e em vales fundos onde há deposição de material detrítico inconsolidado. O possível resultado desses escorregamentos é a geração de ondas de grande porte que podem galgar a barragem, afetando estruturas como taludes, canais de adução, vertedouros ou a casa de força (Marques Filho e Geraldo, 1998).

3.2. Levantamentos geológico-geotécnicos efetuados

Os levantamentos geológico-geotécnicos foram realizados a partir da execução de sondagens no eixo da barragem e nas áreas de empréstimo. Paralelamente à execução das sondagens foi efetuado mapeamento geológico-geotécnico.

a. Investigações no Sítio do Aproveitamento

As investigações no eixo da barragem foram feitas através da execução de sondagens mistas (SM) - sondagem a percussão seguida de sondagem rotativa, seguindo uma programação (Figura 3) que define o tipo, a profundidade e a localização das sondagens. Foram realizadas 11 sondagens mistas nas duas margens, sendo 6 na margem esquerda e 7 na margem direita e 2 sondagens rotativas (SR) inclinadas, uma em cada margem.

O intuito é obter amostras de solo e do maciço rochoso, a fim de determinar suas características geológico-geotécnicas, utilizando para tanto a classificação das amostras. A partir das sondagens e das classificações são confeccionados perfis individuais das sondagens e seções geológico-geotécnicas. A partir da classificação das sondagens também é obtido o topo rochoso.

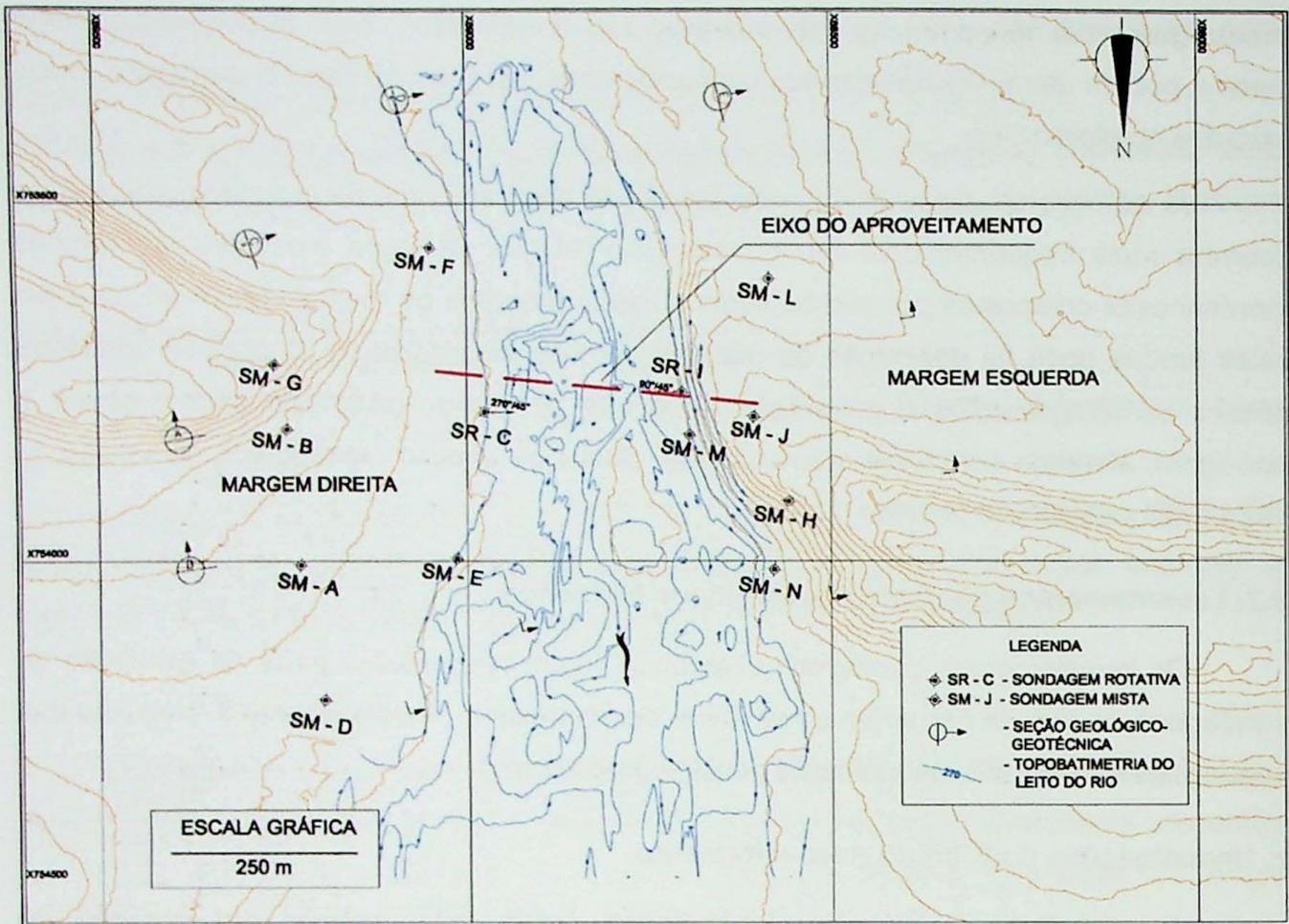


Figura 3 – Programação de Sondagens e Seções geológico-geotécnicas.

Essas informações são utilizadas nos estudos de arranjo e na seleção do arranjo final. Na Tabela 1 são apresentadas informações básicas sobre as sondagens executadas.

Sondagem	Coordenadas UTM		Cota de boca (metros)	Prof. (metros)	Topo Rochoso		
	N	E			RAD/RAM	RAD/RS - C2/C1	
Margem Direita	SM - A	X.754.005	X69.230	276,501	60	-	260
	SM - B	X.754.006	X69.231	286,416	40	263	263
	SR - C	X.754.007	X69.232	270,422	59	259	259
	SM - D	X.754.008	X69.233	272,094	20	266	260
	SM - E	X.754.009	X69.234	270,901	28	253	-
	SM - F	X.754.010	X69.235	273,539	20	265	263
	SM - G	X.754.011	X69.236	310,057	48	-	281
Margem Esquerda	SM - H	X.754.012	X69.237	294,554	19	280	280
	SR - I	X.754.013	X69.238	269,7	56	260	248
	SM - J	X.754.014	X69.239	300,33	27	297	281
	SM - L	X.754.015	X69.240	282,881	28	272	266
	SM - M	X.754.016	X69.241	269,231	43	263	234
	SM - N	X.754.017	X69.242	272,3	23	254	-

Tabela 1 – Sondagens mistas executadas no sítio do barramento.

b. Investigações nas Áreas de Empréstimo

Para a delimitação das áreas de empréstimo, obtenção de amostras e caracterização foram realizadas sondagens a trado nas áreas potenciais de empréstimo. Na Tabela 2 são apresentadas as sondagens executadas, bem como as classificações dos materiais amostrados.

Área de Empréstimo	Sondagem	Coordenadas UTM		Prof.	Descrição do Material
		E	N		
Área I	ST-101	X71047	X752386	5	0 a 5m - areia fina argilosa, vermelha
	ST-102	X71048	X752387	5	0 a 4m - areia fina e argilosa vermelha
	ST-103	X71049	X752388	1,23	0 a 1,23 - areia fina pouco argilosa, cinza clara
	ST-104	X71050	X752389	5	0 a 4m - areia fina argilosa, vermelha
Área II	ST-705	X70651	X752440	0,83	0 a 0,83m - argila siltosa.
	ST-706	X70652	X752441	0,3	Blocos de laterita.
Área III	ST-701	X71467	X753678	3	0 a 5,00m - areia fina siltosa pouco argilosa, avermelhada.
	ST-702	X70605	X753679	5	0 a 5,00m - areia fina siltosa pouco argilosa, avermelhada.
	ST-703	X71783	X753680	5	0 a 5,00m - areia fina siltosa pouco argilosa, avermelhada.
	ST-704	X71995	X753681	4,6	0 a 4,60m - areia fina siltosa pouco argilosa, avermelhada
	PI-701	X70442	X753687	5	0 a 5,00 - - areia fina siltosa pouco argilosa.
Área IV	ST-801	X67935	X753980	5	0 a 5,00 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-802	X67936	X753981	5	0 a 5,00 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-803	X67937	X753982	5	0 a 5,00 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-804	X67938	X753983	5	0 a 5,00 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-805	X67940	X753985	4,4	0 a 4,40 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-806	X67942	X753987	4,4	0 a 4,40 - areia fina siltosa pouco argilosa.
Área V	PI - 801	X67945	X753990	5	0 a 5,00 - areia fina siltosa pouco argilosa, amarela e vermelha.
	ST-901	X68324	X754998	5	0 a 5,00 - areia fina siltosa pouco argilosa, amarela e vermelha.
	ST-902	X68176	X754967	5	0 a 5,00 - areia fina siltosa pouco argilosa, amarela e vermelha.
	ST-903	X68383	X754967	0,3	0 a 0,30 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-904	X68190	X754993	0,3	0 a 0,30 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-905	X68470	X754989	0,25	0 a 0,25 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-906	X68298	X754998	0,5	0 a 0,30 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-907	X68318	X754967	0,7	0 a 0,50 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-908	X68320	X754967	5	0 a 0,50 - areia fina siltosa pouco argilosa.
Área VI	ST-909	X68649	X754976	1,8	0 a 1,80 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-910	X68677	X754956	1,8	0 a 1,80 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	ST-911	X68756	X754949	0,5	0 a 0,50 - areia fina siltosa pouco argilosa.
	PI-114	X68318	X754983	0,8	Blocos médios de arenito em toda a dimensão do poço
	PI-110	X68318	X754969	5	0 a 2,50 - areia fina argilosa, vermelha.

Tabela 2 – Sondagens a trado realizadas nas áreas de empréstimo.

c. Investigações em Jazidas de Areia, Cascalho, Brita e Materiais Rochosos

Para a localização das Jazidas de areia, cascalho, brita e materiais rochosos foram realizados trabalhos de campo para o levantamento dos locais com a presença desses materiais, além do caráter, se comercial ou a serem pesquisados. Na Tabela 3 são apresentadas as jazidas encontradas.

Jazidas	Tipo	Localização	Unidade Geológica / Tipo de Material	Forma de Extração
J01 - Ar	Comercial	Margem direita do rio	Aluvião / Areia fina a média	Dragagem
J02 - Ar	Comercial	Ponte sobre o rio	Aluvião / Areia média	Dragagem
J03 - Ar	Comercial	Margem direita do rio	Aluvião / Areia fina a média	Dragagem
J04 - Ar	À ser pesquisada	Margem direita do rio	Aluvião / Areia fina a média	-
J05 - Br	Pedreira desativada	Margem direita do rio	Arenito silicificado (Fm. Dardanelos) / Britas	-
J06 - Ar/Casc	Comercial	Depósito	Aluvião / Areia média e cascalho	Dragagem
J07 - Ar	Comercial	Depósito	Aluvião / Areia média a grossa	Dragagem
J08 - Br	Pedreira Comercial	Depósito	Granito, Britas e Pedrisco	Desmorte

Tabela 3 – Jazidas de Areia, Cascalho, Brita e Materiais de Construção.

3.3. Levantamentos Ambientais do Meio Físico relacionados ao tema Geologia

Os levantamentos ambientais do meio físico referentes ao tema geologia compreendem os seguintes subtemas: geologia, sismicidade, recursos minerais, hidrogeologia e estanqueidade e estabilidade de encostas. Foram efetuados para a Área de Influência Indireta e para a Área de Influência Direta. No presente trabalho são enfocados aqueles da Área de Influência Direta.

4. Materiais e Métodos

Foram utilizadas a metodologia e fontes materiais cabíveis à um projeto que envolva a avaliação dos condicionantes geológico-geotécnicos na presente Monografia de Trabalho de Formatura. Logo, a principal fonte de interpretação será a aplicação dos materiais e métodos empregados em Geologia de Engenharia.

4.1. Fontes Materiais

As fontes materiais utilizadas foram:

- Referências Bibliográficas;
- Dados de campo coletados para os estudos de viabilidade;
- Textos;
- Mapas;
- Seções Geológico-Geotécnicas.

4.2. Metodologia Utilizada

A metodologia utilizada no atual projeto, somada aos já realizados, tornaram-se referência nos estudos da presente Monografia de Trabalho de Formatura, salvo individualidades e particularidades pertencentes à cada empreendimento.

Destacam-se assim, estudos de viabilidade realizados ou outros que se encontram em desenvolvimento junto à Empresa Themag Engenharia e Gerenciamento, como por exemplo, projetos semelhantes em rios localizados nos estados de Maranhão, Pará e Tocantins.

Nos estudos de viabilidade os trabalhos são divididos naqueles de engenharia e meio ambiente.

4.2.1. Estudos de Engenharia

Os estudos de engenharia concentraram-se no sítio do AHE e nos materiais naturais de construção, sendo empregados métodos específicos e adequados para cada tema estudado.

a. Sítio do Aproveitamento

No sítio do aproveitamento foram empregados os seguintes métodos:

- Levantamentos topográficos e topobatimétricos;
- Mapeamento geológico de superfície a fim de caracterizar e identificar os diferentes litotipos e feições estruturais presentes no local que poderão condicionar o projeto;
- Investigação de subsuperfície com sondagens mistas, a trado e poço de inspeção no sítio do barramento, com o intuito de identificar e caracterizar as unidades geológico-geotécnicas e definir os condicionantes geológico-geotécnicos do maciço. Para a execução das sondagens foram utilizadas as normas estabelecidas no Manual de Sondagem (ABGE, 1999) e critérios específicos estabelecidos no programa de investigações para os estudos;
- Realização de Ensaios de Permeabilidade e Perda d'água nas sondagens. A execução dos ensaios seguiu as normas estabelecidas nos boletins técnicos referentes a Ensaios de Perda d'água (1975) e a Ensaios de Permeabilidade em Solos (1996), ambos publicados pela ABGE e critérios específicos estabelecidos no programa de investigações para os estudos;
- Coleta de amostras para ensaios de laboratório e caracterização das unidades geológico-geotécnicas.
- Classificação das amostras obtidas através das sondagens mistas executadas, utilizando normas estabelecidas pela Themag Engenharia e Gerenciamento para sondagens a percussão (Tabela 4) e sondagens rotativas (Tabela 5).

ENSAIOS SPT		
SOLO	CONSISTÊNCIA OU COMPACIDADE	NÚMERO DE GOLPES/30cm FINAIS
Areias e Siltes Arenosos	Fofa	≤ 4
	Pouco compacta	5 a 8
	Medianamente compacta	9 a 18
	Compacta	19 a 40
	Muito compacta	> 40
Argilas e Siltes Argilosos	Muito mole	≤ 2
	Mole	3 a 5
	Média	6 a 10
	Rija	11 a 19
	Dura	> 19
Critérios de impenetrável na sondagem a percussão, com base nos ensaios SPT		
1) Primeiros 15 cm – Relação 5 golpes/1cm, com um mínimo de 20 golpes.		
2) Segundos 15 cm – Relação 2 golpes/1cm, com um mínimo de 30 golpes.		
3) 30cm finais - >= 50 golpes/30cm.		

Tabela 4 – Normas de classificação de sondagens a percussão (Themag Engenharia e Gerenciamento).

ALTERAÇÃO				
A1 RS	Rocha Sã	Sã ou praticamente sã. Alteração mineralógica nula ou incipiente. Cor original intacta. Escavável a fogo, perfuração com rotativa.		
A2 RAD	Rocha Dura Alterada	Alteração mineralógica perceptível. Cores esmaecidas e pequenas transformações físico-químicas. Escavável a fogo, perfuração com rotativa.		
A3 RAM	Rocha Mole Alterada	Alteração mineralógica acentuada. Cores parcialmente modificadas e intensas transformações físico-químicas. Escavável a picareta ou escarificador, perfuração com trépano e lavagem.		
A4 SA	Solo de Alteração	Alteração mineralógica praticamente completa. Cores totalmente modificadas e transformações físico-químicas completas, exceto nos minerais resistentes. Escavável a enxadão, perfuração a percussão.		
COERÊNCIA				
C1	Coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo formando poucos fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente ou apenas levemente riscada por lâmina de aço. Características mecânicas elevadas.		
C2	Medianamente Coerente	Quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo em vários fragmentos com bordas que podem ser quebradas pela pressão dos dedos. A lâmina de aço provoca um sulco pouco acentuado na superfície do fragmento. Características mecânicas boas.		
C3	Pouco Coerente	Quebra facilmente ao golpe do martelo, produzindo muitos fragmentos que podem ser partidos manualmente. A lâmina de aço produz sulcos profundos na superfície do fragmento. Características mecânicas baixas.		
C4	Incoerente	Esfarela ao golpe do martelo e desagrega sob a pressão dos dedos. Pode ser cortado por lâminas de aço. Friável. Características mecânicas muito baixas.		
FRATURAMENTO				
DENOMINAÇÃO		NÚMERO DE FRATURAS POR METRO		
F1	Muito pouco fraturada	0 a 1		
F2	Pouco fraturada	2 a 5		
F3	Medianamente fraturada	6 a 10		
F4	Muito fraturada	11 a 20		
F5	Extremamente fraturada	em fragmentos		
ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES				
H	Horizontal	Descontinuidades horizontais		
SH	Sub-Horizontal	Com mergulho de 0° a 20°		
I	Inclinada	Com mergulho de 20° a 70°		
SV	Sub-Vertical	Com mergulho de 70° a 90°		
TIPOS DE SUPERFÍCIE E PREENCHIMENTO DAS DESCONTINUIDADES				
COM CONTATO ROCHA x ROCHA			SEM CONTATO ROCHA x ROCHA	
R1	Rugosa	Superfícies irregulares, os testemunhos se encaixam	PO	Descontinuidades com suspeita de preenchimento (os testemunhos não se encaixam)
R2	Estriada	Superfície com estrias, o deslizamento é mais fácil em uma direção	P1 (5)	Granular Descontinuidades preenchidas por material granular incoerente (indicada espessura em mm)
R3	Plana	Superfícies planas, o deslizamento é fácil em qualquer direção	P2 (5)	Misto Descontinuidades preenchidas por material granular e argiloso (indicada espessura em mm)
R4	Sedosa	Superfícies sedosas ou "taicosas" ao tato	P3(5)	Argiloso Descontinuidades preenchidas por material argiloso (indicada espessura em mm)
			Pox – película oxidada	
			Pa – paredes alteradas	
ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD)				
PORCENTAGEM		QUALIDADE DA ROCHA		
100 – 91		Excelente		
90 – 76		Boa		
75 – 51		Regular		
50 – 26		Pobre		
25 – 0		Muito Pobre		

Tabela 5 – Normas de classificação de sondagens rotativas (Themag Engenharia e Gerenciamento).

b. Materiais Naturais de Construção

Áreas adjacentes ao eixo foram investigadas e caracterizadas como fonte de materiais naturais de construção. Esses materiais naturais incluem jazidas de areia, cascalho e brita e áreas de empréstimo de solo. As jazidas foram individualizadas conforme o caráter comercial ou a ser pesquisada, enquanto que as áreas de empréstimo foram identificadas, delimitadas, dimensionadas (cálculo de área e volume) e caracterizadas através da coleta de amostras e execução de ensaios de laboratório, utilizando sondagem a trado. Para tanto, uma malha foi definida, indicando os pontos onde foram executadas as sondagens.

4.2.2 Estudos Ambientais do Meio Físico referentes ao Tema Geologia

Para a realização dos trabalhos foram efetuados levantamentos de dados geológicos referentes às áreas de influência direta e indireta, contidos em mapa na escala 1:250.000, projetos do Radam-Brasil, Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo e Mapa de Recursos Minerais de trabalhos realizados pela a CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais). Foram utilizados dados da SEPLAN (Secretaria de Estado do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Mato Grosso) referentes ao Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado do Mato Grosso.

Para os estudos e mapeamentos geológicos foram utilizadas bases cartográficas, fotos aéreas e imagens de satélite, além dos levantamentos de campo referentes aos temas Geologia, Recursos Minerais, Estanqueidade e Estabilidade de Encostas e Hidrogeologia.

a. Geologia

Os trabalhos relacionados à geologia consistiram em levantamentos bibliográficos preliminares e coleta de dados através de trabalhos de campo, com o intuito de identificar os litotipos e as características estruturais da região.

A partir disso foram elaborados o Mapa Geológico na escala 1:100.000 e o Mapa Geológico do Local do Aproveitamento Hidrelétrico na escala 1:25.000, seguindo normas estabelecidas pelo Manual de Viabilidade da Eletrobrás (1997).

b. Sismicidade

Os estudos de sismicidade consistiram em levantamentos bibliográficos e na obtenção de eventos sísmicos para a área de interesse junto ao Observatório Sismológico da Universidade de Brasília.

c. Recursos Minerais

Os recursos minerais disponíveis na área foram identificados a partir de consultas bibliográficas e através de levantamentos de dados através da realização de trabalhos de

campo. Foi elaborado um Mapa de Jazidas de Areia e Pedreiras na escala 1:100.000. Os direitos minerários em vigor foram obtidos no site do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), disponível em (<http://dnpm.gov.br>).

d. Hidrogeologia

A hidrogeologia da região foi levantada a partir de consultas bibliográficas, consultas ao SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas, disponível em <http://siagas.cprm.gov.br>) do CPRM e da realização de trabalhos de campo para coleta de dados de níveis d'água medidos e estimados referentes a enchentes ocorridas na região (a partir de entrevistas com os moradores).

e. Estanqueidade e Estabilidade de Encostas

Os estudos de estanqueidade e de estabilidade de encostas consistiram no levantamento de dados relativos à existência de cavidades naturais, feições estruturais condicionantes e na identificação dos processos erosivos ocorridos nas margens do rio e dentro dos limites da área de influência direta, através de mapeamentos efetuados a partir de trabalhos de campo. Foram realizadas também consultas bibliográficas referentes ao tema.

5. Desenvolvimento do Trabalho

O trabalho foi desenvolvido juntamente com um projeto que se encontra em execução, e sendo assim foi realizado mediante o andamento das etapas constituintes do empreendimento, estando sujeito à alterações no cronograma. O cronograma completo dos trabalhos realizados é apresentado na Tabela 6.

ATIVIDADES	MESES DO ANO											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA												
ELABORAÇÃO DO PROJETO INICIAL												
COLETA E INTERPRETAÇÃO DE DADOS												
DISCUSSÃO PRELIMINAR DE RESULTADOS												
ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DE PROGRESSO												
DISCUSSÃO FINAL DOS RESULTADOS												
MONOGRAFIA												
ELABORAÇÃO DA APRESENTAÇÃO												
APRESENTAÇÃO PÚBLICA												
DEFESA DE MONOGRAFIA												

Tabela 6 – Cronograma completo das atividades realizadas.

Os trabalhos começaram em janeiro com o levantamento e revisão bibliográfica sobre o assunto, enquanto no final de fevereiro/início de março foi elaborado o Projeto Inicial.

Os meses de maio e junho foram reservados à coleta de dados, com posterior interpretação preliminar no mês de julho e início de agosto, sendo a elaboração de um Relatório de Progresso realizada ao final dessas atividades. Houve também a retomada do levantamento bibliográfico em meados de julho até o fim de agosto. Nesse período os resultados apresentados foram preliminares.

No intervalo compreendido entre o mês de setembro até final de outubro, foram realizadas a discussão e interpretação final dos resultados.

As atividades finais que envolveram a conclusão do projeto estiveram concentradas em estudos mais aprofundados dos dados obtidos após a realização dos trabalhos de campo, além da elaboração de seções geológicas, perfis de sondagens, seções geológico-geotécnicas, textos e mapas.

No início de novembro a Monografia de Trabalho de Formatura foi finalizada e apresentada publicamente e defendida no começo do mês de dezembro de 2008.

6. Resultados

Os resultados obtidos referem-se à compartimentação tectônica e geologia da área de influência, aos condicionantes geológico-geotécnicos do sítio do barramento, materiais naturais de construção, estudos de alternativas do aproveitamento contemplando estudos dos eixos e estudos de arranjo do aproveitamento. Os condicionantes geológico-ambientais não serão apresentados, pois o diagnóstico ainda não está concluído.

6.1. Compartimentação Tectônica e Geologia da Área de Influência

6.1.1. Compartimentação Tectônica

Na região do aproveitamento hidrelétrico em estudo foram identificadas duas grandes províncias geotectônicas: Cráton Amazonas, estabilizado durante o Evento Pré-Brasiliano e representado por coberturas sedimentares Mesoproterozóicas e bacias sedimentares Fanerozóicas (idade < 540 Ma) (Lacerda Filho *et. al.*, 2004).

As coberturas sedimentares Mesoproterozóicas do Cráton Amazonas são representadas pelo domínio tectono-estratigráfico **Bacia Dardanelos (BAD)**, formada por sedimentos do Grupo Caiabis. O desenvolvimento dessa bacia ocorreu por meio de uma reativação tectônica de feições estruturais antigas, geradas em domínios de rúptil-dúctil à rúptil de direção E-W e NNW-SSE. As discontinuidades são caracterizadas por um sistema de falhas transcorrentes com movimento preferencialmente sinistral que atuaram de modo

sincronizado e conjugado, gerando áreas transtracionais tipo *pull-apart* ou *strike-slip basin*, que evoluíram, progressivamente, para bacias do tipo romboédricas (Souza *et. al.*, 2004, *apud* Lacerda Filho *et. al.*, 2004).

Já as coberturas Fanerozóicas que ocorrem em grande parte do Estado do Mato Grosso são representadas, na área de interesse, pelos domínios tectono-estratigráficos **Bacia dos Parecis (BPR)**, de idade Páleo-Mesozóica e **Bacia do Alto Xingu (BAX)** de idade Cenozóica e que representa o último registro litoestratigráfico.

Essas bacias são classificadas como intracratônicas, e geralmente, são superpostas a riftes do tipo *rift-sag*. Apresentam contorno oval ou arredondado, seção em forma de pires e preenchimento sedimentar de origem continental ou marinha (Lacerda Filho *et. al.*, 2004). Os domínios tectono-estratigráficos do Estado do Mato Grosso, e a delimitação aproximada da área dos estudos estão apresentados na Figura 4.

6.1.2. Geologia

A seguir serão descritas as Bacias Sedimentares e as Unidades Litoestratigráficas identificadas dentro dos limites da área de influência direta do aproveitamento.

a. Bacia Dardanelos

Trata-se de uma bacia Mesoproterozóica de forma alongada, constituindo um sinclínório com direção geral aproximada NNW-SEE e com áreas isoladas a oeste do rio Tapajós, representadas pelas rochas sedimentares do Grupo Caiabis (Formação Dardanelos e máficas da Formação Arinos). A idade máxima da sedimentação dessa bacia é de 1,3 Ga (Leite e Saes, 2003).

b. Bacia dos Parecis

A Bacia dos Parecis apresenta idade Páleo-Mesozóica e recobre uma área de 500.000km² nos estados de Rondônia e Mato Grosso, acumulando mais de 6000m de sedimentos essencialmente siliciclásticos Paleozóicos, Mesozóicos e Cenozóicos.

Localiza-se nas regiões Centro Oeste e Amazônica, entre as bacias do Solimões, Alto Tapajós e Paraná. Tectonicamente ocupa o sudoeste do Cráton Amazonas, entre os cinturões de cisalhamento Rondônia e Guaporé. Os limites sudeste e nordeste da bacia são os Arcos do Xingu e Rio Guaporé respectivamente.

Apresenta-se dividida, de oeste para leste, em três compartimentos geológicos ou domínios tectono-sedimentares: a oeste uma depressão tectônica (sub-bacia de Rondônia), na porção central um baixo gravimétrico (sub-bacia Juruena) e no extremo leste a bacia interior do Alto Xingu (Bahia *et. al.*, 2007).

DOMÍNIOS TECTONO-ESTRATIGRÁFICOS



DELIMITAÇÃO APROXIMADA DA ÁREA DE INFLUÊNCIA

CONVENÇÕES

ESTRUTURAIS

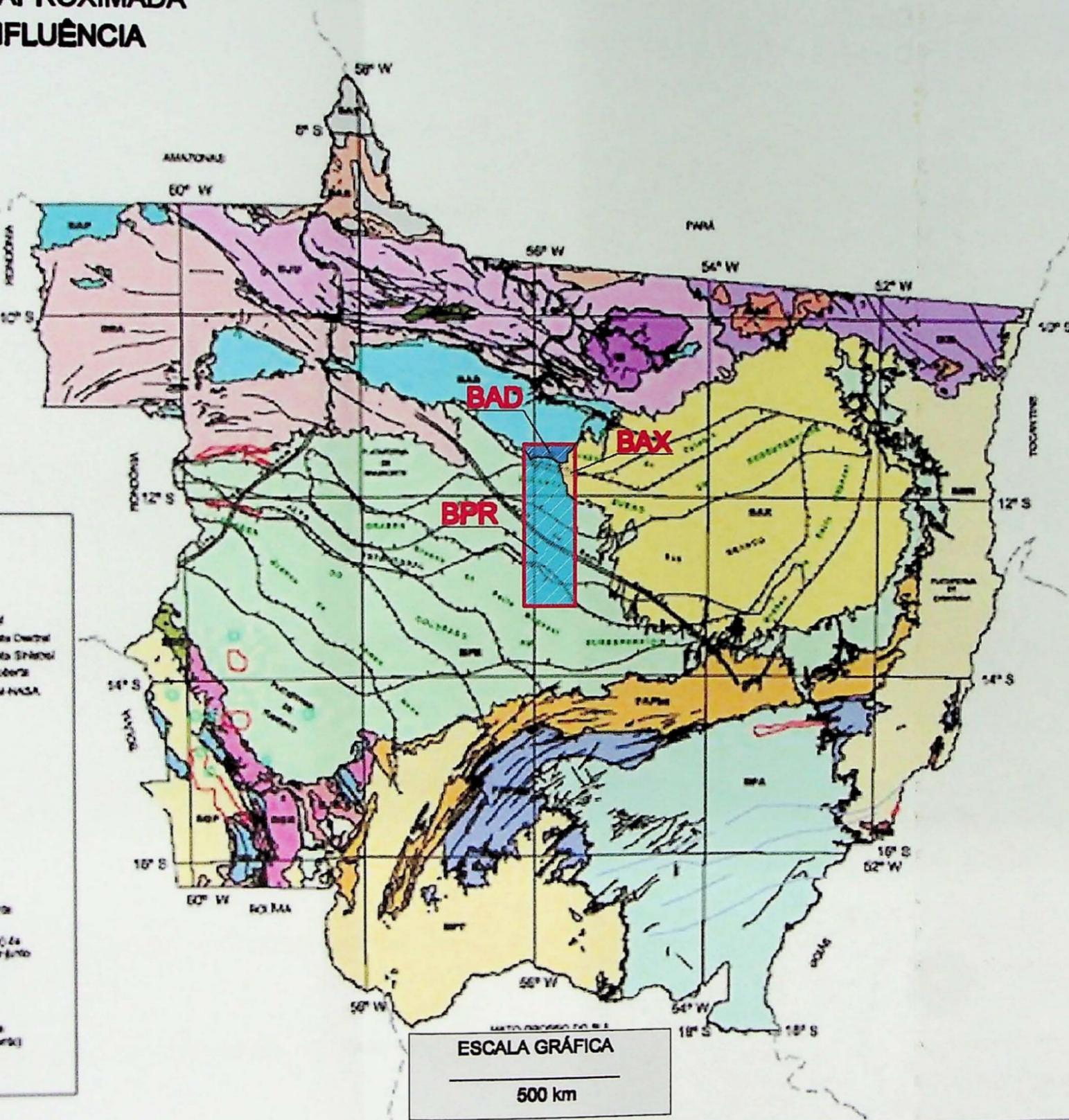
- Contorno
- Falhas/Zone de Cisalhamento
- Falhas/Zone de Cisalhamento Controrotacional
- Falhas/Zone de Cisalhamento Transcorrente Direita
- Falhas/Zone de Cisalhamento Transcorrente Sinistral
- Falha Extensional, tracejada quando incoerente
- Lineamentos em Imagem de Radar SRTM-NAASA
- Lineamentos Estruturais
- Arco
- Alc. estrutural
- Graben Paleozóico
- Graben Proterozóico

Geofísicas

- Anomalia aeromagnética (resíduo) de forte relevo e profunda
- Anomalia aeromagnética (raiz 1ª derivada) de forte relevo, relacionada a um corpo ou conjunto de corpos

Limites entre Domínios Tectonoestratigráficos

- Limites com Aparentura Estrutural (Zonas de Cisalhamento, Frontes de Convergência)
- Limites inferidos e/ou aproximados



ENTIDADES TECTÔNICAS

BACIAS SEDIMENTARES FANEROZÓICAS

BACIAS CENOZÓICAS

- BBR: Bacia do Bonari
- BPT: Bacia do Pantanal
- BQP: Bacia Quaporé
- BAE: Bacia Alto Xingu

BACIAS PALEO-MESOZÓICAS

- BAT: Bacia Alto Tapajós (Cretáceo)
- BPA: Bacia dos Parecis
- BPA: Bacia do Paraná

PROVÍNCIA TOCANTINS (1000-500 Ma)

ORÓGENOS BRASILEANOS

Faixa Alto Paraguai (550-500 Ma)

- FAPM: Bacia do Antepálio (Arco e carbonato dominantes)
- FAPM: Margem Placeta (Associação CFC e Turbiditos)
- FAPM: Fm. de Corumbá de Crusta Condrita

Faixa Brasileira (550-330 Ma)

- AMB: Domínio Arco Magnético de Guaiá (500-575 Ma)

CRÁTON AMAZONAS

BACIAS SEDIMENTARES PROTEROZÓICAS

INTRACRATÔNICAS E/OU DE ANTEPAÍS

MESOZOOPROTEROZÓICA

- BAF: Bacia Fátima

MESOPROTEROZÓICA

- BAJ: Bacia Jordaneira

PALEOPROTEROZÓICA

- BAQ: Bacia Beneditina
- BAQ: Bacia Coratã

PROVÍNCIA SUNSÁS (1450-900 Ma)

DOMÍNIO ORÓGENO COLISIONAL (ORÓGENO SUNSÁS)

- BAA: Bacia Fátima Aguiari (1100-900 Ma)
- FCO: Faixa Coratã (1370-1200 Ma)
- OSB: Domínio Santa Helena (1400-1380 Ma)

PROVÍNCIA RONDÔNIA-JURUENA (1850-1720 Ma)

ORÓGENO PALEOPROTEROZÓICO

SISTEMAS DE ARÇOS MAGMÁTICO E BACIAS VULCANOSSEDIMENTARES RELACIONADAS

- DRA: Domínio Roosevelt-Angaitã (1780-1740 Ma)
- SUR: Domínio Juruá (1795-1724 Ma)
- LUJ: Domínio Juruena (1890-1730 Ma)

INFLUÊNCIA EMBASAMENTO

- MB: Infer. Melpô (1894-1872 Ma)
- MB: Infer. Baccari-Magno (2200 Ma)

PROVÍNCIA AMAZÔNIA CENTRAL (2020-1870 Ma)

- OX: Domínio Alto Xingu (2020-1870 Ma)

Figura 4 – Domínios Tectono-estratigráficos do Estado de Mato Grosso (Adaptado de Lacerda Filho et. al., 2004).

c. Bacia do Alto Xingu

Sobre o domínio mais oriental da Bacia dos Parecis está a Bacia do Alto Xingu. Os sedimentos Cenozóicos constituem-se de conglomerado, areia e silte, denominados de Formação Ronuro (Lacerda Filho *et. al.*, 2004).

d. Unidades Litoestratigráficas

O AHE encontra-se regionalmente inserido numa área onde se observam as seguintes rochas sedimentares:

- No extremo norte e noroeste da área são encontradas rochas areníticas da Formação Dardanelos - Grupo Caiabis – Bacia Dardanelos (Mesoproterozóico);
- Na porção central predominam sedimentos da Formação Salto das Nuvens - Grupo Parecis – Bacia dos Parecis (Mesozóico);
- Na porção nordeste ocorre sedimentos Cenozóicos da Formação Ronuro – Bacia do Alto Xingu (Terciário);
- Na porção central, também se observam as coberturas detrito-lateríticas ferruginosas recobrando extensivamente a Formação Salto das Nuvens;
- Nas calhas e margens dos rios observam-se os depósitos aluvionares Holocênicos.

d.1. Grupo Caiabis

O Grupo Caiabis (Silva, 1980 *apud* Leite e Saes, 2003), é representado morfologicamente pela Serra dos Caiabis e pela Chapada Dardanelos. Está condicionado ao Gráben do Caiabis a sul do Gráben do Cachimbo e é constituído pelas formações Arinos e Dardanelos. A Formação Arinos é composta por basaltos alcalinos e cálcio-alcalinos intercalados à arcóseos da Formação Dardanelos (esta última de interesse aos estudos). Datações através do método K/Ar indicaram idades entre 1,4 e 1,2 Ga - Mesoproterozóico (Montalvão *et. al.*, 1984, *apud* Leite e Saes, 2003).

d.1.1. Formação Dardanelos

A Formação Dardanelos (Almeida e Nogueira Filho, 1959 *apud* Leite e Saes, 2003) apresenta idade Mesoproterozóica e foi definida no Rio Aripuanã, nas cachoeiras de Dardanelos e Andorinhas. É composta por arenitos feldspáticos e arcóseos, conglomerados polimíticos e grauvacas vulcânicas, derivados de uma sedimentação continental (Bezerra, 1984 *apud* Leite e Saes, 2003).

d.2. Grupo Parecis

O Grupo Parecis é composto por conglomerados e arenitos depositados em ambiente fluvial e eólico, representando um estágio deposicional de idade cretácica na Bacia dos Parecis (Bahia *et. al.*, 2007).

d.2.1. Formação Salto das Nuvens

A Formação Salto das Nuvens apresenta-se aflorante principalmente nas bacias dos rios Juruena, Arinos e Teles Pires. Litologicamente ocorrem em sua porção inferior conglomerados petromíticos associados a arenitos, arcóseos, siltitos e argilitos. Da porção média até o topo verifica-se a existência de bancos espessos de arenitos quartzosos. As rochas apresentam idade Cretácica Média a Superior, com uma espessura que varia em torno de 50 a 100 metros. A deposição sedimentar se deu em ambientes de leque aluvial e canal aluvial, com contribuição eólica. As cores das rochas do pacote sedimentar são marrom, vermelha, rosa e creme.

Esta unidade ocorre em toda a área compreendida pela AID do AHE recoberta por sedimentos Terciários da Formação Ronuro e coberturas Quaternárias sedimentares indiferenciadas.

d.3. Bacia do Alto Xingu

Sobre o domínio mais oriental da Bacia dos Parecis está a Bacia do Alto Xingu. Os sedimentos cenozóicos constituem-se de conglomerado, areia e silte. (Lacerda Filho *et. al.*, 2004).

d.3.1. Formação Ronuro

A Formação Ronuro, pertencente à Bacia do Alto Xingu, está posicionada estratigraficamente sobreposta a Bacia dos Parecis, sendo compostos por sedimentos pouco consolidados – cascalhos, areias, siltes, argilas e lateritas - de idade Neógena. Estima-se que sua espessura esteja em torno de 150 metros.

e. Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas

Os sedimentos detrito-lateríticos ocorrem em extensa área aplainada, com interflúvios tabulares e associados a pequenas elevações dominadas pelo horizonte concrecionário do perfil laterítico. As superfícies aplainadas são constituídas predominantemente por solos argilo-arenosos de tonalidade avermelhada, ricos em concreções ferruginosas, além de níveis de argilas coloridas e areias inconsolidadas. A idade dessas coberturas é Pleistocênica.

f. Depósitos Aluvionares

Constituem depósitos de idade Holocênica caracterizados por sedimentos inconsolidados, predominantemente arenosos, representados por areias com níveis de cascalhos e lentes de material silto-argiloso.

Ocorrem associados às calhas dos cursos d'água de maior porte, encaixados tanto no embasamento cristalino como nos depósitos terciários, compreendendo basicamente sedimentos aluviais.

6.2. Condicionantes Geológico-Geotécnicas do Sítio do Barramento

Os condicionantes geológico-geotécnicos foram considerados nos estudos do sítio do aproveitamento para fins de escolha do eixo, estudos de arranjo e seleção do arranjo geral durante as atividades de estudos de alternativas do aproveitamento e definição do arranjo geral quando dos estudos finais.

Para os estudos foram elaborados o mapa geológico apresentado no Anexo 1, os perfis individuais das sondagens, as seções geológico-geotécnicas e os mapas de contorno estrutural do topo rochoso apresentados no Anexo 2. Esses estudos foram baseados no mapeamento geológico e estrutural, nas sondagens mistas e sondagens a trado executadas e nos mapas topográfico e topobatimétrico da região do eixo.

6.2.1. Geologia do Sítio

O sítio do empreendimento apresenta arenitos com ou sem intercalações de argilitos, da Formação Dardanelos. Ocorrem em afloramentos sob a forma de lajes e lajedos nas cotas mais altas (em espigões e nas ombreiras da barragem) e como blocos de dimensão métrica nas margens e no leito do rio.

Os arenitos apresentam acentuada silicificação, estrutura maciça, granulação fina e coloração cinza-esbranquiçado, cinza-amarelo, amarelo-avermelhado e rosa. Os argilitos apresentam coloração escura e apresentam-se intercalados.

Estratigraficamente representam o topo da Bacia Dardanelos, e ocorrem sobrepostos por solos "in situ" (Solos Residuais) e solos transportados (Colúvio e Tálus) nas cotas intermediárias e por sedimentações quaternárias (Aluviões) nas cotas mais baixas.

Quanto às estruturas e discontinuidades presentes, o acamamento apresenta direção preferencial NW-SE com fraturas subhorizontais e subverticais concordantes e discordantes.

6.2.2. Caracterização das unidades geológico-geotécnicas

A caracterização das unidades geológico-geotécnicas foi feita a partir da classificação das amostras obtidas através das sondagens mistas e das sondagens a trado executadas.

As unidades identificadas foram: aluvião, tálus, solos de alteração (SA) e rocha alterada mole (RAM) de arenito e de argilito, além de intercalações dessas litologias e arenitos e argilitos da Formação Dardanelos.

a. Aluvião

Os aluviões são compostos predominantemente por areia fina e areia fina a média, cinza amarelada. Por vezes apresenta-se com blocos de arenito alterado duro /são (RAD/RS) e coerência C2/C1.

b. Tálus

Encontrados principalmente nas encostas próximas e no próprio eixo, é constituído predominantemente por areia fina siltosa pouco argilosa, vermelha amarelada, geralmente com nódulos de laterita e com blocos de rocha de arenito.

c. Solos de Alteração (SA – C4) e Rocha Alterada Mole (RAM – C3)

c.1. SA/RAM de arenito

Constituído predominantemente por areia fina siltosa e areia fina siltosa pouco argilosa, com cores variando de cinza-amarelada, cinza-rosada, marrom-avermelhada e marrom-acinzentada. Pode apresentar pequenas intercalações com fragmentos de arenito alterado mole (RAM – C3) ou arenito alterado duro (RAD – C2).

c.2. SA/RAM de argilito

Constituído predominantemente por argila siltosa ou silto-arenosa, com cores variando de vermelha, preta, amarela e rósea e cinza-amarelada. Pode apresentar pequenas intercalações com fragmentos de argilito alterado mole (RAM – C3) ou argilito alterado duro (RAD – C2).

c.3. SA/RAM de intercalações de arenito/argilito

A espessura das intercalações variam de milimétricas a decimétricas, com predominância de arenito. Geralmente, as intercalações de argilito estão associadas às menores coerências (C4 e C3), apresentando-se com solo de alteração ou solo de alteração / rocha alterada mole (SA/RAM – C4/C3), constituído predominantemente por argila siltosa, vermelha, preta, amarela e rósea e cinza-amarelada. As intercalações areníticas apresentam-se como solo de alteração / rocha alterada mole (SA/RAM – C4/C3), constituído predominantemente por areia fina/média siltosa pouco argilosa, cinza-amarelada, cinza-rosada, marrom-avermelhada e marrom-acinzentada, mas geralmente ocorrem também fragmentos de arenito alterado mole (RAM – C3) ou arenito alterado duro (RAD-C2), maciço.

c.4. SA/RAM de intercalações de argilito/arenito

As espessuras das intercalações variam de milimétricas a decimétricas, com predominância de argilito. Geralmente, as intercalações de argilito estão associadas às menores coerências (C4 e C3), apresentando-se como solo de alteração (SA) ou solo de alteração / rocha alterada mole (SA/RAM – C4/C3), constituído predominantemente por argila siltosa, vermelha, preta, amarela e rósea e cinza-amarelada. As intercalações areníticas apresentam-se como solo de alteração / rocha alterada mole (SA/RAM – C4/C3), constituído predominantemente por areia fina/média siltosa pouco argilosa, cinza-amarelada, cinza-rosada, marrom-avermelhada e marrom-acinzentada, mas geralmente ocorrem também fragmentos de arenito alterado mole (RAM – C3) ou arenito alterado duro (RAD – C2), maciço.

d. Arenitos e Argilitos – Formação Dardanelos

d.1. Arenito maciço ou com estratificação incipiente

Apresenta granulação fina e localmente fina – média, muitas vezes fortemente silicificado, com cores variando entre cinza-esbranquiçado / avermelhado / amarelado / esverdeado, marrom acinzentado e róseo. Geralmente apresentam coerências C2/C3 – RAD/RAM ou C2/C1 – RAD/RS. Apresenta também as coerências RAM – C3 ou RAM/SA – C3/C4.

d.2. Arenito estratificado

Apresenta intercalações de arenito de granulação média-grossa, com arenito de granulação fina. No arenito médio-grosso, geralmente pode-se observar cristais possivelmente de feldspatos com tamanhos da ordem de 0,3 a 0,5 cm, e o arenito fino, muitas vezes, apresenta matriz argilosa. As cores das intercalações variam entre cinza claro e cinza escuro, cinza esbranquiçado e róseo, cinza esbranquiçado e marrom avermelhado. Apresenta coerências C2/C3 – RAD/RAM e C2/C1 – RAD/RS.

d.3. Arenito com estratificações rítmicas

Apresenta granulação fina, com espessura dos estratos variando de milimétrica a centimétrica. Apresentam lâminas de argilito desde submilimétricas até em faixas de 2 a 3 cm. Frequentemente ocorrem deslocamentos ao longo da estratificação, expondo superfícies lisas e sedosas ao tato. Os estratos apresentam cores cinza claro e cinza escuro e cinza esbranquiçado e vermelho. As coerências desse arenito são C2 – RAD e C2/C1 – RAD/RS.

d.4. Arenito com matriz argilosa

Arenito predominantemente maciço, às vezes estratificado, de granulação fina, com cores variando de cinza-escuro a preto e marrom-avermelhado a vermelho. Podem apresentar também lâminas submilimétricas a milimétricas e/ou faixas centimétricas de argilito. Geralmente apresenta coerência C2/C3 – RAD/RAM. Apresenta também as coerências RAM – C3 e RAM/SA – C3/C4.

d.5. Argilito espelhado

Apresenta estrutura laminada submilimétrica, superfícies sedosas ao tato e/ou estriadas e cores variando de vermelho, cinza-esverdeado, cinza-escuro e preto. Apresenta coerência C2/C3 – RAD/RAM. Este é uma das unidades de menor resistência ao cisalhamento, representando importante condicionante para a estabilidade das estruturas.

d.6. Argilito estratificado

Apresenta a espessura dos estratos de milimétrica a centimétrica, com pequenas e raras intercalações de arenito. Apresentam cores variando entre cinza-escuro, preto, amarelo e cinza-esverdeado, vermelho e cinza-esverdeado. Geralmente apresenta coerências C2/C3 – RAD/RAM.

6.2.3. Aspectos Estruturais

A partir de dados estruturais obtidos na região do eixo do aproveitamento, foram confeccionados estereogramas polares relativos às medidas de atitude do acamamento (Figura 5) e às medidas de fraturas subverticais e subhorizontais (Figura 6). O intuito é determinar os aspectos estruturais da região do eixo. Foram coletadas 22 medidas de acamamento e 32 medidas de fraturas. As medidas foram coletadas utilizando a bússola do tipo Brunton e os estereogramas (igual área e hemisfério de baixo) confeccionados a partir do software Stereonet.

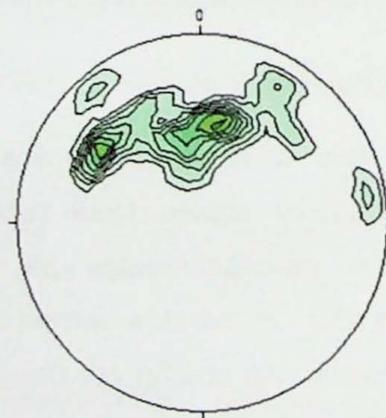


Figura 5 – Estereograma das atitudes de acamamento.

A partir do estereograma das atitudes de acamamento são feitas as seguintes considerações:

- Existem duas direções de acamamento principais: uma NWW-SEE e outra NE-SW;
- O mergulho de ambas é de médio a alto.

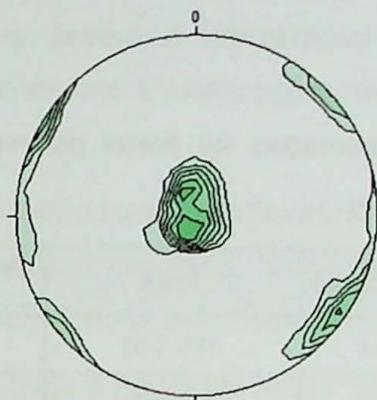


Figura 6 – Estereograma das medidas de fraturas.

A partir do estereograma das medidas de fraturas subverticais e subhorizontais são feitas as seguintes considerações:

- As fraturas subverticais apresentam duas direções preferenciais: a principal é NE-SW e a outra NW-SE;
- As fraturas subhorizontais apresentam direção principal NEE-SWW.

6.3. Materiais Naturais de Construção

Os materiais encontrados e que servirão como fontes de materiais naturais de construção são divididos em solos para empréstimo de aterros e areia, cascalho e rocha para uso em filtros, drenos da barragem, enrocamento das obras de terra e para agregados de concreto.

6.3.1. Solos para empréstimo

Foram identificadas em campo 6 Áreas de Empréstimo no sítio do aproveitamento, sendo 3 na margem direita e 3 na margem esquerda. Os critérios para a delimitação basearam-se na classificação das amostras, na cubagem e ensaios de laboratório (esses últimos em andamento), que permitiram a determinação dos locais onde existe material aproveitável para as obras.

O material aproveitável e que será utilizado nos aterros compactados é caracterizado predominantemente por areia fina siltosa, areia fina siltosa pouco argilosa, areia fina argilosa, areia fina pouco argilosa, argila arenosa (areia fina a média) e fragmentos de laterita. Apesar de se tratar de área de arenito, os coluviões e os solos eluviais presentes na

região permitiram delimitar áreas com características apropriadas para emprego em aterros compactados, o que está sendo investigado em mais detalhe com ensaios de laboratório em andamento.

Segue abaixo a identificação dessas áreas com a indicação da área em metros quadrados (m²), do volume médio em metros cúbicos (m³) e do intervalo médio que contém material aproveitável em metros (m):

a. Margem Direita

Na Tabela 7 são apresentadas as áreas delimitadas na margem direita, além do resumo das informações.

Área de Empréstimo	Origem Geológica	Área	Intervalo com material aproveitável	Volume
Área I	Solo Eluvial	190.000	0 a 5,00	950.000
Área II	Colúvio	85.000	0 a 4,75	404.000
Área III	Solo Eluvial	790.000	0 a 4,45	3.515.000

Tabela 7 – Áreas de empréstimo da margem direita

b. Margem Esquerda

Na Tabela 8 são apresentadas as áreas delimitadas na margem esquerda, além do resumo das informações.

Área de Empréstimo	Origem Geológica	Área	Intervalo com material aproveitável	Volume
Área IV	Solo Eluvial	375.000	0 a 4,13	1.550.000
Área V	Solo Eluvial	200.000	não definido	não calculado
Área VI	Colúvio	82.000	não definido	não calculado

Tabela 8 – Áreas de empréstimo da margem esquerda

A localização das Áreas está no Mapa das Áreas de Empréstimo, Anexo 3.

6.3.2. Areia, Cascalho e Rocha

A análise do contexto geológico do AHE mostra um potencial mineral relacionado aos depósitos Quaternários de areia e cascalho situados no entorno dos municípios próximos e que terão aplicação direta na construção civil. Os sedimentos do Grupo Parecis também apresentam potencial para esses materiais.

Os depósitos de areia e cascalho ocorrem em aluviões nas ilhas, nas margens e ao longo das drenagens do rio a ser barrado e alguns tributários, além de locais de extração de areia através de draga no leito do rio.

Foram identificadas empresas especializadas na extração de areia e cascalho próximos ao eixo da barragem e em municípios vizinhos. Quanto à brita e a rocha, foram localizadas pedreiras em atividade e pedreiras inativas que podem servir como fonte de abastecimento para as obras além do arenito proveniente das escavações obrigatórias e de pedreiras a serem abertas junto ao barramento.

Quanto à abertura de pedreiras junto ao eixo do barramento, o arenito silicificado apresenta-se como uma alternativa, porém a intercalação com arenitos rítmicos e com argilitos podem ser aspectos desfavoráveis à exploração, restando nesse caso o descarte desses materiais.

A Formação Ronuro e as coberturas detrito-lateríticas representam fontes para lateritas, enquanto os arenitos da Formação Dardanelos, principalmente aqueles silicificados, podem apresentar características favoráveis à instalação de pedreiras.

A localização das jazidas de areia e pedreiras estão apresentadas no Anexo 4.

6.4. Estudos de Alternativas do Aproveitamento

As atividades que compõem os **estudos de alternativas do aproveitamento** são aqueles necessários à escolha do eixo e do arranjo geral, mediante estudos que utilizam os dados obtidos na etapa **estudos básicos**.

6.4.1. Estudos dos Eixos

Os estudos que envolveram a escolha do eixo do aproveitamento consideraram os resultados dos levantamentos topográficos, batimétricos, geomorfológicos e geológicos, tanto para as ombreiras como para a região do leito do rio.

Foi considerada a necessidade de ombreiras com cotas topográficas igual ou maiores que a cota 300 m, que é a cota do nível d'água do reservatório. Nessas condições um único local foi identificado para o eixo do aproveitamento indicado na Figura 7. Assim os estudos de escolha de eixo se restringem a um único local e ajustes nesse eixo foram sendo feitos à medida que se desenvolveram os estudos de alternativas de arranjo.

Na região do eixo há predominância de arenito da Formação Dardanelos alterado duro / são (RAD/RS – C2/C1), muitas vezes aflorante e/ou com cobertura de solo de alteração (SA) ou colúvio/tálus (CO/TT), de maneira geral pouco espesso, com estrutura maciça, silicificado, granulação fina e cores variando de cinza-esbranquiçado, cinza-amarelo, amarelo avermelhado e róseo. Apresenta intercalações pelíticas constituídas por argilito. Essas intercalações estão associadas normalmente ao relevo de cotas mais baixas e recobertas por colúvio (CO) e/ou colúvio/tálus (CO/TT). Junto as margens do rio ocorre Aluvião constituído predominantemente por areia fina e areia fina/média, cinza amarelada, ocorrendo também aluvião com blocos de rocha de arenito.

Quanto à morfologia, a região do barramento é caracterizada pela existência de uma grande elevação, na forma de uma crista alongada que corta transversalmente o rio, orientada predominantemente segundo a direção NW. Esta estrutura mostra-se como um ressalto na topografia do local, pois tanto para jusante quanto para montante do eixo, as vertentes são de baixa declividade, tendendo a aplainadas muitas vezes, e o vale é muito aberto.

Uma seção junto ao eixo do barramento e transversal ao rio apresenta uma pequena assimetria entre as margens, podendo ser caracterizada da seguinte forma:

- A ombreira direita parte de um terreno com declividade muito baixa, estendendo-se de 100 a 300 metros, onde abruptamente inicia-se uma encosta com declividade alta até o topo das cristas, onde o terreno é representado por superfícies estreitas e aplainadas que se estendem para Sudeste.
- Já a ombreira esquerda começa a partir de uma estreita faixa de terreno aplainado, passando abruptamente para uma vertente com declividade alta até o topo das cristas onde as superfícies estreitas tornam-se aplainadas que se estendem para Noroeste.



Figura 7 – Local do Eixo da Barragem (Adaptado do software Google Earth).

O eixo estudado localiza-se em trecho com fortes corredeiras a jusante de uma cachoeira. No local previsto para implantação do eixo da barragem, o leito do rio apresenta-se rochoso, com pequenos depósitos de areia próximos às margens. Litologicamente ocorre

arenito silicificado que aflora sob a forma de rochedos formados por blocos angulosos que estão "in situ", como ilhas cobertas por material sedimentar aluvionar e travessões transversais ao rio que apresentam direções EW, NW e NE. Nas margens, ocorrem também blocos angulosos a pouco arredondados. Nas vertentes, próximo as margens, afloram blocos angulosos que se destacam como pequenas elevações na topografia, que geralmente dão continuidade aos travessões observados no leito do rio. A partir da batimetria do leito do rio observam-se irregularidades acentuadas no leito do rio (mapas e seções do Anexo 2).

6.5. Estudos de Arranjo do Aproveitamento

Até o presente momento o arranjo final não foi selecionado, e estão em andamento os estudos de viabilidade de arranjo, conforme os condicionantes topobatimétricos, geológico-geotécnicos do sítio do aproveitamento e dos materiais naturais de construção.

Dentre as alternativas estudadas, são ilustradas três nas figuras 8, 9 e 10.

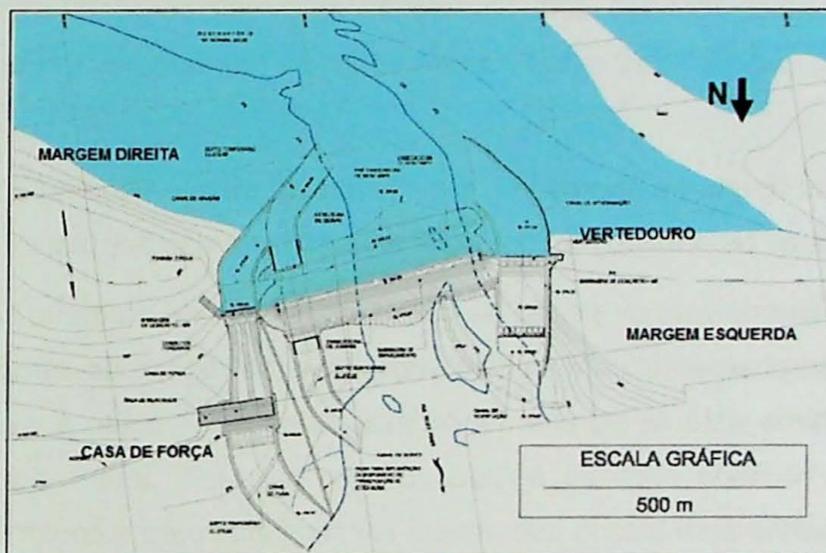


Figura 8 – Estudo de arranjo preliminar.

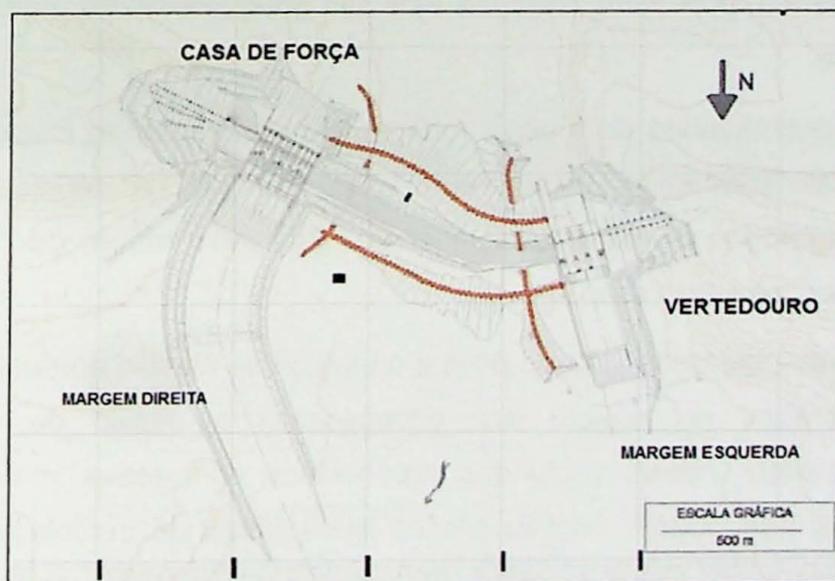


Figura 9 – Alternativa 1 de arranjo.

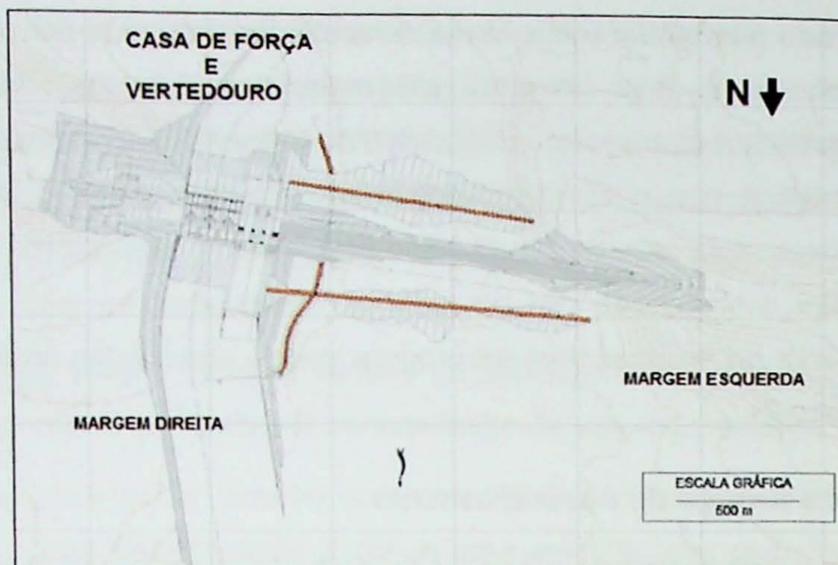


Figura 10 – Alternativa 2 de arranjo.

Nesses estudos de alternativas é considerada a superfície do topo rochoso apresentada no mapa de contorno do topo rochoso RAD/RS-C2/C1, que corresponde à superfície do maciço rochoso com características geológico-geotécnicas e geomecânicas adequadas para o apoio das estruturas de concreto (vertedouro, tomada d'água, casa de força e muros).

A margem direita se apresentou mais favorável quanto às condições de topo rochoso e de características de maciço rochoso para a construção das estruturas de concreto.

Para as alternativas de seção de barragem no leito do rio estão sendo contempladas barragem de enrocamento com núcleo argiloso e barragem de concreto rolado (CCR), sendo que a última está se apresentando mais adequada devido à existência de grandes irregularidades no topo rochoso ao leito do rio, as quais devem estar preenchidas por aluvião e por aluvião com blocos que deverá ser removido para a construção do barramento.

Para as ombreiras com solos espessos está sendo contemplada seção de barragem de terra homogênea, pois solos residuais rijos são adequados para fundações de barragem com essa seção.

As discontinuidades do maciço rochoso caracterizadas no mapeamento geológico-geotécnico e as sondagens estão sendo contempladas na definição dos taludes de escavação obrigatórios e nos tratamentos de fundação a serem adotados (atitudes das discontinuidades *versus* taludes).

As irregularidades do leito do rio e a presença de aluvião arenoso com blocos estão sendo considerados no projeto das ensecadeiras e desvio do rio, principalmente procurando-se evitar canais profundos preenchidos com esses materiais de elevadas permeabilidades que podem originar efeitos indesejáveis de percolação pelas fundações das ensecadeiras e até *piping* (segundo Dobereiner e Vaz (1998), trata-se de uma erosão

tubular regressiva ou entubamento causada por percolação de água pelo interior do maciço com carga hidráulica elevada que aflora à superfície sob pressão).

As espessuras de solo muito elevadas (aluviões, coluviões e solos residuais) leva à redução dos volumes de escavação obrigatória de rocha que será necessária para emprego em enrocamento e concreto. Assim poderá ser necessária a abertura de pedreira no local.

A presença de arenito silicificado favorece a abertura dessa pedreira, entretanto aspectos desfavoráveis são os arenitos estratificados e os argilitos que podem ocorrer intercalados e que deverão ser descartados.

Assim todos os aspectos geológico-geotécnicos estão sendo considerados nos estudos de alternativas quanto ao posicionamento das estruturas de concreto e das obras de terra, estudos de seção de barragem, cotas de fundação das estruturas de concreto e das barragens, escavações a serem efetuadas e seus volumes, características dos materiais a serem escavados e possibilidade de aproveitamento ou não e tratamentos necessários tanto das escavações quanto das fundações.

A consideração das características geológico-geotécnicas nos estudos de alternativa permite a adoção das melhores soluções técnicas e também cálculo de quantitativos e de custos com muita segurança e próximos aos valores reais.

A comparação dos aspectos técnicos e de custos permitirá a escolha de alternativa de arranjo com melhor fundação e materiais naturais.

7. Conclusões

Os resultados obtidos através da avaliação dos condicionantes geológico-geotécnicos do sítio do aproveitamento mostraram-se compatíveis para a construção no eixo estudado, pois as condições geológico-geotécnicas e a quantidade de materiais naturais de construção avaliados mostraram-se compatíveis com os pré-requisitos impostos por uma obra desse porte.

Alguns aspectos desfavoráveis foram observados:

- Solos espessos a serem escavados diminuindo as escavações obrigatórias em rocha, o que poderá resultar na necessidade de abertura de pedreiras.
- Solos espessos geram grandes volumes de escavação e como muitos desses solos não apresentam características adequadas para uso como material natural de construção deverão ser dispostos em bota-foras.

- O arenito da Formação Dardanelos apresentou-se com uma grande variedade de tipos litológicos e muitas intercalações de argilito, o que caracteriza uma fundação bastante heterogênea e cujo comportamento está fortemente controlado pelos contatos entre esses tipos litológicos e também pelas demais descontinuidades caracterizadas no levantamento estrutural.

Assim na próxima etapa do projeto as investigações deverão contemplar esses aspectos, aumentando-se significativamente o número de sondagens, intensificando-se a execução de sondagens inclinadas com orientação de testemunhos.

Ensaio sobre amostras dessas rochas estão em andamento para fins de caracterização como fundação e como material natural de construção, contemplando lâminas petrográficas, índices físicos, resistência a compressão simples, reatividade álcali-agregado e abrasão Los Angeles.

Os condicionantes geológico-ambientais representam alta relevância, sendo de fundamental importância um diagnóstico minucioso, pois os impactos por ventura causados implicam diretamente na economia e no meio ambiente da região abrangida pela Área de Influência Direta.

Como apreciação final, os trabalhos que envolvem a avaliação dos condicionantes geológico-geotécnicos de um aproveitamento hidrelétrico se não executados de forma adequada e minuciosa podem não refletir com exatidão os impactos e os benefícios causados pela implantação de uma barragem hidrelétrica.

8. Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Águas Subterrâneas. Disponível em <http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/projetos_aguasSubterr2.asp>. Acesso em 11 de set. 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Energia Hidráulica*. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Resenha Energética Brasileira*. 1ª edição. Brasília: ANEEL, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA: banco de dados. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em 09 ago. 2008.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L. *Previsão e Análise da elevação do nível do lençol freático na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) de reservatórios hidrelétricos*. 2002. 1V. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL: banco de dados. Disponível em <<http://www.abge.com.br>>. Acesso em 10 out. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Ensaio de Permeabilidade em Solos - Orientações para sua execução no campo*, BOLETIM nº 04, 1996. 35p. (3ª edição).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Ensaio de Perda d'Água sob Pressão: Diretrizes*, BOLETIM nº 02, 1975. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Manual de Sondagem, Antigo Boletim nº 3 – Revisado*, 1999. 73p. (4ª edição).

AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. Águas Subterrâneas. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 8.

BAHIA, RUI B. C.; MARTINS-NETO, MARCELO A.; BARBOSA, MARIA S. C.; PEDREIRA, AUGUSTO JOSÉ. Análise da Evolução Tectonossedimentar da Bacia dos Parecis através de métodos potenciais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 4, p. 639-649, 2007. Disponível em <<http://www.sbgeo.org.br>>. Acesso em 25 de jul. 2008.

BAHIA, RUI B. C.; MARTINS-NETO, MARCELO A.; BARBOSA, MARIA S. C.; PEDREIRA, AUGUSTO JOSÉ. Revisão Estratigráfica da Bacia dos Parecis - Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 36, n. 4, p. 692-703, 2006. Disponível em <<http://www.sbgeo.org.br>>. Acesso em 25 de jul. 2008.

BARTORELLI, A.; HARALYI, N. Geologia do Brasil. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 4.

CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS / INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE. Termo de Referência. Brasília: CECAV/ ICMBIO, 2007. 6p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Carta de Previsão de Recursos Minerais – Folha Altamira – escala 1:250.000. Disponível em: <ftp://ftp.cprm.gov.br/pub/pdf/altamira/altamira_mprecmin.pdf>. Acesso em 29 de jul. 2008.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/RechidSub.pdf>>. Acesso em 29 de jul. 2008.

CRUZ, PAULO TEXEIRA DA; BEZERRA, DECIO M. Critérios de Projeto. In: CRUZ, PAULO TEIXEIRA DA. *100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção e Projeto*. São Paulo: Oficina de Textos, 1996. 519-542. (Capítulo 15, 3ª parte).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL: banco de dados. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em 30 de jul. 2008.

DOBEREINER, L.; VAZ, L. F.. Tratamentos de Maciços Naturais. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 22.

ELETROBRÁS: Manuais e Diretrizes da Eletrobrás. Disponível em <<http://www.eletronbras.gov.br/ELB/data/Pages/LUMIS4AB3DA57PTBRNN.htm>>. Acesso em 09 de set. 2008.

FORTES, R. M.; PASTORE, E. L. Caracterização e Classificação de Solos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 12.

FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, A. B.. Materiais Rochosos para Construção. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 20.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Termo de Referência. Brasília: IBAMA, 2007. 45p.

ITAIPU BINACIONAL: banco de dados. Disponível em <<http://www.itaipu.gov.br>>. Acesso em: 10 de abr. 2008.

IYOMASA, W. S.; SILVA, R. F.; SOUZA, L. A. P. Métodos de Investigação. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 11.

LACERDA FILHO, J.V.; FILHO, W. ABREU; VALENTE, C.R.; OLIVEIRA, C.C. DE; ALBUQUERQUE, M.C. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. Goiânia: Convênio Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Secretaria de Indústria, Comércio, Minas e Energia do Mato Grosso, 2004. 200 p.

LEITE, J. A. D. & SAES, G. S. Geocronologia Pb/ Pb de zircões detríticos e análise estratigráfica das coberturas sedimentares Proterozóicas do Sudoeste do Cráton Amazônico. *Revista do Instituto de Geociências da USP - Série Científica*, v.3, n. 1, p.113-127, 2003. Disponível em <<http://geologiausp.igc.usp.br/geologiausp/sc1/art.php?artigo=625>>. Acesso em 24 de jul. 2008.

MARQUES FILHO, P. L.; GERALDO, A.. Barragens e Reservatórios. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 24.

MIOTO, J.A. *Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil*. 1993. 2v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

MONTICELLI, J. J. *Influências da compartimentação geológico-geotécnica de maciços rochosos no projeto de fundações de barragens - fase de viabilidade*. 1984. 1V. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

NOGUEIRA JUNIOR, J.; MARQUES, A. S. Linhas de Transmissão e Dutovias. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 30.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. Diagnóstico Hidrogeológico do Estado do Mato Grosso. Disponível em <<http://www.sema.mt.gov.br/PERH/cgh/Hidrogeologia.pdf>>. Acesso em 28 de jul. 2008.

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DE MATO GROSSO. banco de dados. Disponível em <<http://www.seplan.gov.br>>. Acesso em: 10 de set. 2008.

SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L. M. Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998. Capítulo 13.

THEMAG ENGENHARIA E GERENCIAMENTO. *Apêndice B - Estudos Geológico-Geotécnicos*. Themag, 2005.

THEMAG ENGENHARIA E GERENCIAMENTO. Banco de dados. Disponível em <<http://www.themag.com.br>>. Acesso em 15 de out. 2008.

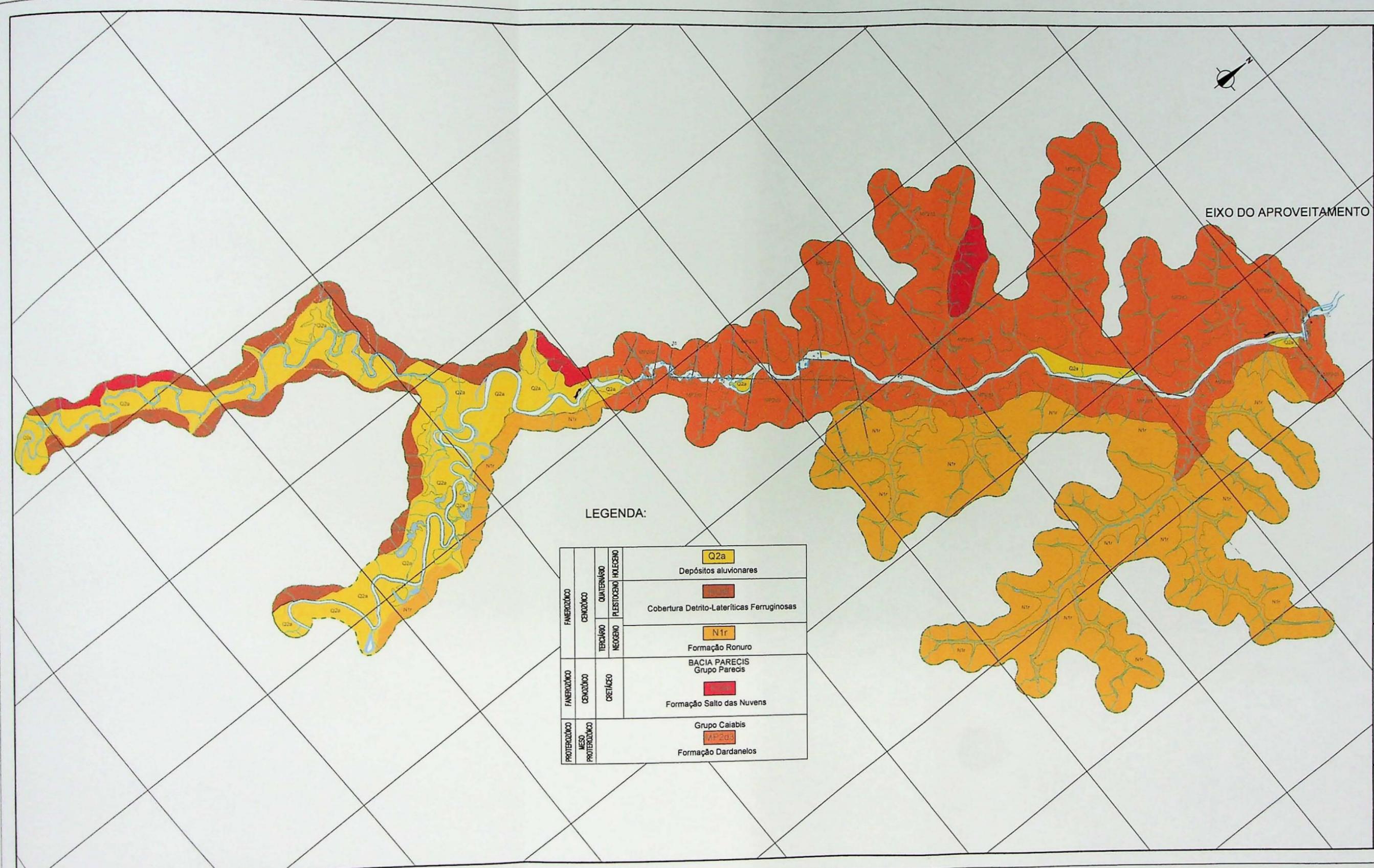
THEMAG ENGENHARIA E GERENCIAMENTO. *Classificação de Sondagens*. São Paulo Themag Engenharia e Gerenciamento, 8p.

TOGNON, A. A. *Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia*. 1ª Edição São Paulo: ABGE, 1985 139p.

9. Anexos

Os anexos referem-se a ilustrações obtidas de mapas produzidos para a interpretação dos condicionantes geológico-geotécnicos estudados no projeto.

Anexo 1 – Mapa Geológico



EIXO DO APROVEITAMENTO

LEGENDA:

FANEROZÓICO	CENOCENO	QUATERNÁRIO	Q2a	Depósitos aluvionares
		PLEISTOCENO HOLOCENO		Cobertura Detrito-Lateríticas Ferruginosas
FANEROZÓICO	CENOCENO	TERCIÁRIO	N1r	Formação Ronuro
		NEOGENO		BACIA PARECIS Grupo Parecis
FANEROZÓICO	CENOCENO	CRETÁCIO		Formação Salto das Nuvens
				Grupo Caiabis
PROTEROZÓICO	MESO PROTEROZÓICO		MP2d3	Formação Dardanelos



LEGENDA:

- - - - - ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (AID)
- - - - - EIXO
- RESERVATÓRIO
- LAGOASIAÇUDES
- ALAGADO
- RIOS
- Falha definida
- - - Falha indefinida
- - - Falha encoberta
- z Mergulho do acamamento
- Mergulho de falha ou fratura

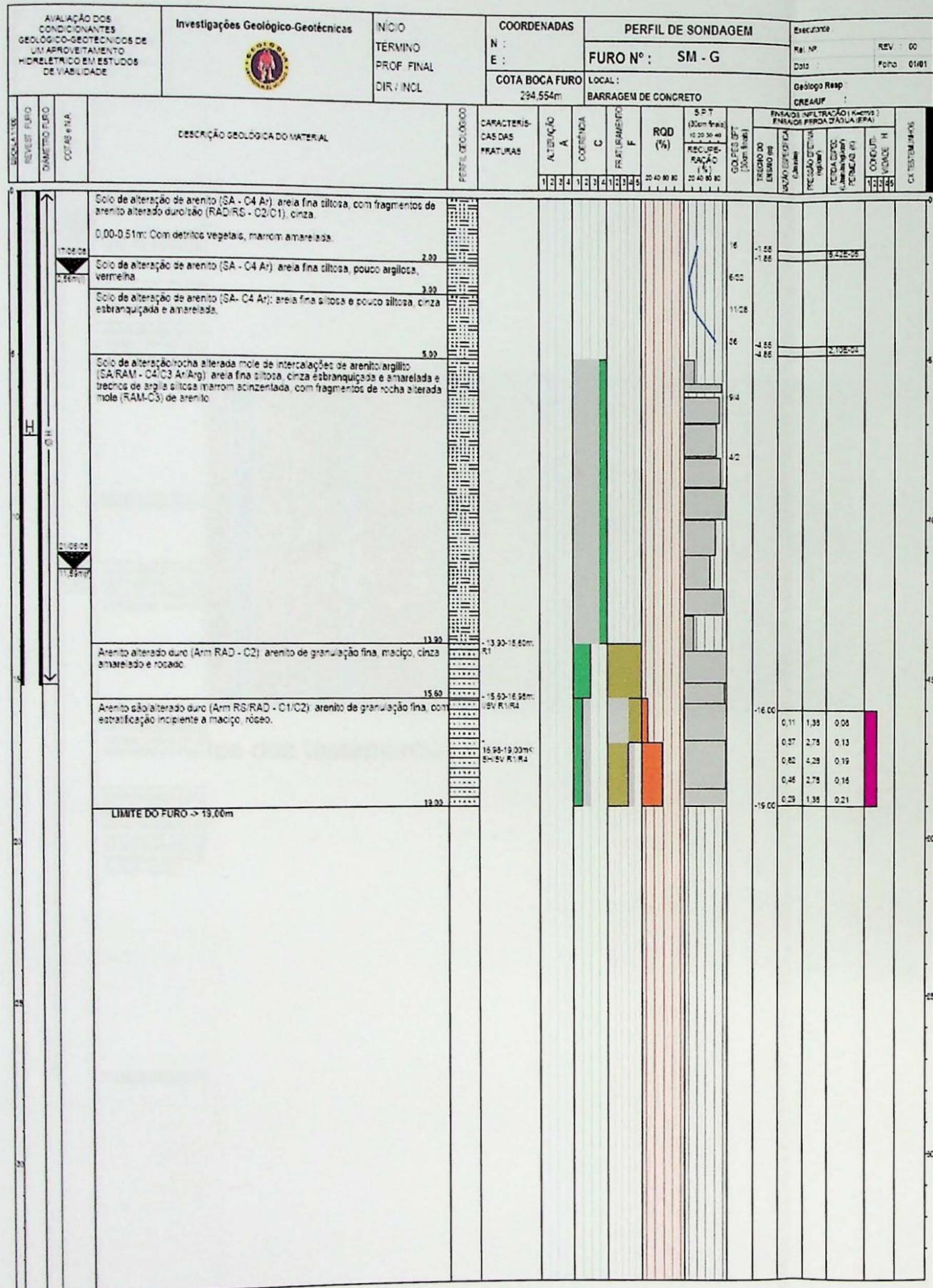
ESCALA GRÁFICA
1:100.000
0 1km 2km 3km



AVALIAÇÃO
DOS CONDICIONANTES
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
DE UM APROVEITAMENTO
HIDRELÉTRICO
EM ESTUDOS DE VIABILIDADE

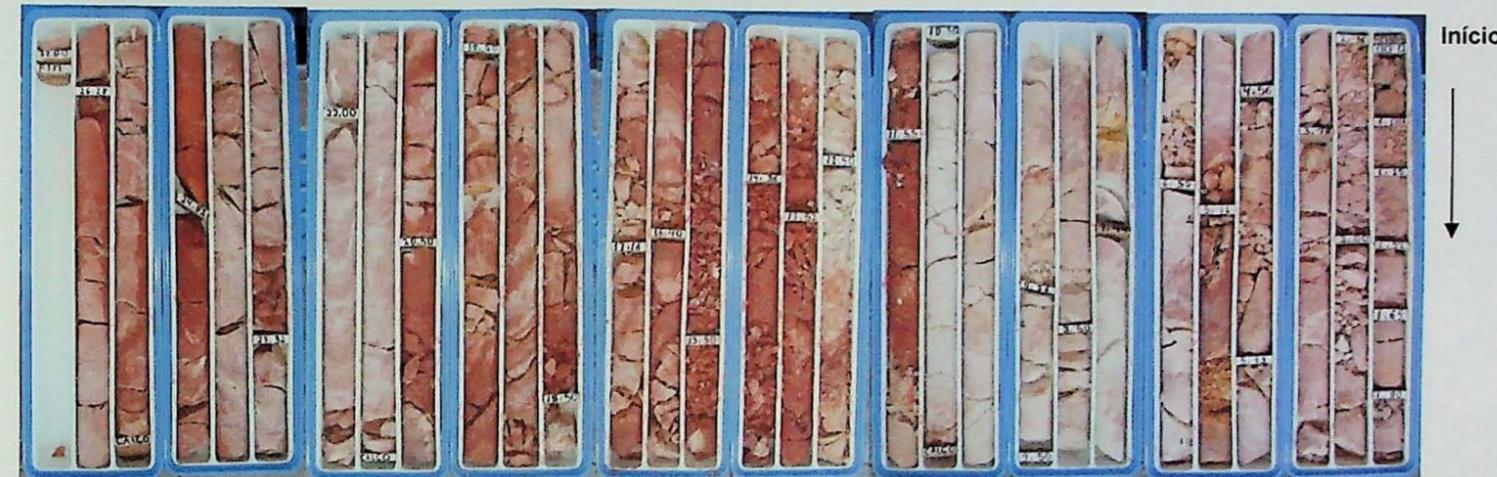
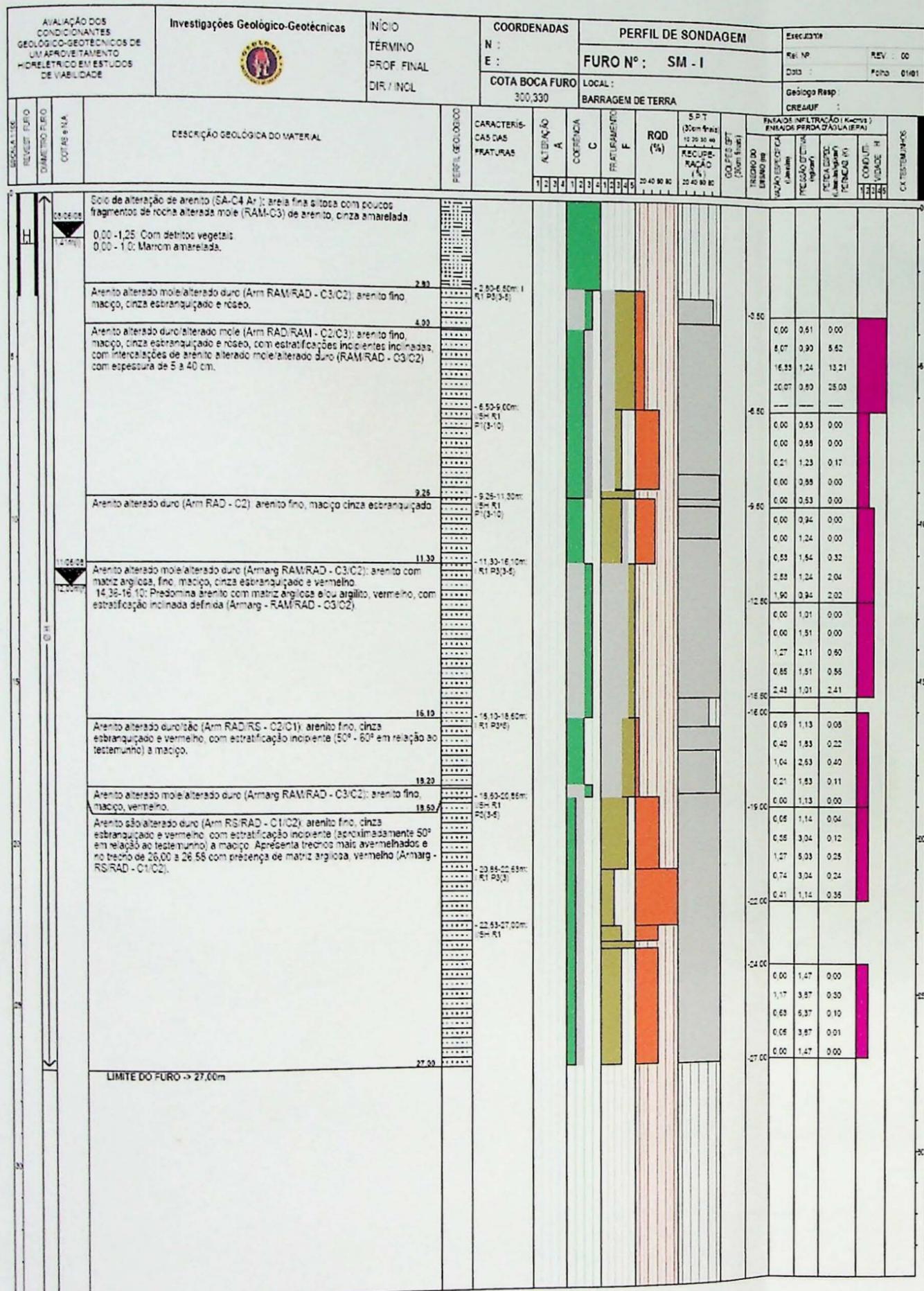
MAPA GEOLÓGICO

**Anexo 2 – Perfis individuais de Sondagens, Seções Geológico-Geotécnicas e Mapas
de Contorno Estrutural do topo Rochoso**

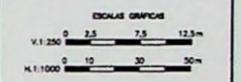
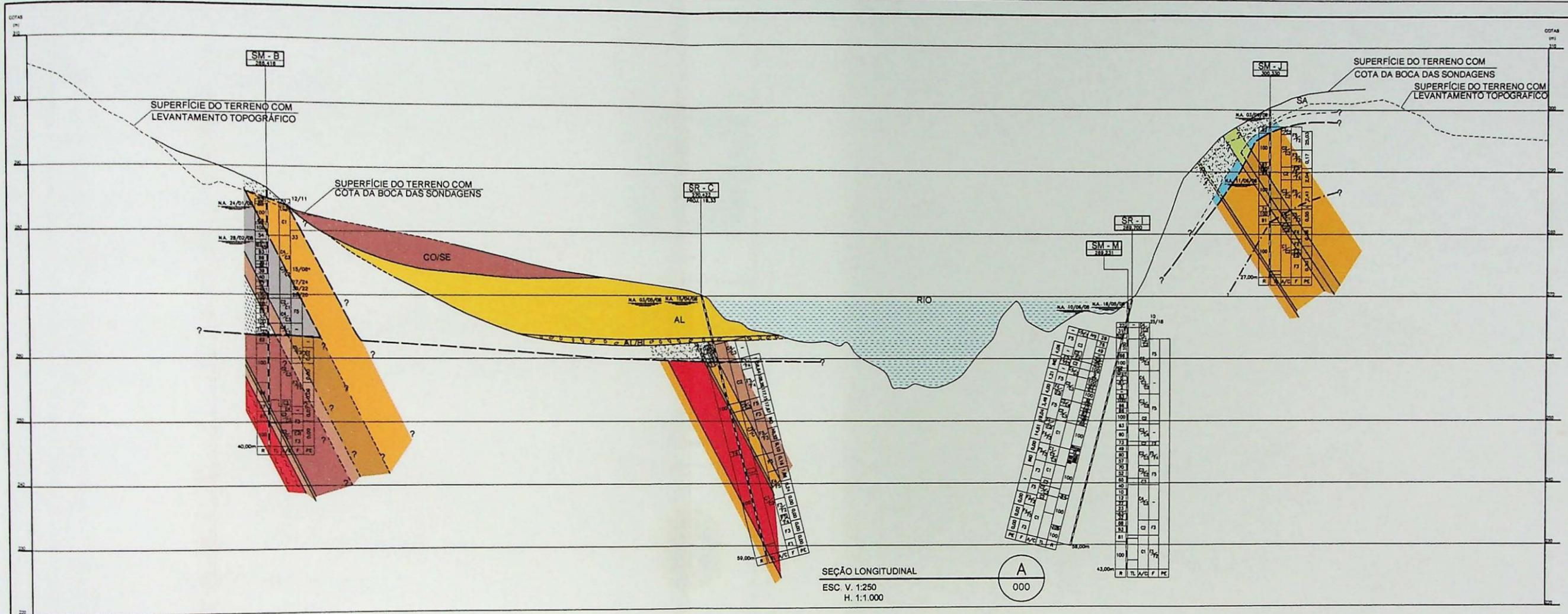


Fotos dos testemunhos da SM - G

Perfil Individual da Sondagem Mista SM - G

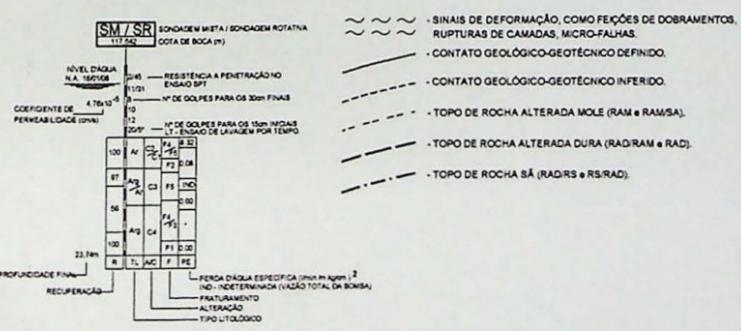


Fotos dos testemunhos da SM - I



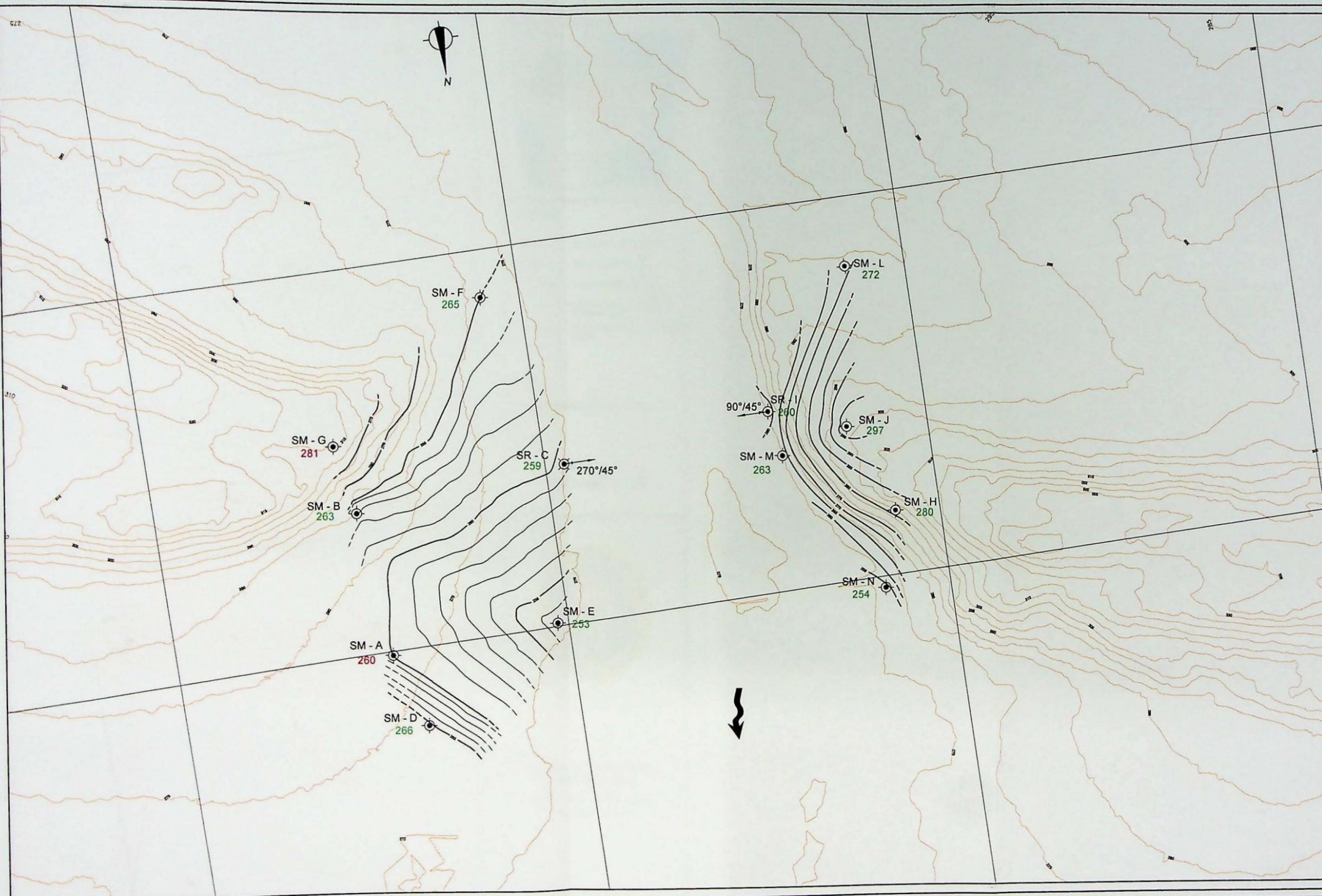
- LEGENDA:**
- SOLOS TRANSPORTADOS**
- COLÚVIO (CO) OU COLÚVIO/TÁLUS (CO/TT)
 - COLÚVIO/SOLO ELUVIAL (CO/SE) OU SOLO ELUVIAL/COLÚVIO (SE/CO)
 - ALUVIÃO (AL)
 - ALUVIÃO COM BLOCOS (AL/BL)
- SOLOS IN SITU**
- SOLO DE ALTERAÇÃO (SA) OU SOLO DE ALTERAÇÃO/ROCHA ALTERADA MOLE (SA/RAM) DE ARENITO
 - SOLO DE ALTERAÇÃO (SA) OU SOLO DE ALTERAÇÃO/ROCHA ALTERADA MOLE (SA/RAM) DE ARGILITO
 - SOLO DE ALTERAÇÃO (SA) OU SOLO DE ALTERAÇÃO/ROCHA ALTERADA MOLE (SA/RAM) DE INTERCALAÇÕES DE ARENITO/ARGILITO
 - SOLO DE ALTERAÇÃO (SA) OU SOLO DE ALTERAÇÃO/ROCHA ALTERADA MOLE (SA/RAM) DE INTERCALAÇÕES DE ARGILITO/ARENITO

- MACIÇO ROCHOSO**
- FORMAÇÃO DARDANELOS**
- ARENITO MACIÇO OU COM ESTRATIFICAÇÃO INICIANTE
 - ARENITO ESTRATIFICADO
 - ARENITO COM ESTRATIFICAÇÕES RÍTMICAS
 - ARENITO COM MATRIZ ARGILOSA
 - ARGILITO ESPELHADO
 - ARGILITO ESTRATIFICADO
 - INTERCALAÇÕES DE ARENITO E ARGILITO
 - INTERCALAÇÕES DE ARGILITO E ARENITO



AValiação DOS CONDICIONANTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DE UM APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO EM ESTUDOS DE VIABILIDADE

SEÇÃO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA A



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

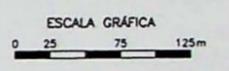


LEGENDA:

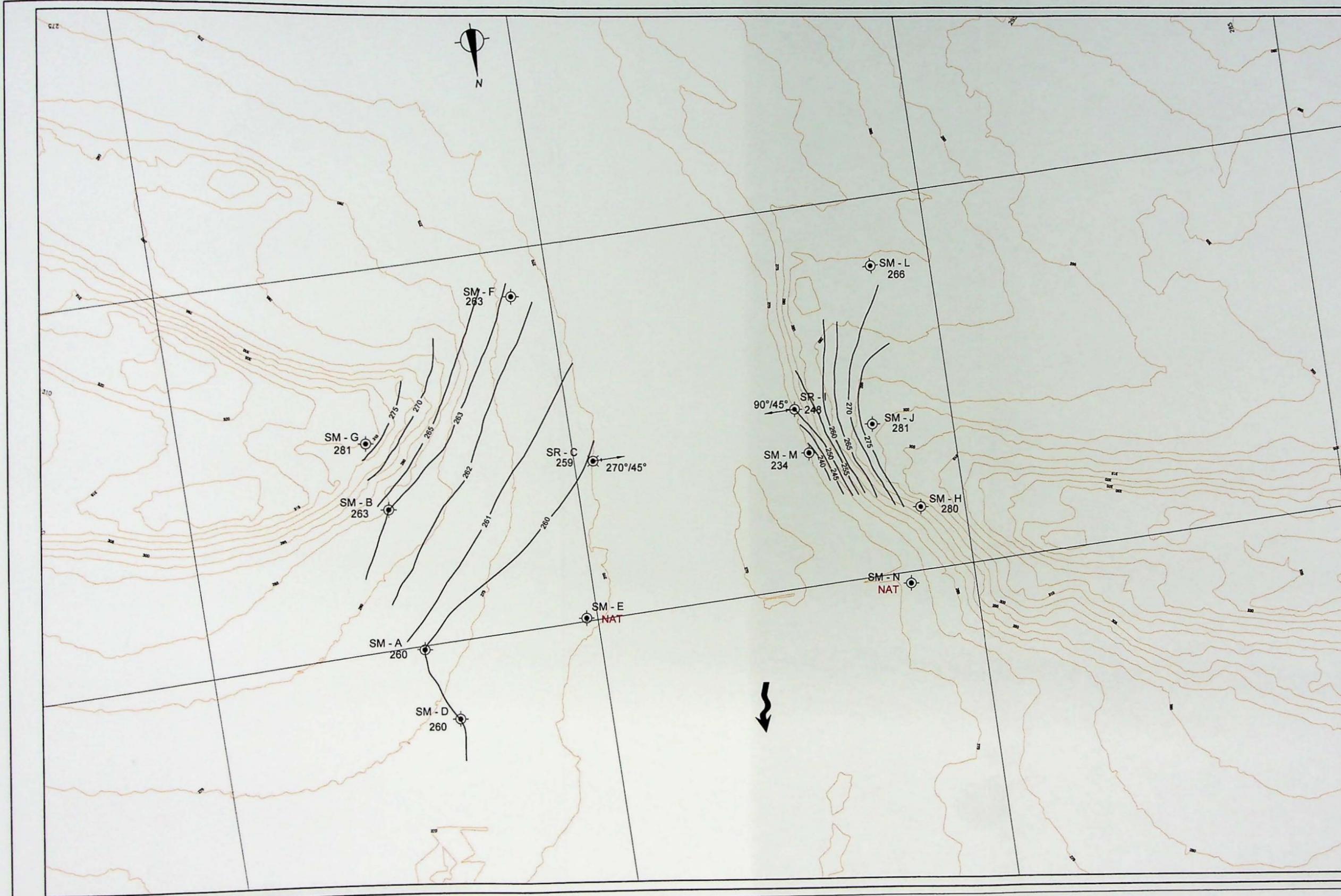
- ⊙ - SR - I - SONDAGEM ROTATIVA
- ⊙ - SM - J - SONDAGEM MISTA
- 253 - TOPO RAD/RAM.
- 281 - TOPO RAD/RS - C2/C1.
- - TOPO ROCHOSO RAD/RAM.

NOTAS:

- 1 - COTA E DIMENSÕES EM METRO.
- 2 - QUANDO NÃO APRESENTOU O TOPO RAD/RAM, UTILIZOU-SE O TOPO RAD/RS - C2/C1.



MAPA DE CONTOURNO
ESTRUTURAL
DO TOPO ROCHOSO
(RAD/RAM - RAD/RS)



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

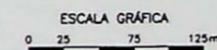


LEGENDA:

- ⊙ - SR - I - SONDAGEM ROTATIVA.
- ⊙ - SM - J - SONDAGEM MISTA.
- 281 - TOPO RAD/RS - C2/C1.
- NAT - NÃO ATINGIU O TOPO RAD/RS - C2/C1
- - TOPO ROCHOSO RAD/RS - C2/C1.

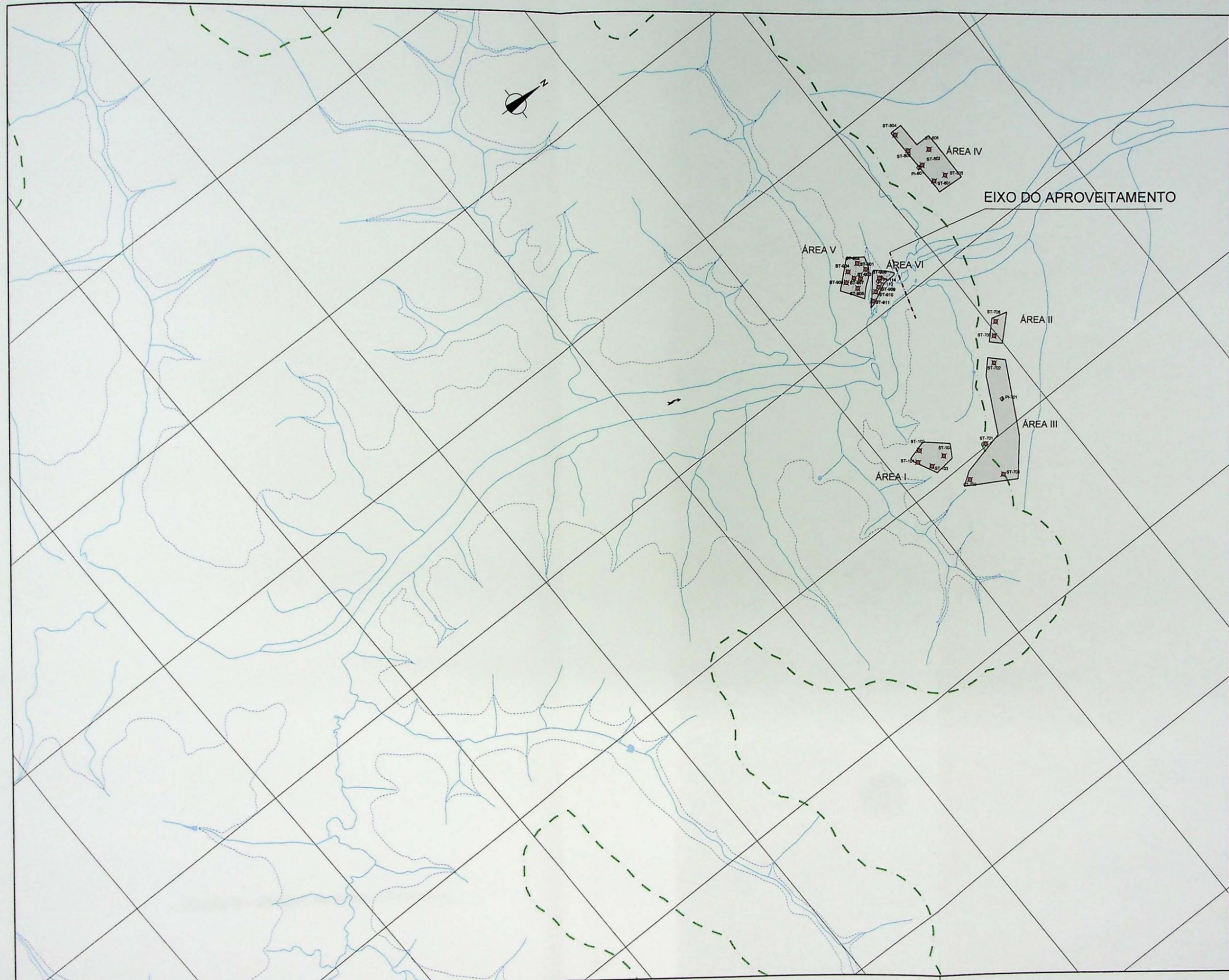
NOTAS:

1 - COTA E DIMENSÕES EM METRO.

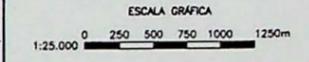


MAPA DE CONTORNO
ESTRUTURAL
DO TOPO ROCHOSO
RAD/RS - C2/C1

Anexo 3 – Mapa Áreas de Empréstimo



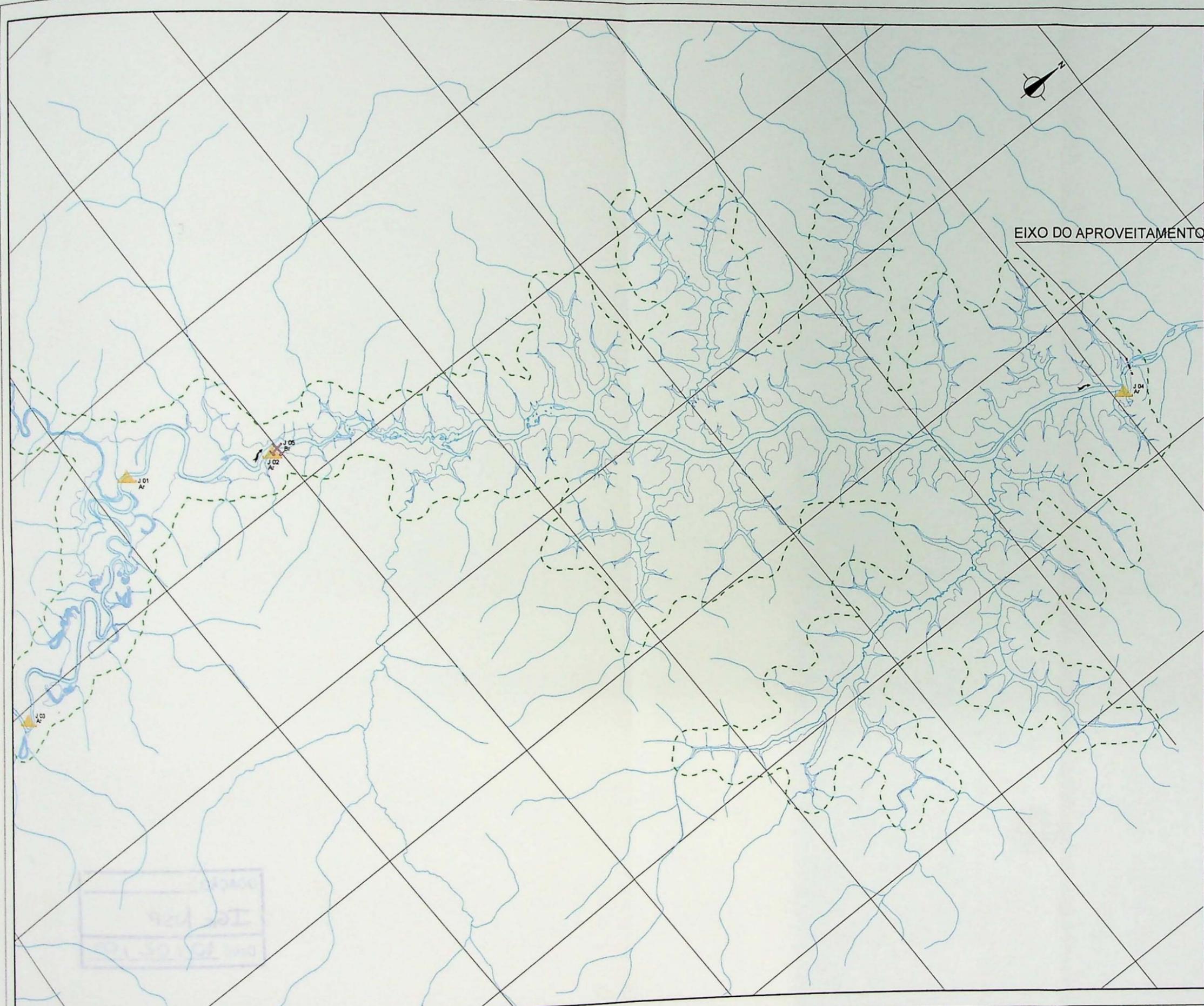
- LEGENDA:**
- - - - - ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (AID)
 - - - - - EIXO
 - RESERVATÓRIO
 - LAGOAS/AÇUDES
 - RIOS
 - CONTORNO APROXIMADO DA ÁREA DE EMPRÉSTIMO
 - ST-101 SONDAGENS A TRADO EXECUTADAS
 - PI-1A POÇO DE INSPEÇÃO EXECUTADO



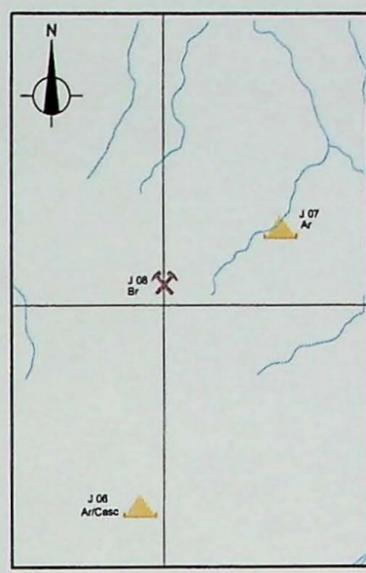
**AVALIAÇÃO
DOS CONDICIONANTES
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
DE UM APROVEITAMENTO
HIDRELÉTRICO
EM ESTUDOS DE VIABILIDADE**

**MAPA
ÁREAS DE EMPRÉSTIMO**

Anexo 4 – Jazidas de Areia e Pedreiras



EIXO DO APROVEITAMENTO



ESCALA GRÁFICA
1:100.000 0 1km 3km 5km

- LEGENDA:
- J 01 - JAZIDAS DE AREIA E CASCALHO
Ar - AREIA
Casc - CASCALHO
 - J 08 - PEDREIRA ATIVA
Br - BRITA
 - J 05 - PEDREIRA INATIVA
Br - BRITA



- LEGENDA:
- - - ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (AID)
 - - - EIXO
 - RESERVATÓRIO
 - LAGOAS/SAZUDES
 - ALAGADO
 - RIOS

ESCALA GRÁFICA
1:100.000 0 1km 3km 5km



AVALIAÇÃO
DOS CONDICIONANTES
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
DE UM APROVEITAMENTO
HIDRELÉTRICO
EM ESTUDOS DE VIABILIDADE

JAZIDAS DE AREIA
E PEDREIRAS

