

**UHE BELO MONTE**  
**PROJETO BÁSICO DE ENGENHARIA**

**ANEXO I**  
**ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS E MATERIAIS NATURAIS DE**  
**CONSTRUÇÃO**

**TEXTO**

Nº	Descrição	Prep.	Aprov.	Data
REVISÕES				

**NORTE ENERGIA - NESA**

**Intertechne**

**ENGEVIX**

**PCE**  
Projetos e Consultorias de Engenharia

**UHE BELO MONTE**

	INTT EVIX PCE	INTERTECHNE:	ENGEVIX:	PCE:	NESA:
Elaborador		Mônica C. L. Carvalho Gerente/Coordenador	Sérgio L. F. Capellão Gerente/Coordenador	Libério Alves da Silva Gerente/Coordenador	
Verificador	MC	Lourenço J. N. Babá Responsável Técnico CREA RJ - 36084/D	Lailton Vieira Xavier Responsável Técnico CREA PR - 18060/D	José Eduardo Moreira Responsável Técnico CREA RJ - 21112/D	Diretor de Engenharia
Supervisor	PVR	Paulo V. Reis Gerente Geral Consórcio Projetista			Data:

Nº Cliente ou Código Unificado <b>BEL-B-GR-RT-GER-000-0001</b>	Rev. <b>0</b>
---	------------------

# NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato  
CREA-MG 16.918/D  
Diretor de Construção

---

UHE BELO MONTE

## **ANEXO I**

### *ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS E MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO*

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	5
2.	ESTUDOS EFETUADOS .....	5
2.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	5
2.2.	MAPEAMENTO GEOLÓGICO LOCAL .....	5
2.3.	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS .....	6
2.3.1	Sítio Pimental .....	6
2.3.2	Canais de Adução .....	7
2.3.3	Sítio Belo Monte .....	8
2.3.4	Diques .....	11
2.4.	ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	14
2.4.1	Sítio Pimental .....	15
2.4.2	Canal de Derivação .....	16
2.4.3	Sítio Belo Monte .....	16
2.4.4	Diques do Reservatório Intermediário .....	19
2.4.5	Diques Estudados na Fase do Projeto de Viabilidade .....	19
2.4.6	Canais de Adução (Transposição Cobal - Santo Antônio) .....	21
3.	GEOLOGIA DA ÁREA DO RESERVATÓRIO .....	21
3.1.	ESTRATIGRAFIA E LITOLOGIA .....	21
3.1.1	Embasamento Cristalino - Complexo Xingu .....	23
3.1.2	Bacia Sedimentar do Amazonas .....	25
3.1.3	Coberturas Cenozóicas .....	26
3.2.	GEOLOGIA ESTRUTURAL .....	27
3.2.1	Caracterização Regional .....	27
3.2.2	Estruturação Local .....	28
3.2.3	Evidências de Tectonismo Recente .....	33
3.3.	EVOLUÇÃO GEOLÓGICA .....	35
3.4.	GEOMORFOLOGIA .....	36
3.4.1	Plataforma Amazônica .....	37
3.4.2	Bacia Sedimentar Amazônica .....	38
3.5.	RECURSOS MINERAIS - METALOGÊNESE .....	38
3.5.1	Cadastramento das Concentrações Minerais .....	39
3.5.2	Potencialidade Mineral .....	39
3.5.3	Avaliação do Potencial Mineral .....	43
3.6.	SISMICIDADE .....	45
3.7.	ESTANQUEIDADE .....	46
3.8.	ESTABILIDADE DE ENCOSTAS MARGINAIS .....	47

## UHE BELO MONTE

3.9.	FONTES DE EROSÃO E ASSOREAMENTO .....	48
3.10.	VARIAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO .....	49
4.	GEOLOGIA LOCAL.....	51
4.1.	SÍTIO PIMENTAL.....	51
4.1.1	Estratigrafia e Litologia.....	51
4.1.2	Geologia Estrutural .....	56
4.2.	CANAL DE DERIVAÇÃO .....	60
4.2.1	Estratigrafia e Litologia.....	60
4.2.2	Geologia Estrutural .....	61
4.3.	SÍTIO BELO MONTE .....	63
4.3.1	Estratigrafia e Litologia.....	64
4.3.2	Geologia Estrutural .....	74
4.4.	DIQUES .....	76
4.4.1	Diques do Sítio Pimental.....	76
4.4.2	Diques do Reservatório Intermediário .....	76
5.	CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DOS LOCAIS DE IMPLANTAÇÃO DAS OBRAS ..	77
5.1.	SÍTIO PIMENTAL.....	77
5.1.1	Estruturas de Concreto .....	78
5.1.2	Barragem de Terra/Enrocamento do Canal Direito .....	79
5.1.3	Barragem de Terra/Enrocamento (Ligação da Ilha da Serra com as Estruturas de Concreto).....	80
5.1.4	Barragem de Terra Lateral Esquerda .....	80
5.2.	CANAL DE ADUÇÃO .....	80
5.3.	SÍTIO BELO MONTE .....	90
5.3.1	Barragem de Santo Antônio (BSA) .....	91
5.3.2	Barragem Lateral Esquerda (BLE).....	94
5.3.3	Barragem Lateral Direita (BLD).....	95
5.3.4	Estruturas de Concreto .....	97
5.3.5	Canal de Fuga (CFG).....	103
5.4.	DIQUES .....	104
5.4.1	Diques do Reservatório Intermediário .....	105
5.4.2	Diques do Sítio Pimental.....	115
6.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DOS MATERIAIS DE FUNDAÇÃO .....	115
6.1.	SÍTIO PIMENTAL.....	115
6.1.1	Caracterização Geotécnica dos Solos.....	116
6.1.2	Caracterização Geomecânica das Rochas.....	117
6.2.	CANAIS DE ADUÇÃO .....	117
6.3.	SÍTIO BELO MONTE .....	118

## UHE BELO MONTE

6.3.1	Caracterização Geotécnica dos Solos.....	119
6.3.2	Caracterização Geomecânica das Rochas.....	131
6.4.	DIQUES .....	137
6.4.1	Diques Implantados em Rochas Cristalinas .....	137
6.4.2	Diques Implantados em Rochas Sedimentares.....	139
7.	MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO.....	140
7.1.	SÍTIO PIMENTAL.....	140
7.1.1	Solo .....	140
7.1.2	Pedreiras.....	143
7.2.	CANAL DE ADUÇÃO.....	144
7.3.	SÍTIO BELO MONTE .....	144
7.3.1	Solo .....	146
7.3.2	Areia e Cascalho.....	161
7.3.3	Rocha.....	162
7.4.	DIQUES .....	162
7.4.1	Diques do Reservatório Intermediário .....	164
7.4.2	Diques do Sítio Pimental.....	171
8.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	171
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	177

## UHE BELO MONTE

### 1. INTRODUÇÃO

O presente Apêndice é parte integrante da estrutura do Relatório Final dos Estudos do Projeto Básico do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte e tem por finalidade apresentar os resultados dos estudos geológico-geotécnicos desenvolvidos para esta fase.

Estes estudos tiveram por objetivo principal caracterizar a geologia de toda a área do reservatório e detalhar a geologia dos locais de implantação das obras quanto aos aspectos estratigráficos, litológicos e estruturais e, ainda, definir as condições geotécnicas dos maciços de fundação das obras, bem como a caracterização dos materiais naturais de construção quanto aos aspectos de qualidade e quantidades disponíveis.

As investigações e os estudos geológico-geotécnicos foram levados a um nível de informação compatível com os requisitos básicos indispensáveis aos Estudos de Projeto Básico.

Este Apêndice é composto por um volume de texto e um de desenhos.

### 2. ESTUDOS EFETUADOS

#### 2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Foram executados levantamentos geológico-geotécnicos nas áreas do Sítio Pimental, Canal de Adução e Sítio Belo Monte, com apoio do mapeamento geológico regional na escala 1:250.000 executado em fases anteriores. As informações correspondentes às áreas mencionadas foram integralmente aproveitadas nesta etapa, baseando-se em resultados obtidos nos estudos desenvolvidos nas primeira e segunda Etapa do Projeto de Viabilidade, executados, respectivamente na década de 1980 e 2000. O desenho BEL-B-GR-DE-GER-0001 apresenta um resumo da legenda geológico-geotécnica utilizada neste trabalho.

#### 2.2. MAPEAMENTO GEOLÓGICO LOCAL

Os mapeamentos geológico e geológico-geotécnico locais, correspondentes ao Sítio Pimental e Canais de Adução (trecho do Canal de Derivação), realizados no período de estiagem compreendido entre os meses de outubro a dezembro/2001, foram executados na escala 1:25.000, apoiados nos mapas-base de mesma escala, provenientes de restituições aerofotogramétricas executadas pela empresa AEROSUL S.A, com vôo na escala 1:60.000 realizado no período de 1976/1977. Estes materiais fizeram parte dos estudos da segunda Etapa do Projeto de Viabilidade. O mapa geológico local do Sítio Belo Monte foi aproveitado dos estudos da primeira Etapa do Projeto de Viabilidade.

Esses trabalhos da segunda Etapa do Projeto de Viabilidade foram executados utilizando-se os recursos de fotografias aéreas em escala de 1:60.000, análise de testemunhos de sondagens rotativas, à percussão e geofísicas e do reconhecimento de campo, além das análises petrográficas disponíveis em cada local. Os trabalhos de campo exigiram descrição detalhada de afloramentos quanto à variedade litológica

## UHE BELO MONTE

(cor, textura, granulometria e composição mineralógica) e de seus elementos estruturais (foliação, fraturas, veios e falhas).

Nos trabalhos de mapeamento no Sítio Pimental, as observações de campo foram facilitadas pela possibilidade de acesso por barco e exposição de extensa área de afloramento rochoso, permitindo a descrição de 61 afloramentos ao longo de uma área de 48 km<sup>2</sup>. No Canal de Derivação, com 193 pontos levantados e área de 88 km<sup>2</sup>, devido a restrições de acessos terrestres e a pouca incidência de afloramentos rochosos, ocorreram maiores dificuldades na execução dos trabalhos de mapeamento.

Os dados obtidos foram processados, incluindo a análise de 24 lâminas petrográficas, 4 análises de difratometria de raios-X e o tratamento dos dados estruturais em rede estereográfica de igual área. As análises de difratometria foram feitas através do difratômetro RIGAKU-D/MAX-2AC, que opera com tubo de cobre com 40 kv e 20 mA, sendo que a partir dos difratogramas obtidos os minerais foram identificados por meio do software JADE 3.0 da MDI, e do banco de dados mineralógicos do International Centre for Diffraction Data (ICDD). Os dados estruturais em rede estereográfica de igual área foram tratados através do programa DIPS, version 2.0.

A interação de todas essas informações litológicas e estruturais, compatibilizadas em seções geológicas típicas, embasou a reinterpretação fotogeológica final, possibilitando a elaboração dos mapas geológicos locais.

### 2.3. INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Foram executadas, durante os meses de janeiro a abril do ano de 2009, apenas algumas investigações no Canal de Derivação. Constataram-se 14 sondagens à percussão, 26 rotativas e 27 rotopercussivas e, como método indireto, sondagens geofísicas, representadas por 7,2 km de sísmica de refração.

O restante das investigações foram integralmente aproveitadas dos estudos anteriores das duas etapas da Viabilidade, conforme descrito a seguir.

#### 2.3.1 Sítio Pimental

As investigações tiveram por objetivo o conhecimento das condições geológico-geotécnicas gerais do Sítio Pimental. Verificaram-se no local, durante o período de vazante, afloramentos com grandes dimensões (pedrais), capeados parcialmente por espessura aluvionar e/ou matacões, bem como grande quantidade de matacões distribuídos nas ombreiras. As investigações consistiram de mapeamento geológico-geotécnico mediante caminhamento nos locais de barramento e prováveis áreas de empréstimo, pesquisa de materiais naturais de construção, sondagens sísmicas, sondagens a trado, poços de inspeção e sondagens a percussão e rotativas. Foram executados ainda, estudos preliminares apoiados em restituição aerofogramétrica e confirmados posteriormente com levantamento topográfico expedito, em seis prováveis pontos de fuga. Nestes locais foram executadas apenas algumas sondagens a trado para inspeção e amostragem nas fundações dos pontos de fugas identificados.

Assim, foram realizadas as seguintes investigações:

- 39 sondagens rotativas com ensaios de infiltração e de SPT em solo, ensaios de perda d'água sob pressão em rocha e orientação de testemunhos de sondagens;

## UHE BELO MONTE

- 17 sondagens a percussão Ø 2<sup>1/2</sup>" com ensaios de infiltração e de SPT e lavagem por tempo;
- 04 sondagens a trado no eixo de barramento;
- 24 sondagens a trado nas áreas de empréstimo;
- 18 sondagens a trado nas fundações dos prováveis pontos de fuga;
- 04 poços de inspeção;
- 25 sondagens a percussão Ø 6" para pesquisa de areia e cascalho;
- 50,0 km de sondagens sísmicas de reflexão e
- 12,4 km de sondagens sísmicas de refração

A Tabela A1.2.1 e o desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0001 apresentam os quantitativos e a planta de localização das investigações realizadas no Sítio Pimental.

**Tabela A1.2.1 – Sítio Pimental – Investigações Geológico-Geotécnicas Executadas**

Tipo de investigação	Total	Metros Perfurados	Ensaios			Amostras Indeformadas	Comprimento Levantado (m)
			EI	SPT	EPA		
SR	39	690	48	50	219	-	-
SP 2 <sup>1/2</sup> "	17	113	98	105	-	-	-
SP 6"	25	83	-	-	-	-	-
ST	46	349	-	-	-	-	-
PI	04	13	-	-	-	01	-
Sísmica de refração	-	-	-	-	-	-	12447
Sísmica de reflexão	-	-	-	-	-	-	50000

Notas:

1. Relatórios
  - perfis de sondagens - PROGEO –RPS 056 e 060 /2001
  - perfis de poços – PROGEO-RPS 056/01/2001
  - investigações geofísicas – GEOTEC -001/01, 004/01 e 013/01 (2001) e PROGEO/GEOWORK (2001)
  - Documentação fotográfica das sondagens rotativas
  - O total dos quantitativos engloba investigações de eixo alternativo estudado na Viabilidade, que foi descartado nesta fase.

### 2.3.2 Canais de Adução

Na área do Canal de Derivação, foram aproveitadas as investigações efetuadas para os Canais Esquerdo e Direito efetuadas na segunda etapa dos estudos de Viabilidade. As investigações constaram de mapeamento geológico-geotécnico através de caminhamento, onde se constatou poucos afloramentos de rocha "in situ", manto de intemperismo formado pelo solo de alteração de migmatito e grande quantidade de matações em superfície. Foram executadas 27 sondagens a percussão Ø 2 ½" com ensaios de SPT, infiltração e lavagem por tempo, 19 sondagens a trado, sísmica de refração, além da instalação de 6 medidores de nível d'água.



## UHE BELO MONTE

Nos trechos correspondentes ao Canal de Derivação (antigo Trecho da Junção) e demais áreas dos Canais de Adução situadas nas transposições de vales, foram efetuadas prospecções com sísmica de refração que, juntamente com as investigações realizadas na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade permitiram caracterizar suficientemente as condições geológicas locais.

As sondagens geofísicas, realizadas em seções transversais ao eixo dos canais, tiveram por finalidade determinar a espessura do manto de intemperismo, a cota provável do topo rochoso, auxiliar o mapeamento geológico em áreas aluvionares e comprovar feições estruturais. A somatória das atividades de sísmica de refração realizada ao longo dos Canais de Adução totalizou 88,7 km .

A Tabela A1.2.2 e os desenhos BEL-B-CA-DE-GER-112-0001 e BEL-B-CA-DE-GER-112-0006 apresentam os quantitativos e as plantas de localização das investigações realizadas nos Canais de Adução.

**Tabela A1.2.2 - Canais de Adução - Investigações Geológico- Geotécnicas Executadas**

Tipo de investigação	Total	Metros perfurados	Ensaios		Medidor de nível d'água	Comprimento levantado (m)
			EI	SPT		
SR (ano 2009)	26	991,33	-	-	-	
RP (ano 2009)	27	1201,40	-	-	-	
SP 2 <sup>1/2"</sup> (ano 2009)	14	126,06		119		
SP 2 <sup>1/2"</sup> (ano 2001)	27	329	113	316	06	
ST (ano 2001)	32	112	-	-	-	
Sísmica de refração (ano 2009)	-	-	-	-	-	7200
Sísmica de refração ( ano 2001)	-	-	-	-	-	88723

NOTA:

1. Relatórios
  - Perfis de sondagens – PROGEO-RPS-060/01 e RPS/056/01(2001)
  - Perfis de sondagens – PROGEO-RPS-059/09 e RPS/059A/09(2009)
  - Investigações geofísicas – GEOTEC-001/01, 004/01 e 013/01 (2001)
  - Investigações geofísicas – ALTA RESOLUÇÃO-R09 (2009)

### 2.3.3 Sítio Belo Monte

As investigações geológico-geotécnicas do Sítio Belo Monte foram executadas na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, durante o período de outubro de 1981 a julho de 1987, com intervalos e abrangendo três campanhas. No período entre novembro de 1987 e julho de 1989 foram realizadas investigações complementares (4ª campanha), na fase inicial do Projeto Básico que foi paralisado posteriormente. A Tabela A1.2.3 apresenta os quantitativos das investigações realizadas e o desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0001 mostra a planta de localização das investigações. A documentação gráfica, correspondente aos perfis individuais de sondagens e poços executados nas quatro campanhas, que foram localizadas nos arquivos, encontram-se disponíveis em meio digital.

## UHE BELO MONTE

**Tabela A1.2.3 - Investigações Geológico-Geotécnicas Executadas na Usina Belo Monte e nos Canais de Adução (1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade)**

			TOTAL	METROS PERFORADOS	ENSAIOS			M.N.A	PIEZÔ-METRO	AMOSTRAS INDEFORMADAS	DISTÂNCIA LEVANTADA (m)
					E.I.	SPT	EPA				
1ª CAMPANHA	Belo Monte	SR	13	743	63	113	166	-	-	-	-
		ST	111	851	-	-	-	-	-	-	-
		PI	05	26	-	-	-	-	-	07	-
		SS	97	-	-	-	-	-	-	-	16000
		SE	91	-	-	-	-	-	-	-	-
	Canal de Adução Belo Monte	SR	05	148	15	91	-	05	-	-	-
		ST	119	488	-	-	-	-	-	-	-
		PI	02	12	-	-	-	-	-	-	-
		SS	137	-	-	-	-	-	-	-	22600
		SE	38	-	-	-	-	-	-	-	-
2ª CAMPANHA	Belo Monte	SR	26	1183	72	248	234	15	03	-	-
		SP 2 1/2"	54	1174	226	846	-	23	-	-	-
		SP 8"	31	372	-	-	-	-	-	-	-
		ST	11	67	-	-	-	-	-	-	-
		PI	14	59	-	-	-	-	-	16	-
		SS	139	-	-	-	-	-	-	-	22900
	C. Adução Belo Monte	ST	19	47	-	-	-	-	-	-	-
		SS	39	-	-	-	-	-	-	-	6400
		SE	27	-	-	-	-	-	-	-	-
3ª CAMPANHA	Belo Monte	SR	25	1237	137	160	260	10	-	-	-
		SP 2 1/2"	13	215	90	130	-	-	-	-	-
		ST	41	289	-	-	-	-	-	-	-
		PI	30	201	06	-	-	-	-	-	-
		SS	94	-	-	-	-	-	-	-	15500
		SE	68	-	-	-	-	-	-	-	-
	CAMINHAMENTO ELÉTRICO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3700
4ª CAMPANHA	Belo Monte	SRB	28	897	66	124	147	-	-	-	-
		SPB	08	136	48	108	-	-	-	-	-

Notas:

- Na 3ª Campanha foram realizados 312 ensaios com sonda hidráulica multi-teste (SHM) e 21 ensaios com obturador de impressão (OI).
- Relatórios:
  - logs de sondagens
  - boletins de poços
  - classificação de trados
  - investigações geofísicas
  - IHX-10V-1146-RE e IHX-16V-1032-RE.
  - IHX-16V-1051-RE(DB-34)
  - IHX-16V-1026-RE, Vol II e IHX-10V-1066-RE.
  - IHX-10V-1024-DT; IHX-10V-1085-DT; IHX-10V-1136-RE; IHX-10V-1070-DT; IHX-10V-1134-RE; IHX-10V-1013-RE e IHX-16V-1041-RE.
  - ensaios - SHM e OI - DG-01 BT/015 DT (IPT).

## UHE BELO MONTE

Na primeira campanha, as investigações tiveram por principal objetivo definir a estratigrafia da área e o conhecimento dos aspectos geotécnicos associados aos diversos tipos litológicos presentes e, posteriormente, a pesquisa de áreas de empréstimo.

As investigações constaram de mapeamento geológico-geotécnico através de caminhamento, execução de 44 sondagens a trado ao longo dos eixos alternativos, 111 sondagens a trado em áreas de empréstimo, 5 poços para inspeção e 13 sondagens rotativas. Como método indireto, foram realizadas sondagens geofísicas representadas por 97 bases sísmicas e 91 sondagens elétricas verticais. Nesta etapa foram também investigados os canais de adução à Usina de Belo Monte, através de 137 sondagens sísmicas, 38 sondagens elétricas e 5 sondagens rotativas, nas quais foram instalados medidores de nível d'água.

- Nas sondagens rotativas foram realizados ensaios de infiltração e de SPT no trecho em solo e ensaios de perda d'água sob pressão e orientação de testemunhos no trecho em rocha, bem como instalação de medidores de nível d'água em alguns furos;
- Nas sondagens a trado realizadas nas áreas de empréstimo, foram coletadas amostras de umidade natural a cada 2 m e amostras deformadas de 10 kg a cada metro, nas quais foram efetuados ensaios de caracterização e compactação. Em amostras selecionadas para cada tipo de solo, foram realizados ensaios de permeabilidade, adensamento e compressão triaxial.

Os blocos de amostras indeformadas retiradas dos poços possibilitaram a realização de ensaios de caracterização, compactação, permeabilidade, adensamento e compressão triaxial.

Na segunda campanha, as investigações geológico-geotécnicas abrangeram os vários arranjos propostos, tendo sido investigados materiais naturais de construção (solo, areia e cascalho), constando de: mapeamento geológico-geotécnico, através de caminhamento ao longo de picadas; execução de 26 sondagens rotativas, 54 sondagens a percussão Ø 2 ½", 31 sondagens a percussão Ø 8", 11 sondagens a trado e 14 poços para inspeção e amostragem, além de investigações com 139 sondagens sísmicas e 63 sondagens elétricas. Nesta etapa, foi investigado mais um trecho dos Canais de Adução a Usina Belo Monte, através de mapeamento geológico-geotécnico e da execução de 39 sondagens sísmicas e 27 sondagens elétricas.

As investigações geológico-geotécnicas de fundação na terceira campanha foram dirigidas à alternativa escolhida, com o objetivo de melhor caracterizar as condições de fundação, principalmente na área das estruturas de concreto, sendo também efetuadas investigações complementares em áreas de empréstimo. Constaram de mapeamento geológico-geotécnico das fundações a execução de: 25 sondagens rotativas com instalação de alguns medidores de nível d'água, 11 sondagens a percussão Ø 2 ½", 41 sondagens a trado e 30 poços para inspeção e amostragem e, como métodos indiretos, a execução de 94 bases sísmicas, 68 sondagens elétricas e 3,7 km de caminhamento elétrico.

## UHE BELO MONTE

Nas sondagens rotativas realizadas nesta campanha foram executados, além de ensaios de perda d'água sob pressão, 312 ensaios com sonda hidráulica multiteste (SHM) e 21 ensaios com obturador de impressão (O.I.).

Em alguns poços executados nas fundações das barragens foram retiradas amostras indeformadas para ensaios de laboratório e efetuados ensaios de infiltração. De 30 poços executados, 8 foram abertos nas áreas de empréstimo para obtenção de amostras deformadas, as quais foram submetidas a ensaios de caracterização, compactação e compressão triaxial.

As sondagens geofísicas executadas nesta fase foram dirigidas ao detalhamento do topo rochoso na área da Tomada d'Água e à determinação das espessuras de solo das áreas de empréstimo, além de algumas definições geológicas importantes nessa região. Neste particular, foi utilizado o procedimento de caminhamento elétrico com estações de sondagens elétricas verticais a cada 20 m.

### 2.3.4 Diques

Como nesta fase do projeto foi eliminada alternativa do Vertedouro Complementar no sítio Bela Vista, foi necessária a eliminação de alguns diques que faziam parte do arranjo da segunda etapa dos estudos de Viabilidade e a implementação de outros. Desta forma, foram eliminados os diques DIK-19, DIK-20 e DIK-23 a DIK-26 e foram incorporados novos diques, denominados DIK-19B, DIK-19C, DIK-19D e DIK-19E. Estes novos diques serão objeto de estudos durante a fase do Projeto Pré-Executivo.

Os serviços de campo realizados ao longo e nas proximidades dos diques do Sítio Belo Monte, que contemplam os diques de fechamento do Reservatório Intermediário, objetivaram o reconhecimento geológico-geotécnico de suas fundações, caracterização e cubagem dos solos das áreas de empréstimo e seleção de áreas para aproveitamento de pedreiras.

As investigações nos eixos dos diques foram executadas através de poços de inspeção, sondagens a trado, investigações geofísicas mediante sondagens sísmica de refração e sondagens elétricas verticais, sondagens a percussão, além de mapeamento geológico e amostragem de solos e rochas. Nas áreas de empréstimo, as investigações foram feitas através de sondagens a trado e mapeamento geológico de superfície.

Nos eixos dos diques, foram executados poços de até 6 m de profundidade, distanciados a cada 400 m e intercalados com sondagens a trado de até 7 m de profundidade. Desta forma, para os diques de comprimentos inferiores a 500 m e alturas máximas superiores a 7 m, foram executados pelo menos um poço e duas sondagens a trado.

Essas investigações objetivaram a caracterização dos coluviões (CO), aluviões (AL), solos residuais (RS) e de alteração (SA), determinando-se suas espessuras, características granulométricas, compacidade, porosidade e permeabilidade, através de observações táteis e visuais. Nos poços, avaliou-se a compacidade dos solos por meio de ensaios expeditos de penetração (IPE) realizados a cada metro e a permeabilidade, quando possível, por ensaios de rebaixamento do lençol freático. Foram também selecionadas e retiradas amostras indeformadas de 15 cm x 15 cm para a realização de ensaios de caracterização e triaxiais.

## UHE BELO MONTE

As sondagens geofísicas realizadas nos eixos dos diques e em seções transversais tiveram por finalidade determinar a cota provável do topo rochoso, auxiliar o mapeamento geológico em áreas aluvionares, diferenciar pacotes de rochas sedimentares das cristalinas e comprovar feições estruturais, principalmente descontinuidades.

Nos diques DIK13 e DIK14C, cortados por igarapés, foram realizadas sondagens a percussão nos aluviões. Nestas sondagens, foram executados ensaios de resistência à penetração (SPT) a cada metro de profundidade e ensaios de infiltração nos materiais granulares. As investigações, executadas nos diques DIK 27 a DIK 29 constaram de mapeamento geológico-geotécnico através de caminhamento, sondagens a percussão, sondagens a trado e sondagens sísmicas. Sondagens a trado também foram realizadas no local de implantação da área de empréstimo para os diques DIK 28 e DIK-29.

Para as áreas de empréstimo, o estudo foi realizado através de sondagens a trado, em malha aproximadamente regular, com furos espaçados de 200 a 400 m, em função, principalmente, das extensões das áreas. Estas foram programadas nos mapas topográficos em escala 1:10.000, sendo localizadas, sempre que possível, nas encostas dos morros próximos aos diques. As sondagens a trado atingiram profundidades de até 10 m, sendo retiradas amostras nas metragens ímpares (1º, 3º, 5º, 7º e 9º metros) para ensaios de umidade natural e, a cada intervalo de 1 m, amostras de 10 kg para ensaios de caracterização. Dentre essas amostras, foram posteriormente selecionados materiais mais representativos para ensaios de caracterização. O mapeamento geológico de superfície complementou as investigações nestas áreas.

As localizações e quantitativos das investigações dos diques estão apresentadas, respectivamente, no desenho BEL-B-BM-DQ-GER-112-0001 e na Tabela A1.2.4.

# NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato  
CREA-MG 16.918/D  
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Tabela A1.2.4 - Diques do Reservatório Intermediário– Investigações Geológico-Geotécnicas Executadas

DIK	SR		SP 2 <sup>1/2</sup> "		STD		STE		POÇOS		GEOFÍSICA		Pontos de mapeamento
	Quantidade	Profundidade total (m)	Quantidade	Profundidade total (m)	Quantidade	Profundidade total (m)	Quantidade	Profundidade total (m)	Quantidade	Profundidade total (m)	Refração (Bases)	Elétrica (Bases)	
1	-	-	-	-	1	6,0	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	1	5,3	-	-	-	-	-	-	5
3	-	-	-	-	-	-	12	63,4	2	5,4	1	-	5
4	-	-	-	-	1	4,7	-	-	-	-	-	-	-
6A	1	84,0	4	32,0	-	-	-	-	-	-	4	-	-
6B	1	79,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6C	1	32,0	4	84,0	-	-	-	-	-	-	5	-	-
7A	2	57,0	2	31,5	3	13,0	-	-	-	-	6	-	-
7B	1	26,5	2	34,0	2	8,5	-	-	-	-	6	-	-
7C	-	-	-	-	1	2,7	-	-	-	-	-	-	-
7D	1	17,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10A	-	-	-	-	2	11,0	3	22,5	1	0,5	2	1	1
11	-	-	-	-	2	14,0	3	20,2	1	6,0	4	2	2
12	-	-	-	-	1	7,0	-	-	-	-	-	-	7
13	-	-	2	13,66	5	28,9	43	313,5	4	24,0	20	8	4
14A	-	-	-	-	3	18,7	6	52,4	2	12,0	5	2	4
14B	-	-	-	-	2	12,5	-	-	-	-	1	-	4
14C	-	-	5	35,11	3	18,0	23	132,3	2	10,5	9	4	11
14D	-	-	-	-	2	14,0	9	76,0	1	6,0	6	3	5
14E	-	-	-	-	2	14,0	6	57,0	1	5,9	4	1	2
18	-	-	-	-	1	6,0	3	22,5	1	6,0	1	-	4
27	-	-	1	3,1	-	-	-	-	-	-	10	-	-
28	-	-	2	37,27	-	-	4	8	-	-	20	-	-
29	-	-	1	12,03	4	10,4	4	9	-	-	9	-	-
TOTAL	6	295,5	23	282,67	37	194,7	116	776,8	15	76,3	113	21	54

STD = Sondagem a Trado no Eixo do Dique

STE = Sondagem a Trado em Áreas de empréstimo

SP = Sondagem a Percussão

SR = Sondagem Rotativa

Intertechne

ENGEVIX

**EPCE**  
Projetos e Consultorias de Engenharia

Anexo 1-13/178

Lourenço J. N. Babá  
CREA RJ-36084/D

## UHE BELO MONTE

### 2.4. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Durante a 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, no período de setembro de 1982 a setembro de 1987, foram executados vários ensaios de laboratório em materiais provenientes das áreas de empréstimo, jazidas e fundações do Sítio Belo Monte, do Sítio Bela Vista (antigo Juruá e seus diques), visando fornecer subsídios básicos para a elaboração do projeto das obras de terra, enrocamento e concreto, e das escavações em solos e rochas.

A seguir estão listados os laboratórios utilizados para a execução dos diversos ensaios realizados durante o período citado:

- Laboratório de Solos do CNEC – São Paulo, SP;
- Laboratório de Solos da ELETRONORTE – Tucuruí, PA;
- Laboratório de Solos da ELETRONORTE – Altamira, PA
- Laboratório de Solos – IPT – São Paulo, SP;
- Laboratório de Concreto da ELETRONORTE – UHE Tucuruí, PA;
- Laboratório da UNESP – Rio Claro, SP;
- LABORATÓRIO CENTRAL DE ENGENHARIA CIVIL DA CESP – ILHA SOLTEIRA, SP

Já alguns materiais como, as areias aluvionares da calha do rio Xingu e o solo argilo siltoso dos terraços aluvionares da ilhas do Sítio Pimental foram ensaiados durante os estudos da 2ª etapa dos estudos de Viabilidade, executados no ano de 2001.

#### a) Materiais Naturais de Construção

Os ensaios realizados em materiais terrosos e granulares provenientes do local das obras do Sítio Belo Monte e do Sítio Bela Vista (antigo Sítio Juruá), foram conduzidos em duas etapas. Os materiais dos diques foram submetidos unicamente aos ensaios da 1ª etapa, inferindo-se os seus parâmetros de projeto a partir daqueles obtidos em solos com características geológico-geotécnicas semelhantes existentes no local das obras principais.

Na 1ª etapa foram efetuados ensaios com o objetivo principal de obter a caracterização geotécnica e a classificação dos materiais naturais de construção existentes no local das obras e definir sua utilização para finalidades específicas, quer como solos de empréstimo, quer como materiais para filtros, transições e enrocamento e, ainda, como agregados finos para concreto.

As amostras ensaiadas nesta etapa foram obtidas da seguinte forma:

- solos – através de sondagens a trado com diâmetro de 4” e bloco indeformado de poços;
- areias e cascalhos – através de sondagens a percussão com diâmetro de 6” e 8”;
- rochas – através de sondagens rotativas com diâmetro HX ou NX.

## UHE BELO MONTE

Essas amostras foram pré-selecionadas por caracterização tátil-visual associada à sua classificação geológica.

Após os estudos preliminares, que compreenderam a caracterização e classificação dos materiais naturais de construção, seguiu-se a 2ª etapa, que consistiu na execução dos ensaios “especiais” para determinação dos parâmetros geotécnicos de projeto.

Todos os ensaios foram conduzidos em amostras representativas, selecionadas com base na análise estatística dos resultados obtidos na 1ª etapa.

Fundamentalmente, foram determinados parâmetros de permeabilidade, compressibilidade e resistência em solos de empréstimo, e parâmetros de permeabilidade em areias e cascalhos previstos para filtros de barragens.

### b) Materiais de Fundações

Após classificação geológica dos materiais existentes nas fundações investigadas, foram efetuados ensaios, também em duas etapas, tal como adotado em materiais naturais de construção, para a obtenção dos parâmetros geotécnicos de projeto.

Na 1ª etapa, foram realizados ensaios de caracterização, de determinação os índices físicos e, em quantidade menor, ensaios de compactação, todos em amostras de solo provenientes de sondagens rotativas ou, principalmente, de poços. Estes ensaios tiveram a finalidade básica de caracterizar os solos de fundações no que diz respeito a condicionantes à estabilidade de barragens.

Os materiais rochosos foram caracterizados através da determinação de seus índices físicos e sua resistência à abrasão.

Na 2ª etapa, os ensaios especiais objetivaram o fornecimento dos parâmetros de resistência, permeabilidade e compressibilidade dos solos de fundações, tendo em vista o dimensionamento das obras de terra e enrocamento.

Em rochas da fundação das estruturas de concreto, foi efetuada a determinação dos parâmetros de resistência e de deformabilidade para subsidiar o projeto das estruturas e das escavações.

Todas as amostras ensaiadas foram selecionadas com base nos resultados de ensaios da 1ª etapa.

### 2.4.1 Sítio Pimental

Os materiais naturais de construção e fundação encontrados na região do Sítio Pimental, por apresentarem origem geológica e petrográfica semelhante aos estudados anteriormente na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade nos Sítios Belo Monte e Bela Vista (antigo Juruá), não foram ensaiados. Por isso, foram adotados os mesmos parâmetros obtidos anteriormente para estes materiais. Entretanto, alguns materiais de construção foram ensaiados, como as areias aluvionares da calha do rio Xingu e o solo argilo siltooso dos terraços aluvionares da ilhas do Sítio Pimental, representados por um bloco indeformado de dimensões 30 x 30x 30 cm e amostras deformadas.



---

## UHE BELO MONTE

Para a fase do Projeto Pré-Executivo, recomenda-se a realização de ensaios tanto nestes materiais correlacionáveis, visando a aferição dos valores adotados, como nos demais materiais existentes ao longo do eixo.

### 2.4.2 Canal de Derivação

Na região do Canal de Derivação os materiais naturais de construção e fundação existentes, por apresentarem origem geológica e petrográfica semelhante aos estudados anteriormente na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade nos Sítios Belo Monte e Bela Vista (antigo Juruá), não foram ensaiados. Por isso, foram adotados os mesmos parâmetros obtidos anteriormente para estes materiais.

Para a fase do Projeto Pré-Executivo, recomenda-se a realização de ensaios nestes materiais correlacionáveis, visando a aferição dos valores adotados.

### 2.4.3 Sítio Belo Monte

Os ensaios em materiais do Sítio Belo Monte foram conduzidos em duas etapas, entre setembro de 1982 e setembro de 1987, conforme programação indicada nas Tabelas A1.2.5 e A1.2.6. Nestas tabelas estão indicados os tipos e quantidades de ensaios efetuados em materiais, tanto de jazidas, como de fundações, abrangendo solos e rochas.

# NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato  
CREA-MG 16.918/D  
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Tabela A1.2.5 - Usina Belo Monte - Ensaios Executados em Solos (Áreas de Empréstimo e Fundação) e Areias

Item	Ensaio	Fundações - Solos					Totais Solos de Fundação	Áreas de Empréstimo			Depósito de Areia e Cascalho	Totais Materiais Naturais de Construção
		CNEC - SP		EN - ALT	EN - TUC	I P T		CNEC - SP		EN - TUC		
		1ª Fase	2ª Fase	2ª Fase	2ª Fase	2ª Fase		1ª FASE	2ª FASE	1ª FASE		
01	Densidade dos Grãos	25	25		16	3	69	39	10	164	115	328
02	Limites de liquidez e plasticidade	23	25		16	3	67	141	10	164		315
03	Análise granulométrica por peneiramento										140	140
04	Análise granulométrica com sedimentação	25	27		16	3	71	67	10	164		241
05	Umidade natural	33	32			12	77	353				353
06	Densidade natural	33	32		1	12	78					
	Compactação:											
07	a. Proctor normal MB-33								4			4
08	b. MB-33 sem reuso e sem secagem prévia		2	3	16		21	30	10	94		134
	Permeabilidade em permeâmetro por corpo de prova:											
09	a. Carga constante		6				6				6	6
10	b. Carga variável		9				9					
11	Expansão, determinação da pressão com 3 pontos		6				6					
	Adensamento:											
12	a. Com inundação	8	31				39		13			13
13	b. Determinação de permeabilidade por ponto	19	107				126		41			41
14	c. Determinação do coeficiente de adensamento por estágio	20	85				105		39			39
	Compressão triaxial tipo $\bar{Q}$ :											
15	a. Corpo de prova com $\varnothing = 2''$		70				70		52			52
	Compressão triaxial tipo $\bar{R}$											

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

Item	Ensaio	Fundações - Solos					Totais Solos de Fundação	Áreas de Empréstimo			Depósito de Areia e Cascalho	Totais Materiais Naturais de Construção
		CNEC - SP		EN - ALT	EN - TUC	I P T		CNEC - SP		EN - TUC		
		1ª Fase	2ª Fase	2ª Fase	2ª Fase	2ª Fase		1ª FASE	2ª FASE	1ª FASE		
16	a. Corpo de prova com $\varnothing$ 1 3/8".						2					
	Compressão triaxial tipo: $\bar{R}$ sat					2						
	Saturação do Corpo de prova por e contra pressão:		47									
17	a. Corpo de prova com $\varnothing$ = 2"						47	24				24
	Saturação do Corpo de prova por percolação:		3									
18	a. Corpo de prova com $\varnothing$ = 2"						3					
	Compressão triaxial tipo S:		18									
19	a. Corpo de prova com $\varnothing$ = 2"						18	20				20
	Compressão triaxial tipo Ssat											
	Saturação do Corpo de prova por percolação:		1									
20	a. Corpo de prova com $\varnothing$ = 2"						1					
21	Corpo de prova moldado estaticamente											
22	Índice de vazios máximo e mínimo de solos não coesivos										6	6
	Cisalhamento direto lento											
23	a. Corpo de prova com 6x6x2cm					12	12					
24	Absorção				1		1					
PROGRAMAS N <sup>OS</sup> : IHX-10V-1091-RE; IHX-10V-1092-RE; IHX-10V-1122-NT; IHX-10V-1123-NT; IHX-10V-1143-RE; GT/008-PG.		ENSAIOS GEOTÉCNICOS DE LABORATÓRIO FUNDAÇÕES: IHX-10V-1110-RE IHX-10V-1112-RE IHX-10V-1138-DT IHX-10V-1158-RE IHX-10V-1150-DT IHX-10V-1121-DT			ENSAIOS GEOTÉCNICOS DE LABORATÓRIO ÁREAS DE EMPRÉSTIMO: IHX-10V-1100-RE IHX-10V-1111-RE IHX-10V-1120-DT IHX-10V-1126-DT IHX-10V-1141-DT GT/ 014 – RR IHX-10V-1130-RE; IHX-10V-1169-RE;			ENSAIOS GEOTÉCNICOS DE LABORATÓRIO DEPÓSITOS DE AREIA E CASCALHO: IHX-10V-1153-DT (NOV/84); IHX-10V-1157-DT (FEV/85).				

**Tabela A1.2.6 - Usina Belo Monte - Ensaios Executados em Rochas de Fundação**

ROCHAS		ENSAIOS							
		Lâminas Petrográficas UNESP Rio Claro	Índices Físicos (TUC/LCEC)	Compressão Simples por Deformabilidade (TUC/LCEC)	Tração (TUC/LCEC)	Cisalhamento Direto (LCEC)	Expansão (LCEC)	Abrasão Los Angeles (TUC)	Raios X (IPT)
MIGMATITO	Amostras 1, 3 e 4 (pouca foliação)	3	3	3	3	-	-	1	-
	Amostras 2, 8, 9, 10 e 11 (sem foliação)	5	3	3	3	-	-	1	-
	Amostras 5, 6, e 7 (com foliação)	3	3	3	3	-	-	1	-
	Amostras 12 e 13 (cataclasado)	2	3	3	3	-	-	1	-
	Amostras 16 e 17 (alterado)	1	3	3	3	-	-		-
Cataclasito/ Milonito Amostras 14 e 15		3	3	3	3	-		-	-
Folhelho Amostras 18, 19 e 20		-	3	3		4	3	-	-
Ritmito Amostras 21, 22, 23 e 24		-	4	4	3	4	4	-	-
TOTAL		17	25	25	21	8	7	4	-

Programa Nº: GT/012-PG

Relatórios Nº: TUD-40-6449-RE

IHX-16V-1049-DT (DB-31)

IHX-16V-1050-DT (DB-32)

#### 2.4.4 Diques do Reservatório Intermediário

Os materiais naturais de construção e fundação encontrados na região dos novos diques implementados no arranjo atual, por apresentarem origem geológica e petrográfica semelhante aos estudados anteriormente na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade nos Sítios Belo Monte e Bela Vista (antigo Juruá), não foram ensaiados. Por isso, foram adotados os mesmos parâmetros obtidos anteriormente para estes materiais.

Para a fase do Projeto Pré-Executivo, recomenda-se a realização de ensaios nestes materiais, visando a aferição dos valores adotados.

#### 2.4.5 Diques Estudados na Fase do Projeto de Viabilidade

A quantificação dos ensaios executados para os materiais naturais de construção e de fundação está apresentada, respectivamente, nas Tabelas A1.2.7 e A1.2.8.

## UHE BELO MONTE

Tabela A1.2.7 - Diques - Ensaios Executados em Solos das Áreas de Empréstimo

Dique	Número de Áreas Investigadas	Volumes Investigados (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	TIPOS DE ENSAIOS					
			Granulometria com Sedimentação	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Densidade dos Grãos	Compactação	Umidade Natural
DIK-03	03	1,8	12	12	12	12	06	27
DIK-07	02	4,7	24	24	24	24	12	39
DIK-08	05	12,4	68	68	68	68	34	124
DIK-10A	01	0,5	10	10	10	10	05	11
DIK-11	01	0,8	06	06	06	06	03	10
DIK-13	05	12,4	70	70	70	70	35	156
DIK-14A	01	2,1	08	08	08	08	04	26
DIK-14C	03	5,4	24	24	24	24	12	69
DIK-14D	02	3,3	18	18	18	18	09	37
DIK-14E	01	1,9	12	12	12	12	06	28
DIK-18	01	0,6	08	08	08	08	04	11
TOTAL	25	45,9	260	260	260	260	130	538

Referência: Programa N<sup>os</sup> GT/010-PG  
GT/011-PG  
Relatórios N<sup>os</sup> IHX-16V-1013RE  
GT/020-RR  
GT/021-RR  
GT/022-RR  
GT/023-RR

Tabela A1.2.8 - Diques do Sítio Belo Monte - Ensaios Executados em Solos de Fundação

DIQUE	TIPOS DE ENSAIO										
	CARACTERIZAÇÃO						Permeabilidade (*)	Adensamento com Inundação	TRIXIAL		
	Granulometria com Sedimentação	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Densidade Natural	Densidade dos Grãos	Umidade Natural			R̄	R̄ sat	S
DIK-08	1	1	1	1	1	1					
DIK-11	1	1	1	1	1	1	1		1	1	
DIK-13	3	3	3	4	4	4	4	1	3	4	1
DIK-14C	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
DIK-14D	1	1	1	2	2	2					
TOTAL	7	7	7	9	9	9	6	1	5	6	2

\* Determinada em ensaios triaxiais (R<sub>sat</sub>), durante a saturação por percolação.

Referência: Programa N<sup>o</sup> IHX-AR-7 N<sup>o</sup> 031/G.T. (Ata de Reunião)

Relatório N<sup>o</sup> G.T./026RR

## UHE BELO MONTE

### 2.4.6 Canais de Adução (Transposição Cobal - Santo Antônio)

Os ensaios em solos ocorrentes neste trecho dos Canais de Adução resumiram-se à 1ª etapa, tal como ocorreu em relação aos materiais de construção dos diques.

Todos os ensaios foram efetuados no Laboratório de Solos do CNEC, em São Paulo, conforme apresentado na Tabela A1.2.9, e concluídos em março de 1983.

**Tabela A1.2.9 - Canais de Adução - Ensaios Executados em Solos de Fundação**

Item	Ensaio	Fundações	
		CNEC - SP	
		1ª Fase	Totais
01	Densidade de grãos	6	6
02	Limites de liquidez e plasticidade	6	6
03	Análise granulométrica com sedimentação	12	12
04	Umidade natural	25	25
05	Densidade natural	25	25

Referências: Programa Nº IHX-10V-1092-RE  
Relatório Nº IHX-10V-1112-RE

## 3. GEOLOGIA DA ÁREA DO RESERVATÓRIO

A região que abrange o reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, situada próxima à cidade de Altamira e à rodovia Transamazônica, é caracterizada por baixa densidade de informação geológica pré-existente, sem conhecimento suficiente para uma caracterização no nível de levantamento básico da área diretamente afetada.

O trabalho de geologia de maior detalhe era o Projeto Sulfetos de Altamira-Itaituba do DNPM/CPRM na escala 1:100.000 (Macambira et alii, 1977), restrito, porém, à faixa da rodovia Transamazônica; já o Projeto RADAM (Silva, et alii, 1974), na escala 1:1.000.000, era o de maior abrangência.

A necessidade de se obter um maior conhecimento geológico exigiu, durante a 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, a realização de um levantamento geológico básico na escala 1:250.000, objeto deste Capítulo. Ressalta-se que, estas informações foram incorporadas no mapa geológico da CPRM, folha SA 22-Belém, editado em 2004.

### 3.1. ESTRATIGRAFIA E LITOLOGIA


O mapeamento geológico realizado na Volta Grande do Xingu permitiu definir as unidades lito-estratigráficas presentes na região do reservatório, cuja distribuição é apresentada no desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0002.

As unidades geológicas situam-se no contexto da borda leste do Craton Amazônico, escudo Brasil-Central, em seu limite com a Sinéclise do Amazonas e representadas por rochas metamórficas do embasamento cristalino, sedimentos paleozóicos e terciários da Bacia Sedimentar do Amazonas e coberturas alúvio-coluvionares, conforme coluna estratigráfica apresentada na Figura A1.3.1.

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

Figura A1.3.1 - Coluna Estratigráfica do Reservatório de Belo Monte

ERA	PERÍODO	UNIDADES		SEÇÃO COLUNAR	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	CORRELAÇÃO
		COMPLEXO	FORMAÇÃO			
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	XINGU	ALUVIÕES/ COLUVIÕES		Qa - AREIAS, CASCALHOS, SILTES, ARGILAS, NÍVEIS LATERÍTICOS Qca - AREIAS ARGILOSAS COM FRAGMENTOS DE LATERITA E QUARTZO Qat - TERRAÇOS	
	TERCIÁRIO		COBERTURA INDIFERENCIADA		TQci - SEDIMENTOS ARENOSOS INCONSOLIDADOS (?)	
			ALTER DO CHÃO		Tac - AREIAS FINA A GROSSA, CAULÍNÍFICAS, ARGILOSA, VARIEGADA	FORMAÇÃO BARREIRAS (ISSLER et al. 1974, SANTOS et al. 1975)
MESOZÓICA	CRETÁCEO	DIABÁSIO PENATECAUA	DKp - DIABÁSIO EM FORMA DE "SILLS" E DIQUES		DIABÁSIO CASSIPORÉ (LIMA et al. 1974), DIABÁSIO PIRIQUITOS (ALMEIDA E NOGUEIRA FILHO, 1959)	
	JURÁSSICO					
PALEOZÓICA	DEVONIANO	CURUÁ	Dc - FOLHELHOS E SILTITOS CINZA LAMINADOS			
		ERERÊ	De - SILTITOS, FOLHELHOS E ARENITOS MUITO FINOS ALTERNADOS			
		MAECURU	Dm - ARENITOS FINOS A GROSSOS COM ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA/PLANO-PARALELA, CINZA CLARO A ARROXEADO COM NÍVEIS SILTO ARGILOSOS			
	SILURIANO	TROMBETAS	St - RITMITOS, ARENITOS FINOS, SILTITOS, FOLHELHO PRETO A CINZA ESCURO PIRITOSO. NÍVEL BASAL CONGLOMERÁTICO. LENTES DE ARENITO MUITO FINO			
PRÉ-CAMBRIANA		UNIDADES III, IV, V	MILONITOS, VEIOS DE QUARTZO (?) Axxiii - MIGMATITOS DE ESTRUTURAS E COMPOSIÇÕES VARIADAS COM ENCRAVES DE ROCHAS DAS UNIDADES I E II E GRANITÓIDES SUBORDINADOS Axxiv - GRANITÓIDE SIN-CINEMÁTICOS COM GNAISSES E MIGMATITOS SUBORDINADOS Axxv - GRANITÓIDES TARDI / PÓS-CINEMÁTICOS Vqzr - VEIOS DE QUARTZO DEVIDOS AOS EFEITOS REMOBILIZANTES NAS UNIDADES III, IV E V (?)	UNIDADE V CORRELAÇÃO AO GRANITO JURUENA (?) (SILVA et al. 1974); GRANODIORITO PARAUARI (MELO et al. 1985); GRANODIORITO RIO MARIA (DALL AGNOL et al. 1986)		
		UNIDADES II	Axii - SEQÜÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR, METABASALTOS, ANFIBÓLIO XISTOS, FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA, METARENITOS, METASSILTITOS E METACONGLOMERADOS.	FORMAÇÃO RIO FRESCO (?) GRUPO GRÃO-PARÁ, SEQÜÊNCIA SALOBO-POJUCA (IRATA et al. 1982)		
		UNIDADE I	Axi - GNAISSES GRANODIORÍTICOS, GNAISSES TONALÍTICOS, GRANODIORITOS, TONALITOS, ANFIBOLITOS, ETC.			

## UHE BELO MONTE

### 3.1.1 Embasamento Cristalino - Complexo Xingu

O Complexo Xingu, na área mapeada, compreende um conjunto de rochas granitóides e metavulcano-sedimentares, mais ou menos deformadas, migmatizadas e penetradas por corpos graníticos sin, tardi e pós-tectônicos. Neste conjunto, baseado em características morfológicas, estruturais e petrográficas, podem ser identificados cinco grupos de rochas informalmente denominadas Unidade I a Unidade V, e assim caracterizados: Unidade I – predomínio de rochas gnáissicas, granulíticas, granodioríticas, tonalíticas e anfibolíticas, representando núcleos não remobilizados ou pouco remobilizados; Unidade II – representada por rochas metavulcano-sedimentares encravadas nos gnaisses, migmatitos e granitóides; Unidade III – predomínio de migmatitos de estrutura e composição variadas, tendo gnaisses e granitóides subordinados; Unidade IV – predomínio de granitóides sin-cinemáticos; e Unidade V – granitóides com notáveis efeitos hidrotermalizantes, provavelmente tardi a pós-cinemáticos.

- Unidade I (AxI)

A Unidade I compreende um conjunto de núcleos gnáissicos de composição granodiorítica a tonalítica, pouco ou não remobilizados, com encraves básicos de natureza predominantemente anfibolítica. Ocorre geralmente sob formas de lentes ou faixas fusiformes, alongadas, na direção WNW-ESE e com distribuição principal na porção sudoeste da área mapeada (proximidades da Fazenda Cipoeba) e proximidades da Serra do Piranga ou Chico Gomes. Sustenta um relevo pouco acidentado, com formas semelhantes às da Unidade III.

As rochas são ortoderivadas, tonalíticas, granodioríticas e quartzo-monzoníticas, exibindo diferentes graus de migmatização. São geralmente de cor cinza, por vezes claras ou escuras, de granulação fina a grossa, estrutura gnáissica homogênea e textura granoblástica. Microscopicamente, exibem textura granoblástica inequigranular a blastogranular, por vezes porfiroclástica com matriz orientada e aspectos locais de fluxo (milonítica).

As rochas caracterizam-se pela presença de foliação milonítica, marcada principalmente pelo quartzo achatado e estirado. Localmente, essa foliação se mostra menos desenvolvida, em decorrência de deformação menos intensa. Efeitos de catáclase ocorre, geralmente, em zonas limitadas, coincidentes ou não com a foliação milonítica.

- Unidade II (AxII)

A Unidade II compreende um conjunto de rochas metavulcânicas máficas/ultramáficas e metassedimentares clásticas e químicas, que representam porções de seqüências vulcano-sedimentares, possivelmente do tipo “greenstone belt”. Esse conjunto deformado e parcialmente migmatizado foi designado como Formação Três Palmeiras pelo Projeto RADAM. Dela deriva grande parte do ouro que ocorre na região de Altamira e a ela se associam minerais metálicos, como cobre, níquel, platina e prata.

Distribui-se transversalmente aos rios Bacajá, Ituna e Itatá, em forma de faixas ou lentes alongadas de direção WNW-ESE, freqüentemente associada às faixas da Unidade I, com a qual mantém contatos tectônicos. Blocos de xistos com encraves na Unidade III, além de porções migmatizadas da Unidade II verificadas nas



## UHE BELO MONTE

proximidades do Sítio São Félix, permitem posicionar esta Unidade como sendo anterior à fase de migmatização regional.

Os tipos litológicos analisados petrograficamente compreendem metassedimentos químicos (derivados de margas, formação ferrífera, sedimentos ferruginosos e manganésíferos); clásticos (xistos quartzosos e quartzitos derivados de arenitos e arenitos argilosos); metavulcânicas (derivadas de tufos, andesitos e piroclásticas); e, metamáficas/meta-ultramáficas (derivadas de diabásio, gabro e dioritos). Exibem paragêneses de fácies anfíbolito e posterior retro e/ou hidrotermalismo na fácies xisto verde.

Em termos estruturais, a unidade exibe uma xistosidade bem preservada, paralela ao bandamento composicional, por vezes embutindo dobras fechadas sem raiz e em bainha. Em muitos locais, essa xistosidade encontra-se destruída por cataclase, ao longo de zonas de falhas rúpteis que têm planos de falha e estrias de alto ângulo.

- Unidade III (Axr III)

Os termos litológicos típicos da Unidade III encontram-se representados pelos migmatitos, aos quais estão associados pequenos núcleos gnáissicos, granodioríticos, tonalíticos e anfíbolíticos das Unidades I e II, e rochas granitóides das Unidades IV e V. Apresentam contatos gradativos ou tectônicos com as demais seqüências, estando possivelmente cortados pelos granitóides da Unidade V.

Sua área de ocorrência apresenta a maior expressão dentre as demais unidades mapeadas. Sustenta, geralmente, um relevo com formas côncavo-convexas, em alguns locais mais acidentados e, em outros, mais aplainados, possivelmente devido a variações composicionais, condicionamento tectônico ou ao estágio evolutivo da paisagem.

Em sua maior parte, os migmatitos classificados segundo conceitos estabelecidos por Mehnert (1968) constituem tipos diatexiticos evoluídos, principalmente Nebulíticos (M12) e "Schlieren" (M11), de composição predominantemente granodiorítica e granítica. Aparecem, localmente, tipos Ocelares (M9), Acamados (M5) e "Schölen" (M3), além de núcleos granitóides.

O neossoma é predominantemente róseo a róseo esbranquiçado, maciço, fino a médio, de composição granítica e, às vezes, com biotita e/ou hornblenda disseminada. Ocorre em formas de lentes e/ou veios discordantes, assimilando o paleossoma (contatos difusos), ou contatos bruscos.

O paleossoma é geralmente de natureza anfíbolítica ou constituído por biotita/hornblenda gnaisses (de composição granodiorítica-tonalítica). É negro esverdeado nos primeiros e cinza médio escuro nos gnaisses. Tem granulação fina a grossa e geralmente é bem foliado.

A estrutura mais proeminente desta Unidade é a gnaissificação, com feições miloníticas bem marcadas pela variação composicional e presença de quartzo estirado. Por vezes é possível verificar, localmente, nas porções paleossomáticas menos deformadas, além de dobras fechadas sem raiz, a presença de uma foliação anterior (Sn).

## UHE BELO MONTE

- Unidade IV (Axr IV)

Esta unidade encontra-se representada essencialmente por granitóides, embora não seja rara a presença de porções migmatíticas, além de núcleos anfíbolíticos e gnáissicos subordinados. Ocorrem em forma de corpos fusiformes, orientados na direção ESE-WNW, ocupando áreas restritas e, muitas vezes, não mapeáveis, raramente excedendo a 10 km de extensão, como nas proximidades do baixo Bacajá e Bacajaí. Apresenta relevo acidentado, com morros e morrotes de formas côncavas e côncavo-convexas, geralmente exibindo grandes aglomerados de matacões.

De modo geral, constitui-se de rochas de coloração rósea, granulação média, equigranular a inequigranular, com estrutura maciça a levemente orientada e composição com tendência granítica.

- Unidade V (Axr V)

Os granitos desta unidade ocupam áreas de reduzida expressão na região do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, ocorrendo em corpos isolados, com formas variadas, e por vezes, discordantes da estruturação regional.

São equigranulares, de granulação fina a média, cor rósea, ligeiramente orientados e de composição granítica.

Ao contrário das demais unidades que atingem a fácies metamórfica xisto verde alta e anfíbolito baixa, esta unidade atinge apenas a fácies xisto verde com recristalização tardi-tectônica, seguida de hidrotermalismo.

A foliação, por vezes quase imperceptível, pode ser notada pela orientação dos minerais planares, principalmente da biotita.

### 3.1.2 Bacia Sedimentar do Amazonas

#### Formação Trombetas (St)

A Formação Trombetas ocorre em faixa alongada, com direção predominantemente ENE-WSW, acompanhando, grosso modo, a borda sul da bacia sedimentar e com espessura de aproximadamente 50 m.

Morfológicamente, constitui uma pequena depressão no reverso da “cuesta”, difícil de ser reconhecida pela fotointerpretação e que, por vezes, encontra-se recoberta pelos sedimentos Maecuru. Encontra-se representada predominantemente por folhelhos negros a cinza escuros, carbonosos, fossilíferos, piritosos, laminados e, em parte, expansivos, que gradam verticalmente a siltitos creme e arenitos muito finos, esbranquiçados. Essas litologias por vezes se alternam, constituindo verdadeiros ritmitos. As sondagens no Sítio Belo Monte exibem alternâncias entre pacotes de folhelhos e ritmitos, com a base da unidade caracterizada por um nível métrico de conglomerado basal.

#### Formação Maecuru (Dm)

A Formação Maecuru compreende um conjunto arenoso, com espessura em torno de 60 m, assentada de forma discordante e erosiva, tanto sobre a Formação Trombetas como sobre o Complexo Xingu. Acompanha a borda sul da bacia sedimentar, onde sustenta um relevo tabular, com encostas abruptas em forma de paredões e com

## UHE BELO MONTE

rocha exposta, geralmente recoberta por películas de hidróxido de ferro/sílica. Constitui-se predominantemente de arenitos finos a médios, mal selecionados, brancos a amarelo avermelhados, com estratificação cruzada acanalada e subordinadamente com conglomerados em lentes maciças, arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada tabular e lentes decimétricas de argilito vermelho. Em alguns locais, esta unidade apresenta erodibilidade relativamente alta, além de ser portadora de cavernas em quase toda sua extensão. Seus níveis conglomeráticos podem ser portadores de minerais de pláceres.

### Formação Ererê (De)

Os siltitos e arenitos da Formação Ererê ocorrem principalmente ao longo da rodovia Transamazônica, onde sustentam um relevo tabular de encostas íngremes (côncavas), com inúmeros degraus (rupturas de declive) topográficos. Apresenta espessura de pelo menos 80 m e assenta-se harmoniosamente sobre a Formação Maecuru. É constituída por um conjunto muito variado de siltitos, arenitos muito finos, folhelhos e lentes de conglomerado que se alternam e apresentam estruturas tipo marcas onduladas, laminação cruzada e paralela, e estratificação cruzada acanalada. Tem como principal característica a rápida variação faciológica. Os níveis arenosos, por vezes com mais de 0,5 m, podem apresentar grande erodibilidade.

### Formação Curuá (Dc)

A Formação Curuá ocorre na região de Altamira e acompanha os espigões ao norte e ao sul da rodovia Transamazônica, sustentando um relevo aplainado e muito pobre em afloramentos. É constituída essencialmente por folhelhos cinza escuros a negros e siltitos arenosos cinza, com espessura preservada superior a 40 m. Exibe características litológicas semelhantes às da Formação Trombetas, com níveis de concentração de sulfetos e presença de minerais expansivos.

O pacote sedimentar silúrio-devoniano, representado pelas Formações Trombetas, Maecuru, Ererê e Curuá, encontra-se recortado, de modo geral, por falhas predominantemente de caráter normal e principalmente NE e NS, com evidências de ativamento pós diabásio Penatecaua.

### Diabásio Penatecaua (JKp)

Os corpos de diabásio ocorrem em vasta área ao redor da cidade de Altamira e em corpos menores, no centro norte da Volta Grande do rio Xingu, associados principalmente aos sedimentos da Bacia Amazônica. Sustentam vertentes com declive alto e apresentam formas côncavo-convexas bem desenvolvidas, com padrão de drenagem geralmente sub-retangular. Ocorrem sob forma de "sills" e secundariamente como diques, de configurações e espessuras variadas e geralmente limitadas por falhas. Encontram-se representados, principalmente, por diabásio negro-esverdeado, maciço, homogêneo e muito denso.

## 3.1.3 Coberturas Cenozóicas

### Formação Alter do Chão (Tac)

A Formação Alter do Chão constitui-se de sedimentos arenosos, semiconsolidados e inconsolidados, laterizados e com crostas limoníticas, recobrimo discordantemente as

## UHE BELO MONTE

unidades mais antigas. Ocupa os espigões mais altos, sustentando relevo plano (planaltos residuais tabuliformes) que, em conjunto, compõe uma ampla superfície de suave mergulho para a calha do rio Amazonas.

Apresenta grande variação litológica, sendo constituída predominantemente por arenitos conglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e níveis lenticulares de conglomerado maciço e argila vermelha. É extremamente erodível, altamente permeável ( $10^{-3}$  a  $10^{-2}$  cm/s), com níveis de argilito e/ou laterita impermeáveis, o que facilita a instalação de voçorocas.

### Cobertura Detrítica Indiferenciada (Tqci)

Os trabalhos de fotointerpretação indicam, na região da Serra Três Palmeiras, a presença de alguns depósitos tabulares, isolados, associados à Unidade II do Complexo Xingu, de material com características morfológicas similares à Formação Alter do Chão. Possivelmente correspondem a pavimentos detrítico-lateríticos relacionados aos níveis itabiríticos e xistosos da Unidade II.

### Aluviões (Qa) e Coluviões (Qc)

Os depósitos aluvionares e coluvionares distribuem-se superficialmente, recobrando as unidades geológicas mais antigas.

Os aluviões ocorrem em forma de terraços antigos em cotas mais elevadas ou em corpos alongados, acompanhando o curso das principais drenagens atuais, sob a forma de depósito de canal ou de várzea. Os primeiros estão representados por barras longitudinais e de meandro, constituídos, essencialmente, por areias de granulação fina, média e grossa e cascalhos. Os depósitos de várzea estão representados por argilas, argilas arenosas e orgânicas, constituindo as áreas alagadas durante as cheias e separadas dos canais por linhas areno-argilosas (diques marginais).

Os colúvios distribuem-se ao longo de depressões locais e nas encostas das principais elevações, estando atualmente submetidos a processos erosivos. Apresentam espessura e granulometria variáveis em função das condições topográficas e da natureza da área supridora dos sedimentos.

Os aluviões, em especial, apresentam grande importância econômica para a região, tanto os depósitos de argila para cerâmica, quanto a areia e cascalho para obras civis, além das ocorrências de ouro e cassiterita da região do Bacajá.

## 3.2. GEOLOGIA ESTRUTURAL

### 3.2.1 Caracterização Regional

A área do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte situa-se em domínio de rochas cristalinas e, na sua porção norte, em rochas fanerozóicas da Bacia Sedimentar do Amazonas. As rochas cristalinas são constituintes da porção norte do Escudo do Brasil Central (Almeida et al., 1977). Sob outros conceitos, elas podem ser também posicionadas:

## UHE BELO MONTE

- no Craton Amazônico, dentro do quadro geotectônico do Proterozóico Superior (Almeida et al., 1977);
- no Cinturão Maroni-Itacaiúnas, dentro do suposto quadro geotectônico do Proterozóico Inferior (Cordani et al., 1979);
- na província estrutural do Tapajós – subprovíncia Carajás (Almeida et al., 1981);
- no Bloco Araguacema, dentro do quadro geotectônico do fim do Arqueano (Hasui et al., 1984);
- na província geológica da Amazônia Oriental (Lima, 1985).

A área do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte situa-se no chamado bloco Escalço, com limite dado, ao sul, pelo lineamento Xambioá-Piranhaquara e, ao norte, pela borda sul da Bacia Sedimentar do Amazonas (Figura A1.3.2).

### 3.2.2 Estruturação Local

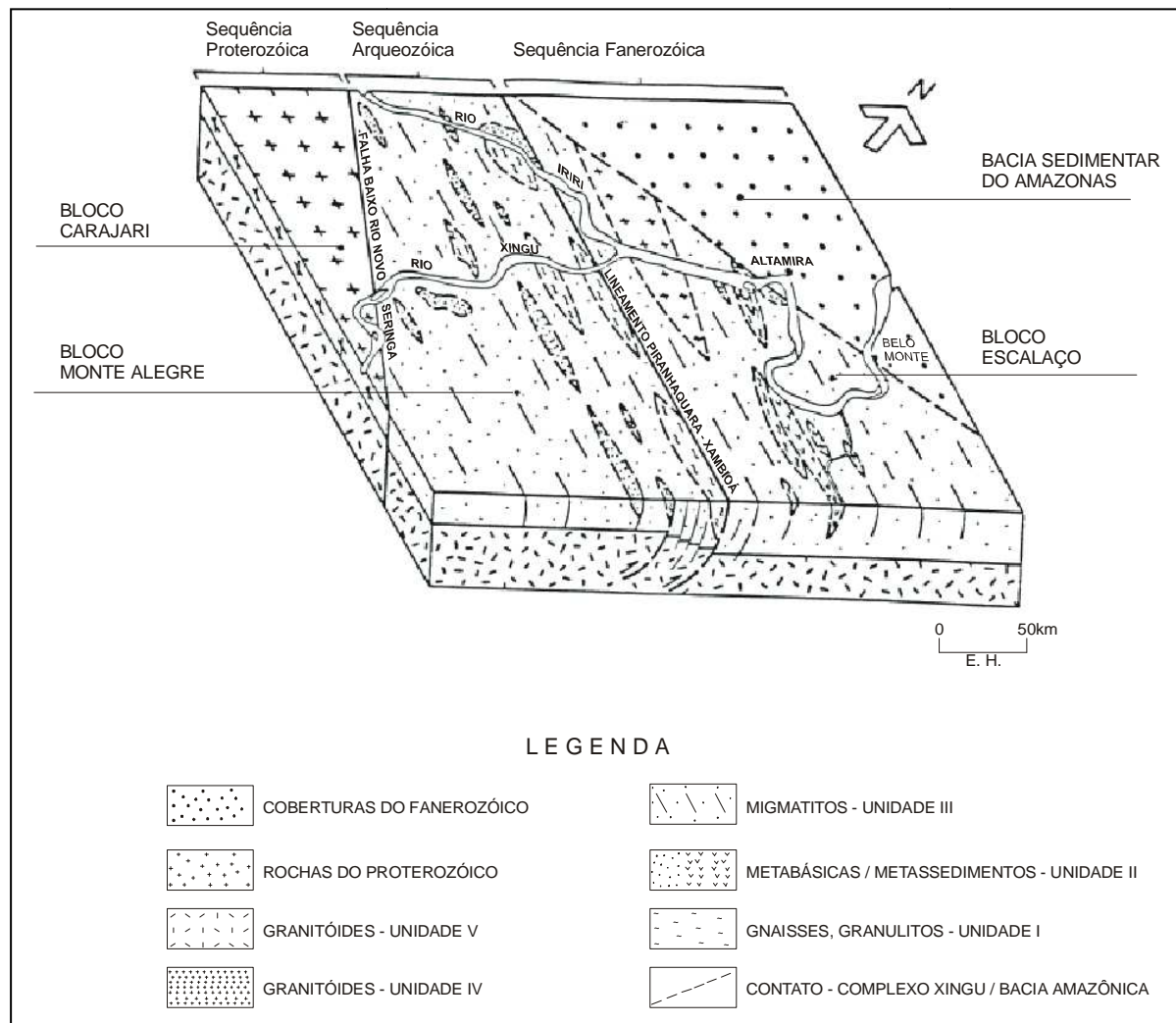
Os trabalhos de campo permitiram a identificação de, pelo menos, quatro grandes eventos deformacionais principais, caracterizados por diferentes estilos estruturais de natureza diferentes: evento dúctil de baixo ângulo; evento dúctil direcional de alto ângulo; evento rúptil direcional e evento rúptil vertical.

O primeiro e mais antigo refere-se ao tempo Arqueano ( $\cong 2500$  Ma), caracterizado pelo provável alçamento de rochas de níveis estruturais profundos em regime dúctil e que sofreram deflexões próximas aos níveis crustais mais superficiais, assumindo mergulhos elevados com o desenvolvimento de foliações subvertical/vertical (ver Figura A1.3.3).

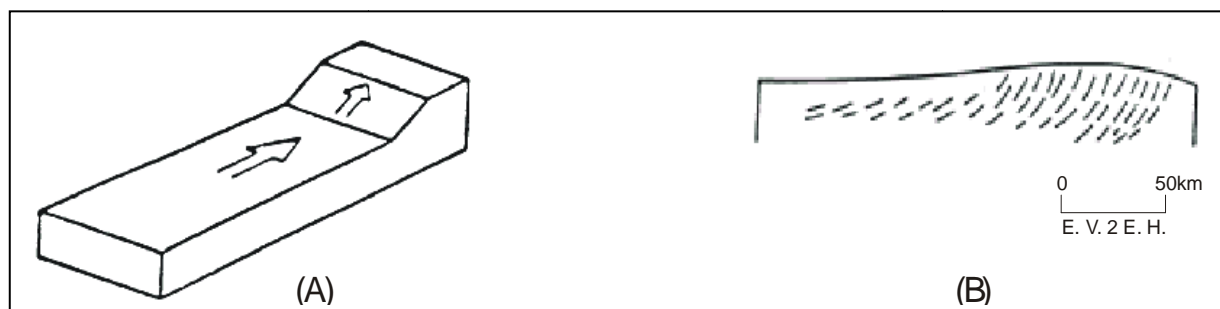
# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

**Figura A1.3.2 - Modelo Preliminar Esquemático do Evento de Cisalhamento Dúctil de Baixo Ângulo antes da Incidência dos Eventos Proterozóicos e Fanerozóicos na Região do Médio / Baixo Xingu. M. V. Santos (1986).**



**Figura A1.3.3 – (A) Modelo de Rampa Frontal para Cisalhamento Dúctil de Baixo Ângulo. A Seta Indica o Sentido do Movimento do Bloco Superior não Representado. (B) Linhas De Fluxo Milonítico Do Evento Dúctil De Baixo Ângulo Em Perfil. M. P. Coward (1980).**



O evento dúctil direcional de alto ângulo, referido ao Ciclo Transamazônico (2500 a 1900 Ma), caracteriza-se geralmente por extensas faixas retilíneas, pouco espessas, que modificaram a geometria das rochas, bem como das estruturas anteriormente formadas.

No evento rúptil direcional, correspondente ao Proterozóico (1900 a 580 Ma), desenvolveram-se grandes zonas de descontinuidades rúpteis, marcadas pelo desenvolvimento de faixas de cataclastos e caracterizadas por vários pulsos ou manifestações ao longo do tempo, às quais se associam, também, algumas feições de caráter distensivo.

Finalmente, ao evento rúptil vertical, desenvolvido principalmente no final do Proterozóico e Fanerozóico, de caráter predominantemente distensivo, associam-se falhas normais de importante significado no controle e estruturação da Bacia Sedimentar do Amazonas, com seu clímax no Mesozóico, quando da Reativação Wealdeniana.

### Evento Dúctil de Baixo Ângulo

Os conjuntos litológicos das Unidades I, II, III e IV, incluídas no Complexo Xingu, apresentam elementos estruturais ligados ao cisalhamento dúctil de baixo ângulo em grande escala, cujas feições mais importantes estão representadas pelo aleitamento tectônico, foliação milonítica, lineação de estiramento (paralela à orientação dos minerais contidos no plano da foliação) e dobras desenvolvidas localmente.

O aleitamento tectônico constitui uma das feições mais importantes registradas sobre as Unidades I, II, III e IV, representadas pela disposição das unidades litológicas na forma de camadas e pacotes rochosos descontínuos, subconcordantes e concordantes, orientadas na direção NW, definindo uma estruturação regional.

A foliação milonítica é geralmente paralela ao aleitamento tectônico, caracterizada por ordenação planar, entre outras, de lentes de quartzo estirados, macrocristais orientados e bandamento, decorrentes do fluxo dúctil. Apresenta concentração máxima em torno de N60° e 65°W e secundária em torno N35°W e EW, mantendo-se predominantemente subvertical.

É comum a presença de biotita, anfibólio, quartzo e feldspato potássico, além de agregados minerais e encraves alongados formando lineações contidas nos planos de foliação, porém, sem definição de seu estiramento máximo.

## UHE BELO MONTE

As dobras são raras na Unidade IV e mais comuns nas Unidades I, II e III. Ocorrem isoladas dentro da massa rochosa, sendo desenhadas pela foliação milonítica. As orientações dos traços axiais são variáveis, tendo-se medido os seguintes máximos: N65°W/35°, S65° E/35°, N25°W/ 70° e S54° E/70°, que definem uma guirlanda com bissetriz em S25°W/86°, indicativa de direção de movimento cisalhante para N25°E.

As informações disponíveis são ainda insuficientes para distinguir os diversos processos responsáveis pelo desenvolvimento das várias gerações de elementos litoestruturais, ao tempo possivelmente Arqueano (> 2500 Ma), embora o padrão geométrico geral permita a dedução de um modelo aparentemente não muito complexo para este evento.

Parte das Unidades I e II representariam restos de seqüências supracrustais que foram envolvidas pelos processos de cisalhamento dúctil, associados a pulsos progressivos de deformação e migmatização/granitogênese, gerando massas migmatíticas e corpos granitóides, respectivamente correspondentes às Unidades III e IV. O metamorfismo atingiu fácies anfífolito, com variações localmente para granulito e xisto verde alto.

### Evento Dúctil Direcional de Alto Ângulo

Zonas de cisalhamento dúctil de alto ângulo, com carácter direcional, representadas por faixas orientadas nas direções WNW, NW e NE, impuseram modificações na geometria do quadro estrutural do evento cisalhante de baixo ângulo.

Esse evento encontra-se representado por “shear zones”, de direção principal N80°W, com extensões que variam desde centimétricas até várias dezenas de quilômetros, como o lineamento Mangueira, com largura da ordem de 1 km, e os lineamentos de Furo Seco, Baleia, Ticaruca, Paquiçamba e o sistema do alto Ituna/Bacajaí, que integram o “sistema de falhas NW”, referido por Issler et al. (1974), como “falhas” da Volta Grande entre Vitória e Altamira. A este sistema associam-se “shear zones” secundárias, bem desenvolvidas, dextrais, com direções N40°E e N40°W, e sinistrais, com direção N52°E, bem como provável zona de distensão (N60°-80°E). O sistema N40°E encontra-se reativado pelo evento rúptil e, na direção N52°W, desenvolvem-se apenas pequenas falhas sem projeção regional.

O evento, ainda sem posicionamento preciso no tempo geológico, é admitido como tendo ocorrido durante o Transamazônico (2500 a 1900 Ma), associando-se-lhe migmatogênese localizada e de intensidade variada.

### Evento Rúptil Direcional

Embora não se tenha reconhecido rochas referentes ao Proterozóico Médio/Superior na região do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, é nesse intervalo de tempo (1900 a 580 Ma) que se encontram registradas as principais estruturas de carácter rúptil direcional. Estão elas relacionadas aos processos de grande envergadura e abrangência regional, a que se vinculam o vulcano-plutonismo Uatumã (1900 – 1700 Ma), à acumulação de cobertura sedimentar com ou sem vulcânicas (1700 – 1000 Ma), à reativação Parguazense (1600 – 1500 Ma) e ao evento Rondoniense (K’Mudku, Nickeerie, Orinoquense, Jarí-Falsino, 1300 – 1000 Ma).

A atuação desses processos de longa duração e suas atividades episódicas, caracterizadas por esforços tensionais e cisalhantes sobre um embasamento de



## UHE BELO MONTE

natureza anisotrópica, foram as responsáveis pelo complexo padrão das feições rúpteis e seus vários ciclos ou pulsos de reativações.

Como principal sistema de cisalhamento rúptil, caracteriza-se o de direção N40°E, representado pelas falhas do rio Itatá, da fazenda Cipoeba e do Igarapé Queiroz, todas sinistras e possivelmente ativadas já no evento dúctil direcional. Exibem notáveis deslocamentos sobre as rochas da Unidade II, na região do Bacajá, e juntamente com as falhas dúcteis e rúpteis de direção N65°W, compõem o sistema das falhas da Volta Grande do Xingu, referido por Issler et al.(1974).

Representam a direção N10°E as falhas dextrais do Avelino e a localizada a jusante da Ilha da Taboca, e a ela associa-se o principal sistema de fraturas da região do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte.

As falhas do Paratizinho, Terra Preta, Igarapé Santa Helena e Igarapé Tubarão, todas sinistras e com direção N65°E, apresentam-se reativadas ao tempo Paleozóico, afetando os sedimentos da bacia Amazônica, a última com evidência de reativação até o tempo Quaternário Inferior.

Na direção EW, situam-se as falhas da Cachoeira Bela Vista, do Gorgulho da Rita e do Furo Seco, esta última preenchida por silexito e provavelmente reativada para caráter normal.

As falhas do quadrante NW, geralmente menos expressivas, representam possivelmente reativações do evento dúctil direcional.

De modo geral, constituem zonas de intenso fraturamento, com formação de brecha e cataclase, sendo comum efeitos de hidrotermalismo associado, tais como epidotização, cloritização e silicificação. Atingem até dezenas de quilômetros e, geralmente, podem encontrar-se preenchidas por quartzo e silexito com reativação para o caráter normal.

Associam-se praticamente a toda direção principal de falha um máximo de falhas secundárias e de fraturas correspondentes, com veios quartzo-feldspáticos e quartzo associados.

A grande variedade nas direções das famílias principais de falhas, a indefinição de sistemas conjugados, além do padrão, às vezes tanto dextral como sinistral, com sentidos opostos para a mesma direção de transcorrência principal, são indicativos da presença de esforços atuantes em pelo menos três etapas distintas, o que não permitiu a elaboração de um modelo cinemático para explicar as principais direções de falhamentos.

Informações de campo, obtidas por relações em microfalhas e analisadas ao nível de afloramento, são sugestivas da seguinte cronologia para as principais famílias de falhas rúpteis: o sistema N80°-90°W seria o mais antigo, seguido pela família N60°W e este pelos sistemas N60°E/ N40°E, com o último evento representado pela direção N10°E. Entre as direções N40°E e N60°E, não foi possível estabelecer uma separação cronológica distinta.

### Evento Rúptil Vertical

Este evento deformacional caracteriza-se predominantemente por falhas de estilo normal, que afetam tanto as rochas do embasamento cristalino como os sedimentos da bacia Amazônica, com rejeitos de até dezenas de metros.

## UHE BELO MONTE

Sobre as rochas do embasamento cristalino, é comum verificar-se, associada às zonas de falhas rúpteis direcionais, a presença de estrias ao longo dos planos antigos, indicativos de reativação, com rearranjo dos blocos em caráter normal. Este padrão de falhas parece ser distinto das falhas normais e apresenta-se com preenchimento de quartzo/silexito que devem estar associados ao evento rúptil direcional e, portanto, mais antigo.

Das quatro famílias principais de falhas rúpteis direcionais reativadas, N85°W, N60°E N20°E e N55°W, as três primeiras apresentam indicação de serem o bloco do norte, o rebaixado, e com mergulhos variando de 55° a 90°.

As mesmas direções de falhas verificadas sobre as rochas do embasamento cristalino são praticamente encontradas sobre os sedimentos da bacia Amazônica. Estão representadas pelos sistemas N55°E, NS, N85°W e N50°W, sendo que algumas delas, como as falhas do Paratizinho, do Igarapé Tubarão e Igarapé Santa Helena, são continuidades de falhas do embasamento e têm também o bloco rebaixado para o norte, indicativo de alívio principal no quadrante NNE-NE.

Essas falhas foram definidas principalmente pela fotointerpretação, sendo difícil sua caracterização no campo, geralmente com seu traço retilíneo e associado a vales de drenagens entulhados por alúvios e colúvios, por vezes com desenvolvimento de escarpas paralelas.

### 3.2.3 Evidências de Tectonismo Recente

A manutenção de certas direções estruturais durante eventos tectônicos distintos e sobre diferentes unidades são sugestivas de várias etapas de reativação ao longo do tempo geológico, na região do baixo/médio Xingu.

Feições geomorfológicas e geológicas observadas em imagens de radar e satélite, em fotos aéreas ou, diretamente, em campo, são indicativas de que a região a jusante de Altamira-Belo Monte encontra-se atualmente sob efeitos de subsidência, em contraste com a região de montante, que exibe várias evidências de ascensão positiva, localmente com alguns pontos em descensão, como ilustra esquematicamente a Figura A1.3.4.

Como principais feições recentes e indicativas da ascensão relativa, a montante da charneira Altamira-Belo Monte, destacam-se:

- a) zonas com terraços aluvionares em cotas mais altas que os atuais aluviões em formação;
- b) regiões em que os terraços se encontram em franca fase de erosão pelas drenagens atuais;
- c) regiões com a floresta desenvolvendo-se diretamente sobre extensas áreas de pedral (topo rochoso mais próximo da superfície);
- d) aparecimento de cavernas em arenitos de formações paleozóicas (principalmente por processos físicos);
- e) aluviões atuais entalhado e retrabalhando aluviões mais antigos;
- f) regiões com colúvio/solo em processo de erosão;

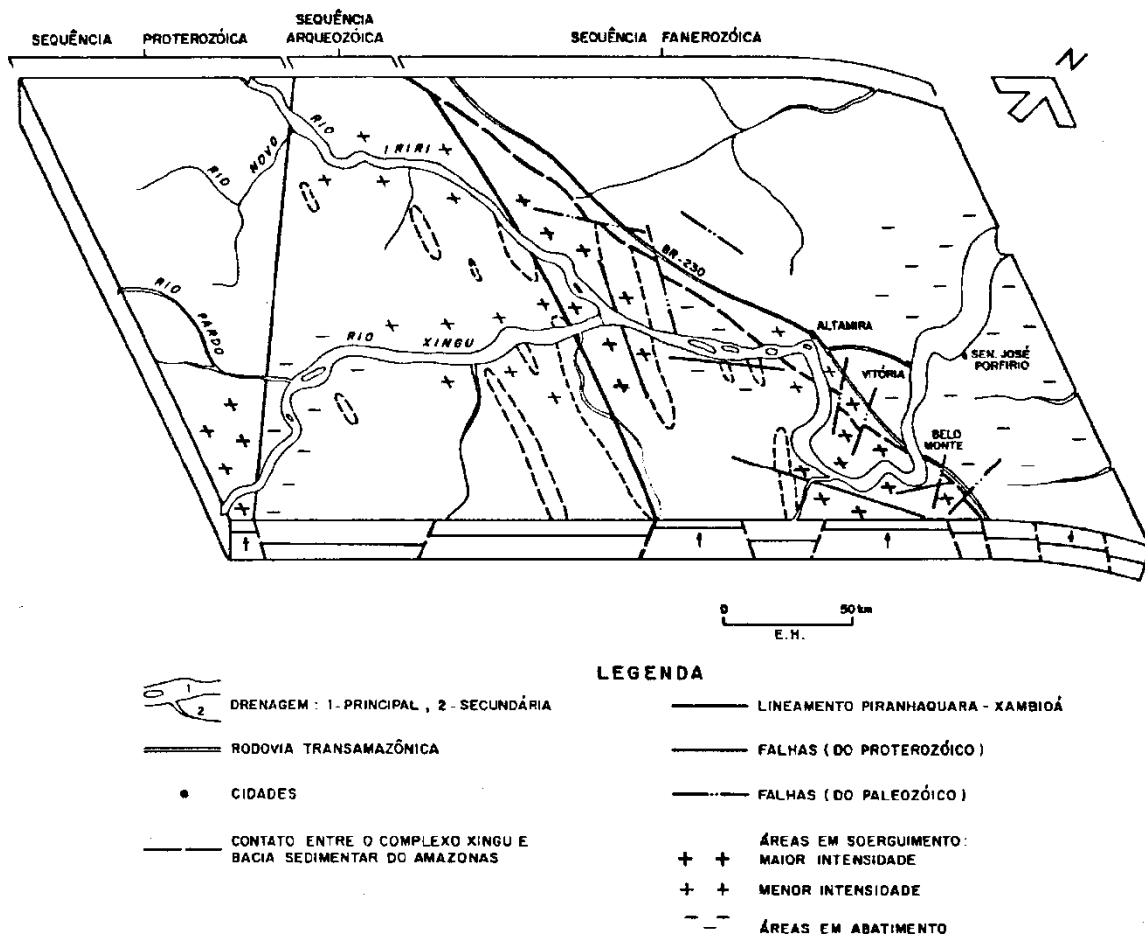
# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

- g) variação lateral brusca, por vezes considerável (desníveis da ordem de 10 m) na espessura de colúvios;
- h) sedimentos, principalmente da Formação Alter do Chão (Terciário), com fenômeno de captura por estrutura N30°E (direção de reativação), apresentando o bloco rebaixado para N e forte ravinamento do bloco soerguido;
- i) aluviões em forma de bacias alongadas e bem desenvolvidas, controladas por lineamentos transversais e com alúvio pouco desenvolvido a jusante;
- j) zonas com concentração anômala de rochas expostas (formação de canais, concentração de corredeiras/cachoeiras) em contraste com regiões de deposição de sedimentos atuais e quase sem afloramento de rocha (concentração significativa de depósitos de areias);
- k) nítido contraste morfológico (em grandes traços), dentro de uma mesma unidade geológica, exibindo zonas muito ravinadas em contraste com zonas aplainadas.

Geralmente, os limites entre as feições mencionadas nas alíneas h, i, j e k são lineamentos ou zonas de falhas.

**Figura A1.3.4 - Modelo Esquemático das Áreas em Soerguimento e Abatimento no Médio / Baixo Vale do Xingu, Proximidades de Altamira. M.V.Santos(1986)**



## UHE BELO MONTE

Tem-se, ainda, como importantes evidências da atuação de tectonismo recente na região:

- manifestação de várias estruturas locais ao longo do tempo geológico, com o desenvolvimento de falhas afetando aluviões atuais e depósitos coluvionares ou através de reativações de estruturas antigas, como verificado em trabalhos de detalhe na região de instalação prevista da UHE Altamira; essas falhas normais têm as direções N10°W, N20°E e N70°E; lineamentos regionais como os do Tapajós e Abacaxis também exibem movimentações, sendo que o primeiro tem manifestações, pelo menos, ao tempo Quaternário Inferior (Santos et al., 1975).
- na região a jusante de Altamira-Belo Monte, embora não se tenha efetuado trabalhos de campo, a principal evidência de descensão é traduzida pelo magnífico efeito de afogamento do baixo Xingu (afluentes com cursos curtos e vales alargados, sofrendo colmatagem com desenvolvimento de formas deltáicas, etc), ao qual se somam também os efeitos da Transgressão Flandriana.

### 3.3. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

A geologia do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte apresenta uma evolução complexa, com diversos ciclos termotectônicos. O evento inicial (Ciclo Guriense?) foi responsável pela colocação de corpos granitóides na crosta, com composição adamelítica, granodiorítica, quartzo-diorítica e tonalítica. Paralelamente ou em estágio posterior desenvolveu-se uma seqüência vulcano-clástica ("greenstone belt") com sedimentos quartzosos, pelíticos e margosos associados a tufos, rochas intrusivas e hipoabissais de composição básica a alcalina.

Todo esse conjunto foi deformado sob condições de deformação dúctil. As rochas granitóides foram transformadas em gnaisses e migmatitos de composição granodiorítica e a seqüência vulcano-sedimentar em xistos e quartzitos. As condições físico-químicas e a direção de esforços deste evento não estão ainda bem definidas, tampouco sua idade, que pode ser correlata ao Ciclo Guriense, mas também pode ser atribuída ao Ciclo Jequié, como parte da deformação a seguir descrita.

O evento seguinte é relacionado ao Ciclo Jequié e corresponde a uma deformação dúctil de baixo ângulo que atingiu fácies anfíbolito baixo. Neste evento houve remobilização regional de félsicos, quando se originaram migmatitos de composição granítica e granitos tipo 3A e 3B, equigranulares. A deformação dúctil foi concomitante ao evento termal e originou foliação gnáissica e milonítica nos gnaisses, migmatitos e granitos. As direções estruturais obtidas em campo indicam que o movimento crustal da época ocorreu de sul para norte.

O estilo tectônico do evento seguinte modificou-se de dúctil de baixo ângulo para dúctil de alto ângulo (Ciclo Transamazônico). Neste ciclo desenvolveram-se falhas transcorrentes com deformação dúctil, vindo a gerar faixas de rochas miloníticas com espessuras centimétricas e até quilométricas e comprimentos de alguns metros a dezenas de quilômetros.

Durante o Proterozóico, as rochas do Complexo Xingu foram deformadas por falhas rúpteis transcorrentes que caracterizam o evento rúptil direcional. Este se processou em várias fases, originando diversas direções de falhamentos que apresentam faixas com brechas e cataclasitos de até dezenas de metros de espessura. Junto a esse

## UHE BELO MONTE

evento desenvolveu-se hidrotermalismo a sílica e a carbonato, e magmatismo intrusivo (alcalinas) correlato ao Ciclo Uatumã.

A tectônica no Fanerozóico caracterizou-se por fases de deformação rúptil de caráter distensivo (vertical) que vieram a controlar a sedimentação na bacia Amazônica. A primeira manifestação pode ser atribuída ao evento que originou a bacia sedimentar (Silúrio-Ordoviciano). A esta se seguiu uma outra que afetou os sedimentos da Formação Trombetas durante sua deposição (Siluriano) e, após esta, ocorreu uma terceira, responsável pelo episódio erosivo silúrio-devoniano. A Formação Trombetas resulta de sedimentação marinha efetuada inicialmente em planície de maré, e depois de plataforma.

Após a discordância silúrio-devoniana, instalou-se uma deposição fluvial com aporte para oeste-sudoeste que formou os sedimentos da Formação Maecuru. O retorno de condições marinhas foi marcado inicialmente por deposição costeira, com linha de costa a oeste-noroeste e leste-sudeste (Formação Ererê). A efetivação do evento transgressivo foi marcada por sedimentação de plataforma (Formação Curuá). Em outras partes da bacia, a sedimentação prosseguiu até a intromissão de corpos básicos do Juro-Cretáceo; na região de Altamira estes sedimentos não estão preservados e as rochas básicas só estão presentes sob a forma de diques e "sills" (Diabásio Penatecaua). Os eventos tectônicos que afetaram estes sedimentos não podem, portanto serem reconstituídos, mas uma tectônica regional distensiva pode ser interpretada como responsável pelo magmatismo e pela erosão pré-Formação Alter do Chão.

No Terciário depositou-se outra seqüência fluvial (Formação Alter do Chão) responsável pelo aplainamento de grandes extensões na Amazônia. Esta seqüência foi interrompida por tectônica positiva que levou ao entalhamento da superfície terciária e à instalação da drenagem pré-atual. A tendência positiva foi modificada mais recentemente por uma tendência negativa que predomina a norte de Belo Monte em contraste com o soerguimento positivo que se mantém ao sul, responsável pela alternância de zonas de cachoeiras (em blocos altos de falha) e de aluviões (em blocos baixos de falhas).

### 3.4. GEOMORFOLOGIA

A região do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte situa-se no limite entre as unidades morfoestruturais Bacia Sedimentar Amazônica e Plataforma Amazônica, cuja definição e delimitação foram obtidas através de critérios relativos à macroestrutura geológica e às macrounidades morfológicas. A unidade morfoestrutural Plataforma Sul-Amazônica relaciona-se à estruturação das rochas cristalinas pré-cambrianas e ocupa a maior parte da região em apreço.

A unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar Amazônica relaciona-se à estruturação da bacia intracratônica e ocupa a área de ocorrência das litologias sedimentares do Fanerozóico.

A distribuição das unidades morfoestruturais e dos compartimentos geomorfológicos da região do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte é apresentada no desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0003.

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

### 3.4.1 Plataforma Amazônica

A unidade morfoestrutural Plataforma Amazônica caracteriza-se por extensas áreas rebaixadas com formas, em geral, pouco entalhadas, de onde se destacam planaltos residuais muito dissecados, preservados dos processos denudacionais que afetaram a região desde o Terciário. Estas áreas aplanadas e os planaltos residuais são representados pelas unidades geomorfológicas Depressão Periférica Sul-Amazônica e Planaltos Residuais em Estruturas Cristalinas.

#### Depressão Periférica Sul-Amazônica

Trata-se da unidade geomorfológica de maior expressão na região do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, caracterizando-se por dois tipos de compartimentos de formas: Dc 21 e Dc 31. Essas formas representam fraco entalhamento (último dígito = 1), com desníveis entre topos e vales variáveis entre 5 e 20 m, topos levemente convexos, tendendo a tabulares, e predominância de interflúvios amplos (primeiro dígito = 3), cortados pela rede de drenagem segundo um padrão geral dendrítico. São modeladas sobre os migmatitos da Unidade III do Complexo Xingu e a vegetação dominante é de Floresta Aberta Mista.

A gênese desta imensa área está, provavelmente, associada a eventos paleoclimáticos e a movimentos tectônicos da Plataforma Amazônica, sendo os primeiros atuantes desde o final do Mesozóico (Ab'Saber, 1967). Os processos de pediplanação associam-se, provavelmente, a climas bem menos úmidos que o atual, já que este criaria formas mais entalhadas.

#### Planaltos Residuais em Estruturas Cristalinas

Esta unidade geomorfológica ocorre entremeando-se com a Depressão Periférica, formando blocos amplos e sinuosos, principalmente entre os rios Bacajá e Xingu. Seus compartimentos de forma mais característicos são: Dc 22, Dc 23 e Dc 33.

Essas formas apresentam topo convexo, alto grau de entalhamento com desnível entre topos e vales variáveis entre 100 e 200 m (último dígito = 2 e 3), dimensões interfluviais pequenas a médias (primeiro dígito = 2 e 3) e declividades predominantemente acima de 20%. Este modelo desenvolve-se sobre as litologias da Unidade Meta-Vulcano Sedimentar (Ax II) e dos granitóides das Unidades IV e V do Complexo Xingu. A cobertura vegetal natural dominante é de Floresta Densa Sub-Montana, entremeada com áreas desmatadas com ocupação agrícola. A forte dissecação atuante nesta unidade geomorfológica, superimposta às estruturas geológicas pré-existentes, é bem evidenciada pelas peculiaridades do seu padrão de drenagem.

Participando dos domínios da Depressão Periférica e Planaltos Residuais, pode ser ainda identificado o comportamento de forma de acumulação das Planícies Fluviais (Apf). São formas aplanadas, marginais aos canais fluviais e confinadas entre setores mais elevados, ou insulares, associados à queda da energia do fluxo d'água provocada por barreiras de afloramentos rochosos. Ocorrem com maiores extensões ao longo do rio Xingu, principalmente a montante do Sítio Bela Vista e ao longo dos seus principais tributários pela margem direita (Ituna, Itatá, Bacajá e Bacajá), e tem o seu limite quase totalmente coincidente com as áreas atingidas pelas cheias sazonais. Sua vegetação está representada, predominantemente, pela Floresta Densa Ciliar.

## UHE BELO MONTE

### 3.4.2 Bacia Sedimentar Amazônica

A unidade morfoestrutural Bacia Sedimentar Amazônica apresenta na região uma grande diversidade de formas convexas, em geral com vários índices de entalhamento e, mais localmente, formas de dissecação tabulares, que caracterizam o relevo das unidades geomorfológicas Planalto Dissecado e dos Planaltos Residuais Tabuliformes, respectivamente.

#### Planalto Dissecado

Esta unidade geomorfológica é caracterizada pelos seguintes compartimentos de forma: Dc 41, Dc 31, Dc 21, Dc 32, Dc 22, Dt 22 e Dt 32.

Os compartimentos Dc 32 e Dc 22 ocorrem, basicamente, ao sul da rodovia Transamazônica e na margem esquerda do rio Xingu e são modelados, respectivamente, sobre "sills" de diabásio e sedimentos paleozóicos da bacia Amazônica. Constituem-se em áreas bastante dissecadas, de formas convexas, com dimensão interfluvial média, variável entre 750 e 1750 m, grau de entalhamento predominante na faixa de 50 a 100 m, com declividades predominantes estimadas entre 10 e 20%.

Os compartimentos Dc 41, Dc 31 e Dc 21 são modelados sobre as litologias das Formações Maecuru, Curuá e Alter do Chão, e caracterizam-se por fraco entalhamento, variável de 5 a 30 m, topos levemente convexas, interflúvios de larguras médias a amplas e declividade predominante na faixa de 5 a 10%.

As formas tabulares, localizadas na porção norte do Planalto Dissecado, apresentam vários graus de entalhamento e variadas dimensões interfluviais, sendo sustentadas pelos sedimentos semiconsolidados da Formação Alter do Chão.

Nesta unidade, a drenagem apresenta um padrão subparalelo para NNW, indicativo da inclinação das camadas sedimentares, com variações para um padrão sub-retangular com forte controle estrutural, imposto por falhas com reativação pós Mesozóico e pelas principais direções do fraturamento.

#### Planaltos Residuais Tabuliformes

Contrariamente à unidade geomorfológica anterior, esta apresenta uma paisagem de relevo homogênea, caracterizada por vastos topos planos (acima de 12500 m), com declividades abaixo de 5%, canais fluviais incipientes e limites escarpados, em altitudes que oscilam geralmente entre 100 e 150 m.

Estes planaltos são sustentados pelos sedimentos arenosos semiconsolidados da Formação Alter do Chão e mantêm, quase que totalmente, a cobertura vegetal original de Floresta Densa.

### 3.5. RECURSOS MINERAIS - METALOGÊNESE

A região de implantação do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte é bastante conhecida pelo seu potencial mineral, sendo definida como Província Mineral da Volta Grande do Rio Xingu (Portaria 1758, do DNPM, 1982).

## UHE BELO MONTE

As características das unidades geológicas presentes, incluindo restos de um “greenstone belt” e o número relativamente alto de jazimentos minerais corroboram aquela afirmativa.

### 3.5.1 Cadastramento das Concentrações Minerais

O levantamento do cadastro dos direitos minerários efetuado até julho de 2010, junto ao DNPM, resultou na identificação de 174 processos administrativos ativos na área de influência do empreendimento. Desse total, 81 processos referem-se a requerimentos de pesquisa, 42 a autorizações de pesquisa, 17 requerimentos de licenciamento, 5 licenciamentos, 12 requerimentos de lavra garimpeira, 4 lavras garimpeira e 13 disponibilidades. O desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0004 apresenta a localização das áreas correspondentes aos processos cadastrados.

Três recursos minerais apresentam importância particular por se encontrarem, atualmente, em lavra: o ouro, no grupo dos minerais metálicos, e a argila e areia/cascalho, no grupo dos materiais de construção.

A argila é utilizada por cerca de 100 pequenas olarias e 3 cerâmicas que a extraem dos terraços aluviais do rio Xingu, na várzea do igarapé Ambé e na Ilha Arapujá. As olarias fazem extração manual e utilizam-na “in situ” por meio de métodos também manuais, bastante rudimentares. Esses empreendimentos funcionam a partir de uma estrutura predominantemente familiar, utilizando, em parte, argila da área de propriedade da Prelazia do Xingu, através de arrendamentos. A atividade desses grupos está limitada aos meses do verão, quando chegam a produzir 100.000 tijolos/mês. As cerâmicas empregam métodos mecânicos, utilizam-se de tratores e pás carregadeiras e lavram principalmente as jazidas da Ilha Arapujá. Sua produção chega a ultrapassar 400.000 tijolos/mês.

A extração de areia é feita por meio de balsas e dragas com bombas de cascalho que trabalham em barras submersas no leito do rio Xingu. Um tipo de extração menos expressivo é o realizado por meio manual, nas praias próximas de Altamira. Não há dados suficientes para estimar, por ora, a produção de areia da região.

O ouro é o bem mineral de maior valor da região de Altamira. De acordo com Lestra e Nardi (1984), essa região faz parte da “Província Aurífera Altamira-Tocantins”. A extração é feita por meio de garimpo e pelas empresas mineradoras. Dentre as várias empresas de mineração que atuam na região, apenas a Oca Mineração Ltda está em fase de produção, enquanto as demais se encontram em fase de pesquisa. Além disso, foram identificados 20 garimpos.

### 3.5.2 Potencialidade Mineral

Além dos bens minerais referidos, as unidades litoestratigráficas apresentam condições geológicas indicativas de ocorrência de outras substâncias que possam vir a ter valor econômico. As ocorrências e as potencialidades de cada unidade estão apresentadas sumariamente a seguir.

#### Complexo Xingu

Os processos geológicos que se superimpuseram às rochas do Complexo Xingu propiciaram algumas condições comuns a todas as unidades, enquanto as



## UHE BELO MONTE

características litológicas e as diferenças evolutivas são responsáveis pelas potencialidades próprias de cada uma delas.

Os falhamentos e o hidrotermalismo são dois processos geológicos comuns a todas as unidades e são responsáveis pela origem e distribuição de veios de quartzo e de rochas pegmatóides, além de algumas reconcentrações locais, principalmente do tipo sulfetadas (pirita, calcopirita, etc.) e sem aparente interesse econômico.

Os veios de quartzo apresentam potencial para cristal de rocha, ametista, ouro, cassiterita, wolframita, tantalita, columbita e ocorrem, principalmente, ao longo das zonas das falhas dispostas nas direções N80°E, N10°E e N50°W. As ocorrências de veios de quartzo raramente ultrapassam um metro de espessura, sendo mais significativos os associados às Unidades II e V. O levantamento de campo e os trabalhos anteriormente desenvolvidos indicam diversas ocorrências.

Os pegmatitos são muito pouco expressivos, em geral com espessura decimétrica, e essencialmente quartzo-feldspáticos, portanto, pouco promissores. Ocorrem principalmente nas proximidades das Unidades II e III, junto a corpos das Unidades IV e V.

Além dos indícios mencionados, verificou-se nas rochas do Complexo Xingu até 2,5% de apatita, encontrados em litologias da Unidade I; valores de 1 a 2% de allanita, encontrados na Unidade IV; e ocorrências de fluorita e especularita encontradas em sondagens na Unidade III, aparentemente não merecedoras de pesquisas específicas.

Diante dessa situação e do atual estágio de conhecimento das rochas do Complexo Xingu, destacam-se, como unidades mais promissoras, a Unidade II e, em menor grau de importância, alguns granitóides referentes à Unidade V. Devem ser consideradas também as rochas básicas da Unidade I, com possibilidades para sulfetos, e alguns enclaves na Unidade III, tipo rochas cálcio-silicatadas, e mesmo restos da Unidade II que podem conter importantes mineralizações associadas.

- Seqüência Metavulcano-Sedimentar - Unidade II

A Unidade II constitui um conjunto à parte do Complexo Xingu em termos de metalogenia, apresentando grande potencial econômico. Suas rochas compreendem uma seqüência metavulcano-sedimentar, possivelmente representando restos de um "greenstone belt", um tipo de seqüência mundialmente reconhecida por sua grande importância econômica, principalmente ouro.

Esta unidade, designada por Issler et al. (1974) como Xisto Três Palmeiras, é correlacionada, por alguns autores (Projeto Sulfetos de Altamira-Itaituba), às rochas da Serra dos Carajás e pode, portanto, reproduzir, em menor escala, as mineralizações existentes naquela província metalogenética. Trata-se de uma seqüência com potencial para ouro, ferro, manganês, cromo, níquel, platina, sulfetos e sheelita.

Dos elementos citados, há registro de ocorrência de sheelita; de quartzitos ferríferos e ferro-mangnesíferos (formação ferrífera), com hematita; de rochas ultrabásicas, às quais podem estar associados cromo, níquel, platina e sulfetos. Contém ainda depósitos primários de ouro em veios de quartzo, dispostos nas direções N80°E e N10°E, como garimpo do Japão e filão do Alcio (Lestra e Nardi, 1984).

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

- Granitóides - Unidade V

Nos granitóides inseridos na Unidade V, existe, seguramente, mais de uma geração de corpos graníticos com tipos e idades diferentes, ora ocorrendo em massas com dimensões consideráveis, ora em corpos isolados e de difícil individualização para a escala deste trabalho.

Ocorrências de cassiterita, tantalita-columbita e wolframita, como as de Babaquara, do Alto Ituna (fora da área de estudo) e Bacajá, sugerem que esses minerais estejam associados a corpos graníticos, talvez até mesmo correlacionados aos tipos anorogênicos, que carecem de estudos mais detalhados.

### Bacia Sedimentar e Coberturas Cenozóicas

A Bacia Sedimentar apresenta três conjuntos principais de ambientes metalogenéticos sin-sedimentares, correspondentes a ambiente de plataforma costeira e fluvial. Junto a rochas sedimentares ocorrem, ainda, diversos corpos de diabásio, que compreendem um quarto ambiente, o das rochas básicas.

- Ambiente de Plataforma - Formação Trombetas e Formação Curuá

As unidades que apresentam ambiente de plataforma, Formações Trombetas e Curuá, podem ser prospectivas tanto para fosfato, como para cobre, chumbo e zinco.

Sondagens realizadas nos sedimentos da Formação Trombetas no Sítio Belo Monte, mostram a existência de alguns níveis com sulfetos (pirita) associados a minerais expansivos. Os trabalhos da CPRM (Projeto Sulfetos de Altamira-Itaituba) demonstraram ocorrências significativas de cobre (Formação Trombetas, rio Curupaitinga-Itaituba), e de cobre, chumbo e zinco (Formação Curuá, rio Repartimento-Aveiro) associadas com pirita, barita, fosfato e fósseis marinhos de clima frio, ambiente redutor e baixa salinidade. Além dessas ocorrências, há indicação de ouro em rocha (0,2 ppm de ouro – CPRM, 1977; 50 ppm de ouro, Lestra e Nardi, 1984) e altos valores radiométricos.

A ocorrência de níveis com “background” elevado ou com valores anômalos de elementos metálicos pode não formar um depósito com valor econômico só através dos processos sedimentares. Entretanto, com a circulação de fluidos durante a diagênese e, principalmente, se induzida por corpos de diabásio em contato com os folhelhos, pode haver reconcentração desses elementos ao longo de zonas de falhas ativas e de diques básicos, situação comum na borda sul da Bacia Amazônica.

- Ambiente Costeiro - Formação Ererê

No caso da região, Formação Ererê apresenta rochas formadas em condições costeiras. Na sua parte superior, onde transiciona para a Formação Curuá, apresenta características similares às desta. Na parte inferior, onde transiciona para a Formação Maecuru (fluvial), apresenta condições de conter metalotectos relacionados à influência continental, principalmente baías, lagunas, praias e planície deltáica, favoráveis a sulfetos e urânio (baías, e lagunas), carvão (planície deltáica), ouro e cassiterita (pláceres).

## UHE BELO MONTE

Não há, entretanto, nenhuma ocorrência ou indício de bens minerais referidos, nem na área mapeada, tampouco regionalmente. As áreas mais favoráveis deveriam ocorrer para SSW, em locais hoje já denudados.

- Ambiente Fluvial - Formação Maecuru e Formação Alter do Chão

A Formação Maecuru e a Formação Alter do Chão são originárias de sistemas fluviais anastomosados, em que a fácies mais preservada é a de canal. Os processos sedimentares no canal são predominantemente atrativos e favorecem a concentração de minerais pesados e resistentes, podendo originar pláceres com rutilo, zircão, diamante, cassiterita, ilmenita, magnetita, tantalita, columbita, wolframita, ouro, etc.

Na Formação Maecuru nenhuma ocorrência mineral significativa foi verificada.

Na Formação Alter do Chão, são conhecidas ocorrências de ouro nas proximidades de Tucuruí e diamantes em Aveiro, muito distantes da área estudada.

A forte lixiviação sofrida por suas rochas desde o Pleistoceno facilita a formação de depósitos de caulim e de bauxita, como comprovam as ocorrências de Santarém (caulim) e a de bauxita próximo a Altamira.

Os lagos formados sobre a superfície do pediplano pleistocênico formam normalmente argileiras que em clima seco podem conter espículas de esponja (esponjilito), constituindo-se de excelente material refratário, que substitui muito bem as diatomitas.

- Rochas Básicas - Diabásio Penatecaua

As rochas básicas toleíticas não são potencialmente grandes portadoras de minérios a não ser quando diferenciadas. Podem, entretanto, apresentar sulfetos disseminados e metais em forma nativa.

Há registros, na região, de ocorrência de sulfetos de cobre, chumbo, zinco e ferro, de cobre nativo e de valores altos de ouro em rocha total (ponto NR314, 0,1 ppm e 1,0 ppm em análise feita fora da área), todos relatados pela CPRM.

A importância maior do diabásio está relacionada com a possibilidade de concentração epigenética em veios de quartzo em zona de falha, tal como acontece no igarapé Xituba, em Aveiro (fora da área). Nessa ocorrência, há "chert" e quartzo com pirita, calcopirita, covelita, galena, blenda e bornita, além de minerais de alteração superficial.

### Aluviões - Elúvios/Colúvios

Os aluviões representam um dos principais concentradores de depósitos minerais da região, principalmente quando atravessam fontes primárias como as seqüências metavulcano-sedimentares (ouro) e corpos graníticos (cassiterita) mineralizados.

Ocorrem sob forma de terraços e de depósitos ativos com a fácies de canal (conglomerados e arenitos), geralmente mineralizados em ouro e estanho, às vezes, constituindo depósitos de natureza econômica. São conhecidos, na região do Ituna-Bacajá, 24 aluviões mineralizados em ouro, por vezes apresentando considerável teor em cassiterita e indícios de tantalita e wolframita.

## UHE BELO MONTE

As fácies de planície de inundação representam sítios favoráveis ao acúmulo de argila e de matéria orgânica. São áreas propícias à pesquisa de depósitos de argila para cerâmica e de turfa, como comprovam as explorações próximas a Altamira.

Corpos mineralizados de elúvio/colúvios são conhecidos nas proximidades das mineralizações auríferas primárias.

### 3.5.3 Avaliação do Potencial Mineral

A unidade de maior importância metalogenética está relacionada à seqüência metavulcano-sedimentar (Unidade II) e aos aluviões delas derivados e alúvios associados, pelo seu conteúdo aurífero. Seguem-se os corpos graníticos e aluviões pelo potencial estanífero e, finalmente, os aluviões e/ou terraços com depósitos de argila e areia/cascalho, nas proximidades de Altamira, com importância pelo seu aspecto social, os terrenos cristalinos e seus aluviões.

O desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0005 mostra as áreas com maior potencialidade metalogenética para a região do reservatório correspondente à sua área inundada, definidas segundo critérios do DNPM/CPRM-1984, como:

- Potencialidade 1 – Áreas de rocha(s) hospedeira(s) e/ou estruturas favoráveis como minas e/ou garimpos, depósitos, jazidas, além de anomalias geoquímicas e geofísicas superpostas e/ou ocorrências/indícios.
- Potencialidade 2 - Áreas de rocha(s) hospedeira(s) e/ou estruturas favoráveis com ocorrências/indícios e/ou anomalias geoquímica(s) ou geofísica(s).
- Potencialidade 3 - Áreas de rocha(s) hospedeira(s) e/ou estruturas favoráveis, sem registros diretos ou indiretos de mineralizações e demandando estudos básicos complementares.

Segundo esses conceitos, individualizaram-se 18 áreas potenciais, sendo seis com potencialidade 1 (áreas III, IV, V, VII, VIII e IX); uma com potencialidade 2 (área XIII) e treze com potencialidade 3 (áreas I, II, VI, VII, VIII, X, XI, XII, XIV, XV, XVI, XVII e XVIII). As áreas VII e VIII são comuns às potencialidades 1 e 3.

Dentre as áreas julgadas como potencialidade 1, para exploração de minerais metálicos e materiais de construção (argila, areia e cascalho), tem-se:

- Área III – Potencial para argila, porém, com importância secundária devido as reduzidas dimensões dessa área.
- Área IV – Potencial para argila de cerâmica.
- Área V – Potencial para areia e cascalho.
- Área VII – Potencial para depósitos de cassiterita e ouro. Esta área é representada por aluviões atuais e terraços do rio Xingu, imediatamente a jusante da seqüência metavulcano-sedimentar (Unidade II do Complexo Xingu).
- Área VIII – Potencial para conter depósitos de ouro, cassiterita, tantalita-columbita e wolframita. Esta área é representada principalmente pelos depósitos aluvionares secundários (aluviões e terraços) que cortam a seqüência metavulcano-sedimentar (Unidade II do Complexo Xingu).
- Área IX – Área representada pelos afloramentos da seqüência metavulcano-sedimentar (Unidade II do Complexo Xingu). Nessa área são encontrados

## UHE BELO MONTE

garimpos para ouro que ocorrem em veios de quartzo, nos colúvios e elúvios. Foram também detectados indícios indiretos de anomalias geoquímicas, em solo, para Cu, Pb, Zn e Ni.

Com potencialidade 2, caracteriza-se a área XIII, que apresenta potencial para ouro em sedimentos aluvionares ativos. Grande parte desta área deverá ser valorizada com o desvio do rio Xingu, a jusante do eixo de barramento Ilha da Serra.

Com potencialidade 3, foram caracterizadas as seguintes áreas:

- Áreas I e VI – Potencial para cassiterita associada aos granitóides da Unidade V do Complexo Xingu.
- Área II – Representada por sedimentos ativos e terraços adjacentes a áreas potencialmente mineralizadas em ouro onde podem, também, conter concentrações de estanho.
- Áreas VII e VIII – Potencial para cassiterita como alternativa expressiva de extração mineral com ocorrência em forma de depósitos aluvionares secundários, associados aos corpos graníticos da Unidade V do Complexo Xingu.
- Áreas X, XI e XII – Estas áreas podem representar continuação da seqüência metavulcano-sedimentar, à semelhança da área IX, portanto, com potenciais para ouro.
- Áreas XIV, XV, XVI e XVII – Potencial para cassiterita associada aos granitóides da Unidade III do Complexo Xingu.
- Área XVIII – Potencial para bauxita e caulim associadas à Formação Alter do Chão.

A cassiterita constitui uma alternativa expressiva de extração mineral, principalmente junto às áreas em pesquisa pelas mineradoras que atualmente desenvolvem trabalhos na região. Ocorre principalmente em forma de depósitos aluvionares secundários, associados aos corpos graníticos da Unidade V, junto ao ouro, nas áreas VII e VIII. Pode ocorrer, com potencialidade 3, nas áreas I, VI e XVII, associada aos granitóides nas Unidades III e V do Complexo Xingu.

Depósitos de argila, areia/cascalho, de grande importância social nas proximidades de Altamira, associam-se aos aluviões atuais e terraços aluvionares. Como áreas prioritárias (potencialidade 1) para argila de cerâmica, tem-se a área IV e, para areia/cascalho, como material de construção, a área V. Entretanto, trabalhos desenvolvidos para os estudos de impacto ambiental, realizado no período de 2000/2001, constatam que, mantido o atual ritmo de exploração, as reservas de argila existentes na área do Igarapé Ambé, estarão exauridas por volta do ano 2004/2005.

Como prioridade 2, para a argila, tem-se também a área III, porém, com menor importância pelas reduzidas dimensões dessa área.

As demais ocorrências/indícios, associados a ambientes/estruturas favoráveis à concentração mineral, não merecem, no momento e à luz do atual conhecimento geológico da região, investigações e trabalhos específicos para caracterização econômica.

## UHE BELO MONTE

### 3.6. SISMICIDADE

A análise da sismicidade da área de interesse do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, foi efetuada por meio das informações fornecidas pela ELETRONORTE, que mantém convênio com o Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, possibilitando a atualização das informações até o ano de 1999.

O estudo foi baseado em uma listagem dos eventos sísmicos, naturais e induzidos ocorridos numa área circular de 300 km de raio centrado no ponto de latitude  $3.33^\circ$  S e longitude  $51.58^\circ$  W, onde será implantado o Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte. O desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0006 apresenta o mapa sismotectônico da região de interesse.

Nesta área circular de raio de 300 km (com aproximadamente  $282 \times 10^3$  km<sup>2</sup>), há registros, no período de 117 anos (1883-1999), de um número de 214 eventos sísmicos, dos quais apenas um evento histórico, observando-se uma cobertura temporal extremamente não uniforme. Quase todos os 213 eventos instrumentais foram detectados a partir do ano de 1981, que foi quando começou o monitoramento sismográfico instrumental no norte do Brasil, realizado pela ELETRONORTE em conjunto com o Observatório Sismológico da Universidade de Brasília – SIS/UnB, perfazendo, portanto, um período de apenas 19 anos.

O único evento histórico ocorrido, na região em 27/08/1883, às 17 horas (hora local), foi o evento principal de uma seqüência de abalos sísmicos sentidos em Monte Alegre/PA, seqüência que continuou por 30 minutos, causando um grande susto na população local (Berrocal et al., 1984).

Os maiores eventos observados no período instrumental alcançaram a magnitude 3,9 ( $m_R$ ) e aconteceram em Almerim/PA, em 15/09/1981, e em Itupiranga/PA, em 18/11/1993, nas distâncias de 231 e 270 km, respectivamente, do ponto central.

A maioria dos eventos observados trata-se de sismos induzidos pelo reservatório da UHE Tucuruí, que se encontra dentro da área de estudo, a uma distância de, aproximadamente, 250-260 km do ponto central. O maior sismo induzido por este reservatório ocorreu em 02/03/1998 e alcançou a magnitude  $m_R = 3,6$ .

Em relação à distribuição espacial da sismicidade, pode-se observar um nítido alinhamento dos epicentros na direção sul-norte, à direita do ponto central, a uma distância aproximada de 150 km, sugerindo uma feição geológica com manifestação de atividade tectônica natural.

Ressalta-se que foi observada, a aproximadamente 5 km do ponto de busca, durante o ano de 1982, uma seqüência de abalos, principalmente no mês de fevereiro, com magnitudes entre 2,0 e 2,8  $m_R$ , totalizando 5 eventos.

O monitoramento sismográfico regional (entre 100 e 1500 km) do futuro Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte está sendo coordenado pelo SIS/UnB, através da operação de algumas estações ou redes sismográficas locais, tais como: a Rede Sismográfica de Tucuruí, a Estação de Balbina e a Estação de Samuel (todas digitais, pertencentes à ELETRONORTE), e a estação digital de Banda Larga de Cristalândia, para mencionar as mais próximas. Em passado recente o SIS/UnB coordenou a operação, na área do futuro Complexo Hidrelétrico Belo Monte, a Estação Sismográfica Analógica de Altamira pertencente a ELETRONORTE, que atualmente encontra-se desativada.

## UHE BELO MONTE

Regionalmente, os maiores eventos registrados por sismógrafos apontaram valores de 4,8 e 4,7 ( $m_R$ ), respectivamente nas localidades de Ilha de Marajó/PA (02/08/1977) e Redenção/PA (12/11/1980). Ambas as localidades situam-se a distâncias superiores a 600 km do local de implantação do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte.

Não existindo dados sobre a intensidade dos eventos ocorridos na região, utilizou-se relações magnitude x intensidade (Assumpção e Burton, 1982) para o seu cálculo, chegando, por tentativas, a um valor de  $I=V-VI$  ( $m_b=4,8$ ,  $h=15$  km) como sismo de projeto, assumido apenas pelo fato de ser o maior regionalmente conhecido. Este valor de intensidade indicaria um coeficiente sísmico da ordem de 0,04 a 0,06 g (Bolt, 1988). Para a verificação de estabilidade das estruturas principais é aconselhável o emprego do coeficiente de aceleração sísmica  $k_h=0,05$  g (sentido horizontal). Para o coeficiente de aceleração no sentido vertical recomenda-se o emprego de  $k_v=0,09$  g.

A caracterização dos esforços atuantes na região ainda carece de estudos mais aprofundados. Como prognosticar a ocorrência de sismicidade induzida é tarefa ainda de difícil execução, assim como o estabelecimento apropriado de risco sísmico, é recomendado a continuidade do monitoramento sismográfico na área do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte.

### 3.7. ESTANQUEIDADE

A análise do arcabouço geológico do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte revela a predominância de rochas cristalinas de baixa permeabilidade, distribuídas na sua área, sem a presença de rochas solúveis, fato este que, por si só, garante a estanqueidade da maior parte da área ocupada pelo lago.

De fato, observa-se uma suíte de rochas migmatíticas, gnáissicas e graníticas, recobertas por espesso manto de intemperismo, formando o arcabouço do futuro reservatório, onde ensaios de perda d'água realizados nos locais dos barramentos mostraram ser o maciço rochoso, realmente pouco permeável. A conformação topográfica enseja, junto ao barramento do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, a presença de selas topográficas que exigirão a construção de diques, em cujos projetos serão tratados os problemas de percolação nas fundações.

Entretanto, nas proximidades do barramento das estruturas de concreto da Tomada d'Água e Casa de Força Principal no Sítio Belo Monte, aparecem formações sedimentares, e mais particularmente o arenito Maecuru, onde se desenvolvem cavernas que poderão implicar na estanqueidade do reservatório.

Uma visualização do mapa geológico, escala 1:250.000, mostra a distribuição da Formação Maecuru, orientada segundo a direção NE, devendo ser atingida pelo reservatório do Complexo Hidrelétrico Belo Monte apenas próximo ao local das estruturas de concreto, por uma extensão de cerca de 3 km.

Estudos preliminares indicam a presença de duas cavernas, uma na margem esquerda, a principal, entre os diques DIK-04 e a Barragem de Santo Antônio, e outra, na margem direita, pouco expressiva, nas proximidades do Igarapé Aturiá. Neste último local, está instalada uma caverna de 6m de largura, 13 m de profundidade e 1,70 m de altura, que, entretanto, encontra-se fora da área do reservatório.

A caverna da margem esquerda apresenta área interna de 1300 m<sup>2</sup> e até 10 m de altura; tem 4 entradas e apresenta-se internamente com várias ramificações, atingindo

## UHE BELO MONTE

a principal delas cerca de 90 m de desenvolvimento em relação à entrada principal. Como seu piso ocorre acima da cota 100 m, não deverá apresentar maiores preocupações a esse respeito. Entretanto, estudos mais aprofundados deverão ser efetuados em outras fases do projeto, objetivando a identificação de outras possíveis cavernas. É sabido que feições pseudocársticas, desenvolvem-se através do fenômeno de erosão regressiva, originada devido a elevados gradientes hidráulicos que provocam o arraste de partículas sólidas, formando orifícios tubulares, num processo contínuo e remontante, que são alargados lateralmente e acabam por provocar abatimentos do teto.

Ao processo de erosão regressiva concorrem a natureza da cimentação e/ou matriz do arenito, a presença de fraturas e de substâncias solúveis, o pH e, obviamente, as condições hidrogeológicas locais. Outro aspecto comum à ocorrência de caverna é a presença de encostas abruptas, não tendo sido constatada nenhuma cavidade em encosta suave.

### 3.8. ESTABILIDADE DE ENCOSTAS MARGINAIS

Uma análise geral dos estudos realizados revela, a princípio, não haver grandes problemas de instabilização com as encostas do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte, onde o relevo pouco acidentado enseja o predomínio de taludes suaves.

Estudos de impacto ambiental desenvolvidos na 2ª Etapa dos Estudos de Viabilidade indicam que em termos gerais predominam condições de estabilidade. Na cidade de Altamira a subida do nível d'água e sua manutenção em nível de cheia constante não acarretarão processos de instabilidade, tendo o rio neste local comportamento muito mais deposicional do que dispersivo. O mesmo ocorrerá no segmento de Altamira ao Barramento, podendo em alguns locais a formação de ondas gerar instabilidades, mas estas são naturais, já ocorrem normalmente, e serão de pequeno porte e não afetarão o sistema. No trecho do rio Xingu, compreendido entre o barramento principal (Sítio Pimental) e a Usina Belo Monte a situação será igual a da porção externa ao reservatório, ou seja, não haverá impactos pela ação do escoamento concentrado do reservatório, seja pela sua ausência ou pelo rio Xingu se manter em condições de fluxo superficial mínimo.

No trecho do reservatório, compreendido entre o Barramento e a Usina Belo Monte, puderam ser avaliadas três configurações:

- região do Canal de Derivação;
- região intermediária;
- região da Tomada d'Água/Casa de Força.

A região do canal apresenta instabilidade baixa nos vales onde será construído o canal e eventualmente alta nos locais onde ocorrem morros cujas encostas apresentem declividades maiores que 10°. Entretanto por tratar-se de uma obra de engenharia, projetada para suportar condições de escoamento concentrado, supõe-se que o controle será alto, com detalhamentos topográficos ao longo desta região.

Tanto a região intermediária quanto a da Tomada d'Água/Casa de Força irão apresentar graus de instabilidade variáveis, pela presença de corredores estreitos, com encostas de declividades maiores que 10°, configurando vales bem entalhados



## UHE BELO MONTE

que se comportarão como canais naturais que conduzirão um grande volume de água. Nestes locais deverão ser realizados, durante o Projeto Básico Consolidado, perfis topográficos detalhados que possibilitem previsões mais específicas quanto ao seu comportamento, principalmente o cálculo para essas condições do maciço, do fator de segurança e avaliação das superfícies potenciais de instabilidade.

### 3.9. FONTES DE EROSIÃO E ASSOREAMENTO

O reservatório projetado para o Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte está inserido, em termos gerais, em dois domínios: o de rochas cristalinas a sul, correspondendo à unidade morfoestrutural Depressão Periférica do Sul do Pará, e o das rochas fanerozóicas na porção norte, relacionado à Bacia Sedimentar Amazônica.

A Depressão Periférica apresenta uma superfície baixa e aplainada e vales pouco encaixados, com forma de relevo em colinas de topo aplainado; e a bacia Amazônica, um relevo de colinas e vales encaixados e alguns patamares, gradando para norte com extensos platôs dissecados por ravinas e vales encaixados.

Dentro dos estudos de impacto ambiental, desenvolvidos nesta etapa, foi gerada a Carta de Potencial à Erosão, tomando como principal agente as águas superficiais e sua dinâmica. Nesta foram especificados três graus principais:

- 1. Baixo Potencial
- 2. Potencial Moderado
- 3. Alto Potencial

Esta Carta corresponde ao potencial de erosão dos materiais frente ao escoamento superficial concentrado, tendo sido agrupadas informações de caráter geológico-geotécnico, as de hidrologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e de clima. A região estudada foi separada nos seguintes segmentos:

- entre a foz do rio Iriri e Altamira;
- de Altamira ao eixo de Barramento Ilha da Serra;
- do Barramento ao Sítio Belo Monte (pelo reservatório);
- do Barramento ao Sítio Belo Monte (pelo rio Xingu) e
- região externa ao reservatório.

Como a região é fortemente antropizada tanto no caráter urbano quanto rural, os processos erosivos foram tratados de forma discriminada ressaltando as regiões onde agentes não naturais são os principais catalisadores destes processos.

No trecho entre a foz do rio Iriri a cidade de Altamira é comum a presença de materiais de susceptibilidade moderada a erosão, porém as condições do escoamento superficial, declividade, vegetação e solos não conduzem ao desenvolvimento das mesmas. Somente processos artificiais ocasionaram as feições observadas.

O setor entre Altamira e Belo Monte (Altamira – Barramento - Belo Monte, pelo reservatório) deve ser dividido em dois segmentos distintos: a faixa que marca a transição bacia/cristalino e a região interna a “volta grande”.

## UHE BELO MONTE

A faixa que marca a transição bacia/cristalino é de alto potencial erosivo pelo escoamento concentrado, pois reúne as condições naturais de heterogeneidade litológica, facilidade de concentração do fluxo superficial pelas estruturas tectônicas (lineamentos, falhas, fraturas, discordâncias) presentes e marcantes nessa região, em adição existe a ação expressiva de processos artificiais como estradas, agricultura e pasto de desenvolvimentos inadequados, queimadas e desmatamentos constantes, expansão urbana e rural. O que tornaria esta zona de alto risco ao reservatório se o mesmo tivesse alguma projeção sobre ela.

No intervalo correspondente a região interna da “volta grande”, por ambas as margens, apresenta condições naturais de baixo potencial, principalmente pelas características do material derivado da alteração das rochas graníticas do Complexo Xingu.

O trecho dos canais apresentará remoção mínima devido as próprias precauções adotadas diante de uma obra de engenharia.

A região intermediária e a do vertedouro irão apresentar potenciais variáveis, pela presença de locais de escoamento elevado, associado a um volume grande de água e a ação das ondas, nestes canais naturais as encostas poderão sofrer problemas de erosão e instabilidade. Perfis topográficos detalhados possibilitarão previsões mais específicas quanto ao seu comportamento.

As demais regiões demonstram baixo potencial, exceção feita aonde ocorrem sedimentos da bacia, principalmente arenitos das Formações Maecuru, Ererê e os sedimentos arenosos da Formação Alter do Chão. O segmento que vai do Barramento a Belo Monte pelo rio Xingu apresenta características tipicamente deposicionais, não tendo sido observadas feições representativas.

### 3.10. VARIAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO

O exame dos aspectos geológicos na área de influência do reservatório evidencia a existência de dois aquíferos principais, o primeiro, representado pelo manto de intemperismo e pelas coberturas coluvionares e aluvionares e o segundo, representado pelas rochas do Complexo Xingu.

O manto de intemperismo, resultante da decomposição das rochas do Complexo Cristalino, constitui, juntamente com o material coluvionar e os terraços aluvionares, o sistema aquífero livre ou freático da área do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte. A espessura desse conjunto apresenta variações significativas de local a local; porém, à luz do atual nível de conhecimento, pode-se inferir que se situa entre extremos da ordem de 2 a 50 m; as menores espessuras, como é lógico se esperar nesses casos, são encontradas nas proximidades dos talvegues das drenagens e na zona de afloramento das rochas cristalinas.

As investigações geológicas e os ensaios de infiltração realizados nos locais do Sítio Belo Monte, Sítio Pimental, Canal de Derivação e Diques, revelaram que o sistema aquífero livre é, do ponto de vista hidrogeológico, relativamente uniforme. Desse modo, verifica-se a partir dos resultados dos ensaios, uma predominância dos valores de permeabilidade da ordem de  $10^{-3}$  m/h a  $10^{-4}$  m/h (média de  $6 \times 10^{-4}$  m/h); em alguns casos foram detectados valores de “k” da ordem de  $10^{-2}$  m/h (média  $1 \times 10^{-2}$  m/h).

## UHE BELO MONTE

Permeabilidades reais mais altas ou mais baixas do que as mencionadas antes podem ocorrer, porém são raras. Se por um lado os resultados dos ensaios de infiltração realizados permitem admitir, para efeitos de cálculo, um valor médio da condutividade hidráulica do aquífero livre da ordem de  $6 \times 10^{-4}$  m/h, por outro lado, as descrições geológicas proporcionam a base para uma estimativa de porosidade eficaz. Isto posto, fazendo-se a comparação com perfis semelhantes descritos na literatura técnica, pode-se admitir para o coeficiente de armazenamento (S) dessa unidade hidrogeológica um valor da ordem de  $2,5 \times 10^{-2}$  (2,5%) e um valor da transmissividade (T) da ordem de  $2,9 \times 10^{-1}$  m/h.

O maciço rochoso do Complexo Xingu, afetado por diversos sistemas de fraturas, em geral bem desenvolvidas, constitui um dos mais importantes aquíferos na região, do tipo confinado ou semiconfinado. Muito embora não se disponha de dados mais precisos sobre a extensão vertical da zona fraturada, análise dos perfis de sondagem e a comparação com outras regiões cristalinas levam a admitir que a mesma esteja compreendida entre 60 e 80 m, que corresponde à espessura do aquífero.

Desse modo, pode-se considerar como razoável que a espessura do aquífero cristalino fraturado seja da ordem de 70 m. Nas sondagens rotativas executadas na área, foram realizados ensaios de perda d'água, em diferentes trechos da zona fraturada. Dos resultados desses ensaios pode-se deduzir como permeabilidade média da zona fraturada um valor da ordem de  $1,5 \times 10^{-3}$  m/h.

No que concerne ao coeficiente de armazenamento, levando-se em conta não somente que o aquífero é do tipo confinado ou semiconfinado, mas também a natureza litológica do mesmo, pode-se admitir um valor da ordem de  $5 \times 10^{-4}$  m/h.

As modificações causadas na superfície freática com a criação do reservatório podem ser avaliadas de uma forma bastante simplificada, em face da ausência de maiores informações, considerando o aquífero livre, homogêneo e uniforme. Nesse sentido, as áreas planas marginais serão mais suscetíveis às elevações dos níveis das águas subterrâneas, destacando-se a extensa área plana junto ao núcleo urbano de Altamira. Nesse local, onde há diferença de até 10 m entre a cota do reservatório e a superfície freática, é de se prever uma elevação bastante significativa deste último nível, podendo ficar a 2 m da superfície do terreno. Levando-se em conta o alto índice pluviométrico e flutuações do nível d'água observadas, de até 6 m, conclui-se que nas superfícies marginais o terreno deverá experimentar encharcamentos periódicos.

Estudos ambientais desenvolvidos durante o período 2000/2001, na cidade de Altamira, indicou uma variação de linhas equipotenciais desde a cota 124 m até cerca da cota 98 m. Ocorre uma zona de recarga do aquífero localizada no setor NNW da cidade, caracterizada por uma divergência dos fluxos desde a cota 124 m, decrescendo em todos os sentidos. Essa área corresponde a um alto topográfico marcante na cidade, mostrando existir uma boa relação entre a superfície topográfica e as superfícies piezométricas. Uma zona de descarga pode ser detectada na parte centro-norte da cidade, onde se verificam fluxos convergentes para abaixo da cota 98 m.

## UHE BELO MONTE

### 4. GEOLOGIA LOCAL

#### 4.1. SÍTIO PIMENTAL

Resultante do produto dos estudos da segunda etapa do Projeto de Viabilidade, são apresentados os resultados dos mapeamentos geológico e geológico-geotécnico da área correspondente a alternativa estudada visando, a instalação do vertedouro neste local. A área mapeada abrangeu cerca de 48 km<sup>2</sup>.

Como subsídio para confecção deste estudo, inicialmente foi realizada a análise bibliográfica da literatura geológica disponível e dos relatórios emitidos pela ELETRONORTE/CNEC, principalmente o mapeamento geológico regional, na escala de 1:250.000, do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte.

Posteriormente foi feita a fotointerpretação a partir de fotos aéreas em preto e branco, na escala 1:60.000, com sobrevôo efetuado pela empresa AEROSUL, no ano de 1976.

O mapeamento geológico foi executado na escala 1:25.000 sobre mapas-base da mesma escala, que são restituições aerofotogramétricas provenientes do mesmo vôo de 1976.

Os trabalhos de campo constaram da descrição de afloramentos e investigações de subsuperfície (geofísica, sondagens rotativas, a percussão, a trado e poços) executadas na área, seguindo as normas usuais utilizadas para mapeamento geológico, com dados sistemáticos sobre cor, textura, granulação e composição mineralógica das rochas, com suas inter-relações e a geometria das suas estruturas. Foram tomadas medidas de foliação, veios, falhas e fraturas, procurando-se obter um número de medidas proporcional à frequência de cada família.

A terminologia para as rochas ígneas seguiu a estabelecida pela Subcomissão de Sistemática das Rochas Ígneas da IUGS (Streckeisen, 1976). Para as rochas migmatíticas foi adotada a classificação por Mehnert (1968).

Algumas amostras foram selecionadas dentre as coletadas no mapeamento e nos testemunhos de sondagens rotativas, as quais foram laminadas e descritas petrograficamente.

Como produto final foram elaborados 3 mapas, todos em escala 1:25.000, sendo um de localização dos pontos investigados em superfície, um geológico e um geológico-geotécnico, conforme apresentados respectivamente nos desenhos BEL-B-PM-DE-GER-112-0002, BEL-B-PM-DE-GER-112-0003 E BEL-B-PM-DE-GER-112-0004.

##### 4.1.1 Estratigrafia e Litologia

Na área mapeada ocorrem rochas pertencentes ao Complexo Xingu (Issler et al., 1984) de idade Arqueana (segundo Hasui et al., 1984), remobilizadas no Proterozóico Inferior, além de depósitos cenozóicos inconsolidados (aluviões e coluviões), como ilustra a coluna estratigráfica da Figura A1.4.1.

Figura A1.4.1 - Coluna Estratigráfica Preliminar do Sítio Pimental

ERA	PERÍODO	UNIDADES		SEÇÃO COLUNAR	DESCRIÇÃO SUMÁRIA
		COMPLEXO	FORMAÇÕES/GRUPOS		
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO		ALUVIÕES/RECENTES		Qa - AREIAS FINAS A GROSSAS COMUMENTE LAVADAS E EM FORMA DE BANCOS.
			TERRAÇOS ALUVIONAIS (aluviões antigos)		Qt - ARGILA SILTOSA E AREIAS FINA A GROSSA, POUCO SILTOSA, ÀS VEZES COM FRAGMENTOS DE QUARTZO E RESTOS DE RAÍZES.
PRÉ - CAMBRIANA		XINGU	UNIDADE III		(ad) - DIQUES DE ANDESITOS PROVAVELMENTE RELACIONADOS ÀS EXTRUSIVAS INTERMEDIÁRIAS DO SUPERGRUPO UATUMÃ. AxrIII- MIGMATITOS E ESTRUTURAS E COMPOSIÇÕES VARIADAS COM ENCRAVES DE ROCHAS DAS UNIDADES I E II E GRANITÓIDES SUBORDINADOS. MIGMATITOS TIPO NEBULÍTICO (M <sub>12</sub> ), 'SCHLIEREN' (M <sub>11</sub> ), 'SCHÖLLEN" (M <sub>3</sub> ) E AGMATÍTICO (M <sub>1</sub> ).

### Complexo Xingu

No mapeamento geológico do reservatório, escala 1:250.000, o Complexo Xingu de Issler et al. (op. cit.) foi dividido informalmente em cinco unidades, com base na associação litológica, características deformacionais, radiométricas e grau metamórfico.

Na Unidade I, predominam gnaisses de composição granodiorítica a tonalítica e anfibolitos representando núcleos não remobilizados ou pouco remobilizados. A Unidade II é representada por rochas de uma provável seqüência vulcano-sedimentar, composta por metavulcânicas, metamáficas/ultramáficas e metassedimentares clásticas e químicas, representando uma possível seqüência tipo "greenstone belt". A Unidade III tem predomínio de migmatitos de estrutura e composição variadas, com gnaisses e granitóides subordinados, representando um adiantado estágio de

## UHE BELO MONTE

remobilização das litologias mais antigas (Unidades I e II). A Unidade IV é composta por granitos foliados, representando granitóides remobilizados principalmente sin-cinemáticos. Finalmente, a Unidade V representa granitóides pouco a não foliados, com feições de hidrotermalismo, provavelmente tardi a pós-cinemáticos.

No Sítio Pimental ocorre apenas componentes da Unidade III, representados predominantemente por migmatitos.

O termo migmatito foi criado por Sederholm (1967) no ano de 1907 designando uma rocha formada por uma matriz metamórfica, mais antiga, e uma porção mais nova. A introdução desta última pode ter ocorrido por injeção magmática, metassomatismo ou segregação metamórfica.

Trata-se de um migmatito granito-gnáissico devido ao fato de possuir o paleossoma gnáissico e o neossoma granítico. O paleossoma é um hornblenda-biotita gnaiss de cor cinza escuro, foliado, de granulação fina, formado predominantemente por biotita, apresentando ainda quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e hornblenda e o neossoma é um metagranito de cor branco-rosado, isotrópico, de granulação média a grossa, porfírico, formado por feldspato potássico (KF), quartzo, plagioclásio e biotita. O aspecto porfírico é observado onde os cristais de feldspato potássico aparecem bem desenvolvidos, constituindo pórfiros com tamanhos variando de 3 a 5 cm em geral.

O paleossoma de acordo com sua mineralogia, provavelmente, possui uma composição original ígnea granodiorítica, podendo possuir termos sieníticos, enquanto que o neossoma, possivelmente, possui uma composição original ígnea sienogranítica.

Basicamente os litotipos que formam o migmatito são os descritos acima, havendo apenas variações nas estruturas migmatíticas encontradas que são: estrutura Estromática (M5) e estrutura Schlierem (M11), de acordo com a classificação criada por Mehnert (1968).

O bandamento metamórfico nos migmatitos corresponde a direção principal da foliação que é N50°W/ 75°SW. É possível que haja outra foliação mais antiga, no entanto não foi observada.

Intrusivo nos migmatitos encontra-se diques e sills de granito e granodiorito. Os graníticos possuem cor rosa claro, de granulação grossa, isotrópicos e porfíricos, com cristais de KF que podem atingir até 15 cm localmente, e sua mineralogia é constituída basicamente por KF, quartzo, plagioclásio e subordinadamente biotita. Tais corpos tabulares encontram-se intersectados por fraturas que se cruzam em X. Estes diques e sills graníticos possuem de 12 a 70 cm de largura.

Os diques e sills de andesito possuem cor cinza escuro, de granulação fina a muito fina, isotrópicos, constituídos por biotita, plagioclásio e quartzo. Estes corpos intrusivos podem chegar a 2 m de largura.

Ao microscópio o metagranito é constituído por microclínio (KF), plagioclásio, quartzo e biotita, tendo como minerais acessórios titanita, epidoto, apatita e zircão. Os opacos presentes são ilmenita (óxido) e pirita (sulfeto). Geralmente os feldspatos são porfiroclastos que possuem quartzo e biotita em seus interstícios, de modo que a lâmina assume um aspecto isotrópico. A textura é granoblástica e a granulação varia

## UHE BELO MONTE

de média a grossa. É interessante notar que o plagioclásio encontra-se alterado (saussuritizado).

O hornblenda-biotita gnaïsse microscopicamente é constituído por plagioclásio, biotita, quartzo, hornblenda e microclínio (KF), possuindo como minerais acessórios titanita, apatita e epidoto. Os minerais opacos encontrados são ilmenita (óxido) e pirita (sulfeto). Na lâmina a foliação é representada pela orientação de biotita e hornblenda, seguindo uma direção preferencial. Agregados de quartzo também podem aparecer orientados segundo a foliação principal da amostra. Os porfiroclastos de feldspato estão envoltos pela foliação, sendo que geralmente são xenoblásticos e possuem bordas de corrosão. É comum encontrar plagioclásio saussuritizado (alteração comum nos plagioclásios representada por uma mica fina que é a saussurita + epidoto + carbonato), no entanto o microclínio não possui alteração, o que os diferencia dos plagioclásios quando se observa a lâmina com os nicóis paralelos.

Encontram-se alguns pontos onde aflora um metadiorito de cor cinza esverdeado, bandado, de granulação média, formado por plagioclásio, anfibólio e quartzo. Microscopicamente confirma-se que trata-se de uma rocha cuja composição original ígnea é diorítica, constituída por plagioclásio, hornblenda e quartzo, sendo que pode-se encontrar em algumas amostras microclínio e biotita subordinados. Observam-se bandas ricas em hornblendas intercaladas com bandas félsicas, definindo claramente um bandamento na lâmina. No entanto existem locais onde o metamorfismo foi menos intenso, de modo que a rocha ainda preserva um aspecto típico de diorito, onde cristais de hornblenda envolvem cristais de plagioclásio.

De acordo com as evidências de campo encontradas no afloramento do ponto G21, o corpo de metadiorito está relacionado a alguma reativação da Falha Mangueira, pois neste ponto ele encontra-se encaixado no granito cisalhado que representa a falha. Este corpo de metadiorito constitui uma intrusão ígnea que também sofreu os efeitos do metamorfismo regional impresso nas rochas granito-gnáissicas, por apresentar-se migmatizado. No mapa geológico esta intrusão não foi individualizada devido as suas pequenas dimensões.

O metamorfismo desta região chegou a atingir a fácies anfibólito, segundo a paragênese observada nas amostras encontradas no campo.

A região prevista para a construção do vertedouro da barragem possui diversas ilhas formadas por aluviões e afloramento de migmatito chamados coloquialmente de "pedrais", constituindo grandes lajedos rochosos no leito do Rio Xingu. Estes lajedos são as melhores exposições de rocha, onde os migmatitos apresentam-se bandados e possuem grande quantidade de fraturas que se cruzam em forma de X. Observam-se também alguns veios graníticos, em direções diversas cortando os migmatitos. Diques e Sills graníticos e de granodiorito aparecem à montante do Eixo do Barramento, conforme apresentado no desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0003.

Encontra-se geralmente em pequena quantidade sobre os lajedos de migmatito, no leito do rio Xingu, preenchendo espaços entre blocos de rocha ou em cavidades do afloramento, um material formado por seixos rolados e fragmentos do próprio migmatito, subarredondados e angulosos, de 2 a 8 cm em média, cimentados por uma matriz de composição argilosa, limonitizada, de cor vermelho-amarelada, altamente porosa. Tal estrutura fluvial conglomerática é conhecida regionalmente como "mocarorô".

## UHE BELO MONTE

As ombreiras dos eixos são caracterizadas por relevo acidentado que atinge altitude de até 160 m, com manto de intemperismo bastante desenvolvido e grande incidência de blocos rochosos (matacões).

A análise das investigações geofísicas indicou que em subsuperfície ocorrem, na alternativa Ilha da Serra, duas anomalias geológicas, sugerindo a presença de corpos rochosos com maior grau de alteração. Estas anomalias foram confirmadas com a execução de sondagens rotativas, sendo uma na porção central da ilha Pimental (SR-539), onde ocorre uma intrusão de tremolitito e a outra no leito do rio entre as ilhas da Serra e Marciana (SR-521) que identificou um espesso banco de areia aluvionar com cerca de 10 m de espessura. Sotoposto a este banco arenoso, a sondagem rotativa identificou um bolsão de rocha muito alterada (A4/C4). Além desse bolsão, encontra-se também, preenchendo cavidades em porções alteradas do metagranito, uma massa argilosa de cor esverdeada, na qual foram executadas análises de difratometria de raios-X.

Na fase do Projeto Pré-Executivo, recomenda-se um refinamento de estudos nestas áreas, para uma caracterização real de suas extensões.

### Sedimentos Cenozóicos

- Depósitos aluvionares (Qa)

Os depósitos aluvionares recobrem parte do “pedral” e substrato rochoso formando várias ilhas dentro da calha do rio Xingu. Seu topo pode grosseiramente ser traçado pela cota 86 m e, via de regra, possui espessura média de cerca de 5,0 m. Apresentam superficialmente uma camada orgânica com raízes e restos vegetais, com espessura média de 0,20 m, seguida de um pacote de argila siltosa, cinza com manchas amareladas, com cerca de 2 m de espessura. Em profundidade ocorre uma camada composta por areia, amarelada, com granulometria variando de fina a grossa.

- Aluviões Recentes (Qa)

Os aluviões recentes são constituídos predominantemente por areia fina, média e grossa, com pouco cascalho, comumente lavada, que ocorrem em bancos distribuídos nas zonas favoráveis à deposição.

Os bancos depositados, em geral, alcançam espessuras expressivas, com valores de até 15 m, sendo inclusive objeto de investigações como material natural de construção.

- Coluviões

Os coluviões constituem as coberturas superficiais das elevações existentes no sítio, resultantes do ciclo de aplanamento atual ao qual a região está submetida.

De modo geral, são constituídos por argila silto-arenosa, porosa, marrom avermelhada, com fragmentos de rocha, laterita e quartzo dispersos. Suas espessuras variam de 0,20 a 2 m e capeiam os solos de alteração.

Como formam corpos não contínuos e pouco expressivos, não foram representados no mapa geológico.



## UHE BELO MONTE

### 4.1.2 Geologia Estrutural

Durante os trabalhos de campo do mapeamento geológico regional abrangendo o reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte (1:250.000), executados em fases anteriores, identificaram-se quatro grandes eventos deformacionais de naturezas distintas e designadas por: evento dúctil de baixo ângulo; evento dúctil direcional de alto ângulo; evento rúptil direcional e evento rúptil vertical.

O evento rúptil direcional representa o principal episódio tectônico da região do Sítio Pimental, caracterizado por intenso fraturamento e pelos sistemas de falhas identificados. As feições estruturais referentes a este evento mostram que sua evolução foi extremamente complexa, produto da superimposição de vários episódios que, além de reativar antigas falhas, criaram novas zonas de descontinuidades, algumas das quais, por sua vez, reativadas para caráter normal no evento rúptil vertical posterior.

#### Foliação Principal

A foliação principal é uma estrutura planar, principalmente marcada por biotitas, que possui atitude geral N50°W/75°SW. O bandamento metamórfico criado com a migmatização se desenvolveu paralelo à foliação, sendo que este bandamento mostra a alternância de camadas de cor cinza escuro e camadas de cor rosa claro, que representam respectivamente o paleossoma e o neossoma.

Esta feição estrutural ocorre de maneira homogênea não só neste sítio, mas em toda a região estudada. Desta forma, todas as leituras de foliação obtidas no campo foram tratadas em rede estereográfica de igual área pelo método de Schmidt-Lambert (programa DIPS, 2.0- Hoek & Diedrichs, 1989) conforme mostrado no desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0005 (Diagrama A).

#### Falhas Definidas

As evidências concretas de falhamentos em geral são muito difíceis de serem encontradas em campo. Por isso costuma-se utilizar critérios fotointerpretativos para traçar grandes lineamentos. As 04 falhas encontradas no Sítio Pimental foram efetivamente mapeadas no campo, através da observação dos milonitos gerados pelas mesmas. Nos pontos G09 - G18 - G21 e G27, apresentados no mapa de localização dos pontos (desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0002), foram mapeadas falhas encontradas neste sítio.

Cerca de 500 m a jusante da Alternativa Ilha da Serra, no ponto G09, foi encontrada uma falha, denominada falha da Marciana, que possui um milonito cujo plano "C" da foliação tem atitude N15°E/44°SE. Entretanto, na atual fase de investigação, sua continuidade em direção aos eixos de barramento não foi confirmada com evidências de campo. Nas fases seguintes do projeto, sugere-se que novos estudos sejam dirigidos neste sentido.

O ponto G18 possui um fluxo de quartzo cataclástico segundo a atitude N28°W/76°SW, que constitui um grande falhamento. Para tal falha, denominada falha da Ilha Grande (desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0003), também não foram encontradas no campo, evidências de sua continuidade tanto para montante como para jusante do ponto investigado.

## UHE BELO MONTE

No ponto G21 ocorre um granito cisalhado com 4,5m de largura, cujo plano "C" da foliação possui atitude N54°W/60°SW. Esta estrutura corresponde a falha Mangueira, traçada no mapa geológico regional, na escala 1:250.000.

Outro granito milonitizado encontrado no ponto G27 tem plano "C" da foliação com atitude E-W/90°, constitui uma falha que foi denominada Falha do Arroz Cru, por passar próximo a Vila do Arroz Cru.

As quatro falhas citadas estão colocadas no mapa geológico (desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0003) como falhas definidas, próximo ao ponto onde foram identificadas, e seu prolongamento, quando lançado, aparece como falha provável ou encoberta.

### Microfalhas Direcionais Dextrais ou Sinistrais

As microfalhas correspondem a pequenas falhas com rejeitos centimétricos encontradas durante os trabalhos de campo.

Nos pontos G26 e G40 (desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0002), foram encontradas as microfalhas do Sítio Pimental, que apresentam, respectivamente, atitudes N88°W/90° e N70°E/84°SE. Ambas são falhas direcionais com movimentação sinistral bem evidentes e geralmente mostram o deslocamento de uma camada granítica com rejeito aparente centimétrico.

Ao longo dos planos das microfalhas pode-se observar a presença de sílica ou em alguns casos material granítico, com espessuras que não excedem 3 centímetros.

É importante notar que pequenas estruturas podem representar um reflexo de uma estrutura maior que pode chegar a dimensões regionais. Portanto estes microfalamentos podem estar associados a grandes falhamentos regionais, no entanto nesta escala de trabalho não foi possível fazer tais correlações.

### Diques e Sills

Os Diques e Sills encontrados na área do Sítio Pimental podem ser de granito ou granodiorito. Os Diques são corpos tabulares de origem ígnea discordantes das estruturas principais. Já os Sills correspondem aos corpos ígneos que se alojam concordantemente com as estruturas principais da região.

A largura destes corpos intrusivos varia de um afloramento para outro, desde 12 cm até 2 metros.

A Tabela A1.4.1 apresenta a relação dos pontos onde foram encontrados os diques e sills, bem como suas composições e atitudes.

É interessante notar que estes corpos intrusivos encontram-se fraturados, isto mostra que o fraturamento é posterior a colocação dos Diques e Sills, que podem ser sin ou pós-tectônicos.

**Tabela A1.4.1 - Diques e Sills Intrusivos nos Migmatitos da Região do Sítio Pimental**

Pontos	Estrutura	Composição	Atitude	Largura (m)
G18	Dique	Granodiorítica	N85°W/70°NE	2
G20	Sill	Granítica	N60°W/88°NE	0,50
G33	Sill	Granodiorítica	N33°W/75°SW	0,13
G34	Sill	Granítica	N60°W/90°	0,25
G45	Sill	Granítica	N50°W/80°SW	0,20
G56	Dique	Granítica	N80°E/80°NW	0,12

## Veios

Os veios graníticos ocorrem em várias direções e com tamanhos diversos, desde 2 até 70 cm. Geralmente são de cor rosa e composição granítica, com predomínio de quartzo e KF, as vezes observa-se veios de quartzo branco.

Os veios estão preenchendo direções de fraqueza da rocha, o que corresponde as fraturas. Isto é visto em escala de afloramento onde se encontram veios que vão se estreitando até ficar somente a fratura.

Encontram-se ainda veios com aspecto pegmatóide, devido as dimensões dos cristais de KF e quartzo. Tais veios também possuem coloração rosada, e espessuras variadas.

Na Tabela A1.4.2 estão relacionados os veios identificados no campo.

**Tabela A1.4.2 - Relação de Pontos de Ocorrência de Veios**

Pontos	Tipo de Veio	Largura	Atitudes
G11	Veio de quartzo	-----	030°/78°
G15	Veio de quartzo	3 a 15 cm	150°/82° - 155°/90°
G18	Veio de quartzo	5 cm	194°/62°-211°/79° - 242°/76° - 040°/75°
G23	Veio granítico	2 a 3 cm	180°/70°-160°/50° - 215°/82° - 206°/90°
G24	Veio granítico	-----	040°/76°
G31	Veio de quartzo	1 a 3 cm	295°/90°-107°/90° - 156°/80° - 056°/60°
G33	Veio granítico	9 a 20 cm	068°/90°
G39	Veio granítico	6 cm	350°/90°
G40	Veio granítico	10 a 20 cm	222°/90° - 149°/90°
G41	Veio granítico	3 a 5 cm	313°/90°
G42	Veio granítico	3 cm	275°/90°
G45	Veio granítico	8 a 12 cm	180°/90° - 120°/80° - 351°/84°
G47	Veio de quartzo	8 cm	238°/75° - 250°/77°
G49	Veio granítico	8 cm	227°/80°
G51	Veio granítico	-----	164°/74°
G56	Veio granítico	10 cm	210°/75°
G59	Veio de quartzo	3 cm	206°/75°
G63	Veio granítico	2 cm	282°/77°

## UHE BELO MONTE

### Fraturas

As melhores exposições do padrão de fraturamento do Sítio Pimental encontram-se nos seus pedrais. Superficialmente predominam as fraturas subverticais, as quais representam planos de fraqueza da rocha e normalmente não exibem fraturas abertas. Já as fraturas subhorizontais ou com baixo ângulo de mergulho, aparecem secundariamente e podem ser abertas.

O padrão típico de fraturamento ocorre em forma de X, representando o cruzamento de duas famílias de fraturas. Nos afloramentos onde o fraturamento é intenso, este padrão chega a formar vários losângulos.

Distingue-se cinco famílias de fraturas na região do Sítio Pimental, conforme discriminado abaixo:

- 1ª família de fraturas, com atitude geral N50°W / 75°SW – N56°W / 85°NE.
- 2ª família de fraturas, com atitude geral N30°E / 84°SE – N20°E / 74°NW.
- 3ª família de fraturas, com atitude geral N80°E / 70°NW – N70°E / 80°SE.
- 4ª família de fraturas, com atitude geral N15°W / 79°SW – N20°W / 68°NE.
- 5ª família de fraturas, com atitude geral N55°E / 89°SE – N50°E / 72°NW.

Observa-se que todas as fraturas possuem mergulho para quadrantes opostos, devido ao fato de serem famílias de fraturas subverticais.

As fraturas da 1ª família são subparalelas à foliação, com espaçamento regular, cujas dimensões variam desde poucos centímetros até 0,5 m, chegando a individualizar pacotes de rocha em afloramento. Eventualmente tais fraturas podem apresentar-se abertas, com valores de 2 a 3 cm.

Perpendicularmente à foliação encontra-se o fraturamento da 2ª família, que é predominante na região. Possuem espaçamento de 6 até 40 cm entre elas e raramente encontram-se abertas.

No caso da 3ª família as fraturas possuem espaçamento da ordem de poucos centímetros entre elas.

Com menor intensidade, ocorre a 4ª família sendo, portanto, mais rara de ser observada. Representa o segundo padrão de fraturamento com direção NW.

A última família de fraturas corresponde a direções intermediárias entre as 2ª e 3ª famílias.

O conjunto das fraturas de todas as famílias, localmente, podem estar preenchidas por sílica ou material de natureza granítica, com espessuras de 1 a 4 cm.

A análise do levantamento estrutural das fraturas, em âmbito regional das três áreas estudadas, mostrou uma homogeneidade na classificação das 5 famílias identificadas. Desta forma, todas as leituras de cada família de fraturas foram reunidas e receberam tratamento em rede estereográfica de igual área, através do método de Schmidt-Lambert, gerando 5 diagramas polares, conforme mostrado no desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0005 (diagramas de B a F).

Em subsuperfície, as medidas efetuadas em testemunhos orientados em sondagens rotativas, executadas nas regiões previstas para instalação das estruturas de concreto

## UHE BELO MONTE

do Sítio Pimental, e posteriormente tratadas em rede estereográfica de igual área, revelaram predomínio de fraturas subhorizontais. Esta confirmação é mostrada no desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0005 (diagramas G e H). Ressalta-se que as sondagens rotativas foram executadas predominantemente na posição vertical.

### 4.2. CANAL DE DERIVAÇÃO

Os mapeamentos geológico e geológico-geotécnico realizados, durante os estudos da segunda Etapa da Viabilidade, na área do Canal de Derivação, que abrangeram uma área de 88 km<sup>2</sup>, foram realizados na escala 1:25.000 e reúnem todos os dados geológicos disponíveis sobre a área. Tais informações foram obtidas por sondagens a percussão e a trado, geofísica e em afloramentos. A interpretação dos dados para a preparação dos mapas foi realizada sobre fotografias aéreas, na escala 1:60.000. A ausência de afloramentos naturais, característica marcante da área, foi um fator adicional que dificultou a coleta de dados de campo.

Como produto final foram elaborados 3 mapas, todos em escala 1:25.000, sendo um de localização dos pontos investigados em superfície, um geológico e um geológico-geotécnico. Os desenhos BEL-B-CA-DE-GER-112-0002, BEL-B-CA-DE-GER-112-0003 e BEL-B-CA-DE-GER-112-0004 apresentam estes mapas gerados.

#### 4.2.1 Estratigrafia e Litologia

A região é constituída apenas pela Unidade III do Complexo Xingu, onde a rocha predominante é o migmatito, sendo que o paleossoma ocorre em menor proporção que o neossoma, que é o litotipo predominante.

O paleossoma é um gnaisse de cor preta, foliado, de granulação fina, formado por biotita, plagioclásio e quartzo, além de pirita subordinadamente. Os encraves desta rocha possuem dimensões e formas variadas, desde poucos centímetros até 1,5 metros.

Já o neossoma é um metagranito de cor cinza claro rosado, pintalgado de preto, devidos as placas de biotita, de granulação grossa, isotrópico a foliado, formado por KF, plagioclásio, quartzo e biotita. Microscopicamente observa-se porfiroclastos de plagioclásio e microclínio, sendo que este último pode conter inclusões de quartzo, plagioclásio e biotita, o que o torna um porfiroclasto poiquilítico. A biotita constitui a foliação da rocha, de modo que é comum encontrar grãos de quartzo recristalizados estirados, acompanhando a direção principal da foliação. O protolito deste neossoma, de acordo com o diagrama de Streckeisen (1976) é sienogranítico.

É comum a presença de veios graníticos de cor rosa claro, também foliados, de granulação média, silicificados, formados por KF, quartzo, plagioclásio e raramente biotita. Ao microscópio observa-se que a foliação é marcada por biotita e fengita (mica branca), e nota-se que os plagioclásios estão saussuritizados, enquanto os porfiroclastos de microclínio não possuem alteração. É interessante citar a presença de titanita euédrica, constituindo o mineral acessório típico destes veios. Em alguns locais os veios graníticos assumem um caráter pegmatóide, possuindo grandes cristais de KF e quartzo. Estes veios ocorrem em várias direções diferentes, além disso, são tardios, pois cortam tanto o granito que constitui o neossoma quanto os encraves gnáissicos do paleossoma.

## UHE BELO MONTE

O modo de ocorrência típico das rochas nesta região é sob a forma de blocos e matacões, principalmente nos morros, havendo pequena quantidade de afloramentos rochosos “*in situ*”. Tais afloramentos estão marcados no mapa geológico-geotécnico (desenho BEL-B-CA-DE-GER-112-0004). Neste mapa observa-se o predomínio do solo residual de migmatito com matacões.

### 4.2.2 Geologia Estrutural

Os eventos tectônicos ocorridos nesta região, talvez pela proximidade geográfica com o Sítio Pimental, são semelhantes. A foliação principal é uma estrutura planar, principalmente marcada por biotitas, que possui atitude geral N50°W/75°SW, coincidente às observadas no Sítio Pimental. O bandamento metamórfico criado com a migmatização se desenvolveu paralelo à foliação, sendo que este bandamento mostra a alternância de camadas de cor cinza escuro e camadas de cor rosa claro, que representam respectivamente o paleossoma e o neossoma.

#### Falhas

A caracterização de estruturas de falha no campo foi dificultada pela pouca frequência de afloramentos na região. Entretanto uma evidência de falhamento foi encontrada no local do ponto G287 (desenho BEL-B-CA-DE-GER-112-0003) onde ocorre uma brecha tectônica constituída por fragmentos subarredondados a subangulosos de quartzo e feldspato (já caulinizado), sustentados por uma matriz fina, possivelmente rica em óxido de ferro. Esta falha foi denominada Falha do Brejo, por estar encaixada ao longo de uma drenagem que forma um grande brejo.

A outra falha foi extraída do mapa geológico regional na escala 1:250.000 (desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0002), chamada de Falha Di Maria. Trata-se de uma falha encoberta que acompanha o leito do Igarapé Di Maria.

#### Microfalhas direcionais dextrais ou sinistrais

As microfalhas correspondem a pequenas falhas com rejeitos centimétricos encontradas durante o trabalho de campo. Elas são falhas direcionais com movimentação ora dextral, ora sinistral.

Nos pontos G230, G237, G246, G261 e G282 foram encontradas as microfalhas. Todas são bem evidentes e geralmente mostram o deslocamento de uma camada granítica com rejeito aparente centimétrico. A Tabela A1.4.3 apresenta as microfalhas encontradas no Canal de Derivação com suas respectivas estruturas e atitudes.

Ao longo dos planos das microfalhas pode-se observar a presença de sílica ou em alguns casos material granítico, com espessuras que não excedem 3 centímetros.

É importante notar que pequenas estruturas podem representar um reflexo de uma estrutura maior que pode chegar a dimensões regionais. Portanto estes microfalhamentos podem estar associados a grandes falhamentos regionais, no entanto nesta escala de trabalho não foi possível fazer tais correlações. Entretanto serão detalhadas as microfalhas dos pontos G230, G248 e G261 por apresentarem características estruturais interessantes.

**Tabela A1.4.3 - Microfalhas e suas Atitudes Observadas no Campo**

Pontos	Estrutura	Atitude
G230	Microfalha dextral	N39°W/90°
G237	Microfalha sinistral	N41°E/88°NW
G246	Microfalha dextral	N06°W/80°SW
G248	Microfalha dextral	N25°E/75°NW
G261	Microfalha sinistral	N78°W/75°NE
G282	Microfalha sinistral	N33°W/87°NE

O lajedo do ponto G230 possui um sistema de microfraturas preenchidas por sílica, representado por várias vênulas que são praticamente perpendiculares a foliação. Uma destas vênulas encontra-se deslocada por uma microfalha dextral, cuja direção é N39°E/90°.

O ponto G248 localiza-se na ponta de uma pequena ilha, situada na entrada do Canal de Derivação Esquerdo. Neste local encontra-se uma microfalha direcional dextral, cuja atitude é N25°E/75°NW. Tal microfalhamento corresponderia à mesma direção da falha encoberta que consta no mapa geológico regional, situada justamente no Canal Esquerdo, ao longo do Igarapé Galhoso.

O afloramento do ponto G261, na margem do rio Xingu, possui uma seqüência de microfalhamentos direcionais sinistrais que deslocam o neossoma granítico, que serve como guia para a visualização do rejeito aparente.

### Veios

Os veios graníticos ocorrem em várias direções e com tamanhos diversos, desde 2 até 70 cm, preenchendo fraturas. Geralmente são de cor rosa e composição granítica, com predomínio de quartzo e KF. Por vezes observa-se veios de quartzo branco.

Comumente os veios graníticos são de cor rosa claro, silicificados, por vezes foliados, cortando o granito cinza claro porfirítico típico da região. É interessante notar que estes veios são posteriores, pois aparecem cortando tanto o paleossoma quanto o neossoma.

Encontram-se ainda veios com aspecto pegmatóide, devido as dimensões dos cristais de KF e quartzo. Tais veios também possuem coloração rosada, e espessuras variadas.

Na Tabela A1.4.4 estão relacionados os veios identificados e suas características.

**Tabela A1.4.4 - Relação de Veios e suas Características**

Pontos	Tipo de Veio	Largura	Atitudes
G117	Veio granítico	6 a 30 cm	018°/62°-075°/70° - 048°/30° - 021°/74°
G145	Veio de quartzo	-----	236°/90° - 248°/90°
G147	Veio granítico	-----	253°/60°
G149	Veio granítico	-----	256°/45°
G157	Veio granítico	-----	240°/60°
G161	Veio granítico	5 cm	068°/84° - 200°/80°
G214	Veio granítico	2 a 3 cm	072°/65°
G217	Veio de quartzo	1 cm	202°/90°
G217	Veio granítico	5 a 10 cm	149°/85° - 200°/90°
G222	Veio granítico	-----	205°/40° - 200°/40°
G223	Veio granítico	1 a 5 cm	216°/80° - 224°/80°
G230	Veio de quartzo	2 a 3 cm	134°/75° - 120°/85°
G234	Veio granítico	20 a 70 cm	127°/20° - 131°/23°
G237	Veio granítico	5 cm	030°/87° - 050°/85°
G238	Veio granítico	-----	295°/80°
G240	Veio granítico	-----	180°/84°
G243	Veio granítico	-----	230°/90°-212°/80° - 202°/80° - 095°/70°
G244	Veio granítico	5 a 7 cm	200°/26° - 207°/35°
G245	Veio granítico	-----	215°/85° - 174°/70°
G254	Veio granítico	4 a 5 cm	065°/77°-050°/55° - 223°/83° - 213°/78°
G260	Veio granítico	-----	142°/90°-260°/81° - 080°/45° - 014°/45°
G282	Veio granítico	3 cm	055°/84°

## Fraturas

As mesmas cinco famílias de fraturas, encontradas na região do Sítio Pimental, também estão presentes na região do Canal de Derivação.

Nesta região existem algumas poucas fraturas encontradas cujos mergulhos são mais suaves, sendo que algumas chegam a ser subhorizontais. Tais fraturamentos apresentam direções que correspondem a 1ª, 2ª, 3ª e 5ª famílias de fraturas, com mergulhos entre 10 e 37°, que não aparecem nos diagramas devido a sua baixa porcentagem de ocorrência.

O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0005 mostra os diagramas de B a F de igual área correspondentes as fraturas observadas na região dos canais.

## 4.3. SITIO BELO MONTE

O mapeamento geológico realizado em área das barragens e da Usina Belo Monte, denominada Sítio Belo Monte, foi realizado na escala 1:10.000 e reúne todos os dados



## UHE BELO MONTE

geológicos disponíveis sobre a área. Tais informações foram obtidas por sondagens rotativas, a percussão e a trado, por poços e em afloramentos. A interpretação dos dados para a preparação do mapa geológico foi realizada sobre fotografias aéreas, na escala 1:60.000, durante a primeira Etapa dos estudos de Viabilidade.

O mapa geológico do Sítio Belo Monte, representado no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0002, abrange uma área de 40 km<sup>2</sup> e compreende as barragens de Santo Antônio, de Ligação Esquerda e Direita e as estruturas de geração.

A geologia da região onde se situa o Sítio Belo Monte apresenta grande complexidade, não só pela sua localização, no limite entre a bacia do Amazonas e o embasamento cristalino (Complexo Xingu), como também por apresentar falhas com longa história de reativações. A ausência de afloramentos naturais de boa qualidade na área de mapeamento é um fator adicional que dificulta a coleta de dados de campo.

### 4.3.1 Estratigrafia e Litologia

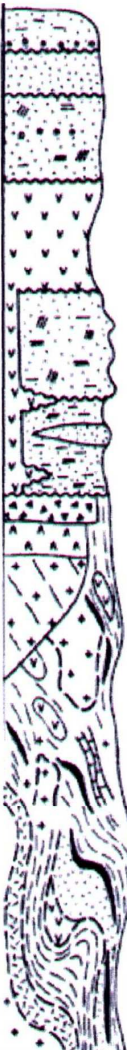
Na seqüência litológica encontrada na área, estão presentes apenas partes das unidades que o Complexo Xingu e a Bacia Sedimentar do Amazonas apresentam na região (ver Figura A1.4.2). O Complexo Xingu está representado pelas Unidades I, III e IV, formadas por rochas polifásicas que constituem o registro da evolução geológica no Arqueano. A bacia do Amazonas expõe apenas os folhelhos e ritmitos da Formação Trombetas (St), os arenitos da Formação Maecuru (Dm) e os corpos básicos toleíticos da Formação Penatecaua (JKp); as demais unidades da bacia sedimentar estão ausentes devido ao nível de erosão atingido no Terciário.

Os sedimentos semiconsolidados e inconsolidados podem ser distinguidos entre a Formação Alter do Chão (Tac) e os Terraços e os Aluviões que representam os depósitos dos ciclos geomorfológicos do Cenozóico.

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

Figura A1.4.2 - Coluna Estratigráfica do Sítio Belo Monte

ERA	PERÍODO	UNIDADES		SEÇÃO COLUNAR	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	CORRELAÇÃO
		COMPLEXO	FORMAÇÃO/MEMBRO			
CENOZOICA	QUATERNÁRIO	XINGU	ALUVIÕES		Qt – AREIAS, CASCALHOS, SILTES, ARGILAS, NÍVEIS LATERÍTICOS	
			TERRAÇOS		Qt – AREIAS, AREIAS ARGILOSAS, FRAGMENTOS DE LATERITA, SEIXO	
	ALTER DO CHÃO		Tac – AREIAS FINA A GROSSA, CAULINÍTIICAS, ARGILOSA, VARIEGADA		FORMAÇÃO BARREIRAS (ISSLER et al, 1974); (SANTOS et al, 1975)	
MESOZOICA	CRETÁCEO		DIABÁSIO PENATECAUA		Jkp – DIABÁSIO EM FORMA DE “SILLS” E DIQUES	DIABÁSIO CASSIPORÉ (LIMA et al., 1974), DIABÁSIO PIRIQUITOS (ALMEIDA E NOGUEIRA FILHO, 1959)
	JURÁSSICO					
PALEOZOICA	DEVONIANO	MAECURU	Dm – ARENITOS FINOS A GROSSOS COM ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA/ PLANO – PARALELA.			
		MANACAPURU	St – MEMBRO MANACAPURU: ARENITOS E FOLHELHOS FLUIDIZADOS, DIAMICTITO			
	SILURIANO	TROMBETAS PITINGA	MEMBRO PITINGA: RITMITOS E FOLHELHOS, PIRITOSO, LENTES DE ARENITOS.			
PROTEROZOICO		ROCHAS INTRUSIVAS ALCALINAS	BRECHAS E CATACLASITOS	DEFORMAÇÃO RÚPTIL DIRECIONAL		
		UNIDADE IV	LIMBURGITO (ALCALINA DE FILIAÇÃO ULTRAMÁFICA)			
ARQUEANA		UNIDADES III	MILONITOS, VEIOS DE QUARTZO (?)	DEFORMAÇÃO DÚCTIL DE BAIXO ÂNGULO		
			AxriV – GRANITÓIDES SIN-CINEMÁTICOS COM GNAISSES E MIGMATITOS SUBORDINADOS			
			AxriIII – MIGMATITOS DE ESTRUTURAS E COMPOSIÇÃO VARIADAS COM ENCRAVES DE ROCHAS DA UNIDADE I.	DEFORMAÇÃO DÚCTIL DE BAIXO ÂNGULO FINAL		
		UNIDADE I	VEIOS DE QUARTZO ASSOCIADOS AOS EFEITOS REMOBILIZANTES DAS UNIDADES III, IV E V (?).			
			Axi – GNAISSES GRANODIORÍTICOS, GNAISSES TONALITOS E ANFIBOLITOS.	DEFORMAÇÃO DÚCTIL DE BAIXO ÂNGULO INICIAL		

### Complexo Xingu

A área mapeada no Sítio Belo Monte apresenta um conjunto de migmatitos, no qual, em escala de detalhe, é possível distinguir corpos mais preservados da migmatização, que constituem a Unidade I (AxI), e corpos em que o domínio de neossoma torna possível a individualização de corpos graníticos, denominados por Unidade IV (AxriV).

## UHE BELO MONTE

Os contatos entre esses corpos, observados nas sondagens e nos afloramentos, são gradativos, seja pelo efeito da migmatização, seja devido à deformação dúctil a que essas rochas estiveram submetidas. Já as formas dos corpos não puderam ser observadas em campo, devido a escassez de afloramentos. De acordo com as formas que podem ser observadas em escala regional (em imagens de radar), em escala de afloramento e em lâmina, os corpos individualizados entre os migmatitos foram assumidos como fusiformes e assim representados no Mapa Geológico (desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0002).

Todas as rochas apresentam foliação milonítica, com direção geral WNW-ESE, também deformadas por faixas de cisalhamento de expressão restrita ("shear belts"). Além destas falhas dúcteis, ocorrem também falhas rúpteis, com estilos direcional e normal. As falhas-direcionais apresentam zonas de brecha e de cataclasito, às quais podem estar associados corpos ultramáficos intrusivos.

A Unidade I constitui os corpos já existentes na época da migmatização, vindo a transformar-se em paleossoma destes, após o evento termodinâmico regional. No Sítio Belo Monte essa unidade foi mapeada, principalmente, na área de jusante das estruturas de concreto.

As rochas que ocorrem dentro deste conjunto são migmatitos cinza (composição granodiorítica), biotita-gnaisses, biotita-hornblenda-gnaisses, quartzo diorito-gnaisses e anfibólitos. Essas rochas apresentam foliação milonítica contemporânea à migmatização de composição granodiorítica (Sn-I), parcialmente destruída pela foliação milonítica regional contemporânea aos migmatitos da Unidade III. Encontram-se parcialmente migmatizadas por veios concordantes de neossoma granítico rosa, aparentemente responsáveis pela feldspatização que essas rochas frequentemente apresentam. A fácies metamórfica, anfibólito baixo, contemporânea à geração da foliação milonítica regional (Sn) e, em algumas lâminas, é possível observar feições que indicam a superimposição de metamorfismo à fácies xisto verde (retrometamorfismo).

A Unidade III é constituída pelo conjunto de migmatitos com neossoma, de composição granítica de cor rosa, que é o mais comum do Complexo Xingu. Em escala regional, apresenta-se comumente sob forma de migmatitos Schlieren (M11), Nebulíticos (M12) e Ocelares (M9). Apresentam foliação milonítica originada concomitantemente à migmatização (Sn), graças ao evento dinamo-termal regional (fácies anfibólito), que provocou a deformação dúctil.

A composição litológica final dos migmatitos é bastante variada de acordo com a composição original, quantidade e grau de assimilação do paleossoma. Dessa forma, é possível encontrar composições graníticas (3A) e adamelíticas (3B), em áreas de predomínio de neossoma, e composições tonalíticas e granodioríticas, nas áreas em que o paleossoma é mais comum.

As rochas graníticas da Unidade IV foram individualizadas, principalmente na porção esquerda das estruturas de concreto e na Barragem de Ligação Esquerda. São constituídas de biotita-gnaisses (granitos gnaissificados e gnaisses adamelíticos) e quartzo-sienito-gnaisses, sintectônicos, que ocorrem em corpos fusiformes, concordantes com a foliação milonítica regional, e constituem os núcleos de fusão mais intensa no processo de migmatização.

## UHE BELO MONTE

Os granitos são médios a grosseiros, porfiroblásticos, pobres em biotita, e de cor rosa. Apresentam foliação milonítica que varia de muito fraca (com quartzo ligeiramente discóide e pórfiros orientados) a muito intensa (com milonitos e ultramilonitos). As zonas miloníticas guardam relação com a ocorrência desses corpos, mesmo em escala regional.

Os milonitos ocorrem em faixas com espessura máxima em torno de 150 m e extensão superior a 2 km e também com menor porte ao nível de afloramento. Apresentam direção SE-NW e mergulhos superiores a 55° sob a forma provavelmente lenticular, onde a espessura é pelo menos dez vezes menor que o comprimento, como observado ao nível de afloramento. A faixa de milonitos mais expressiva a que intercepta a Barragem de Santo Antônio, ocorrendo outras duas de menor porte na Barragem de Ligação Esquerda.

Os tipos litológicos variam desde protomilonitos até ultramilonitos, conforme a posição da rocha na faixa de cisalhamento. A composição original desses milonitos pode ser granítica (sondagens SR-08 e SR-53), migmatítica (SR-04 e SR-74), granodiorítica (SR-11) ou biotita-gnaiss (SR-14). O efeito da milonitização é sempre marcado por deformação, estiramento e recristalização dos minerais.

As rochas cataclásticas ocorrem associadas as rochas do Complexo Xingu após o desenvolvimento da foliação milonítica. Suas formas mais comuns de ocorrência são as brechas e as rochas cataclásticas relacionadas a microfalhas. As brechas, em geral, são centimétricas e poucas vezes apresentam espessura real significativa, a não ser na sondagem SR-08. Os conjuntos de microfalhas formam faixas de espessura métrica ou conjuntos de três ou quatro planos separados por seções centimétricas. Em geral, apresentam cimento carbonático e pelo menos em uma sondagem (SR-08) foi observada a presença de fluorita.

Junto a uma das áreas brechadas (SR-14), ocorre rocha vulcânica intrusiva, muito fina, porfirítica, cor verde escura, parcialmente brechada e cimentada por carbonatos. Foi classificada como limburgito, uma rocha de filiação alcalina e caráter ultramáfico. Ocorre como um corpo aparentemente tabular, com espessura próxima a 6 m, incluindo os intervalos brechados. Está orientada a N120°/60° SW, acompanhando as zonas de falha que ocorrem na sondagem.

### Bacia Sedimentar do Amazonas

A seqüência sedimentar da Bacia do Amazonas, preservada no Sítio Belo Monte, compreende uma seqüência marinha de idade siluriana, representada pela Formação Trombetas, sobreposta através de uma discordância erosiva, por sedimentos devonianos predominantemente fluviais, que constituem a Formação Maecuru. Estas seqüências estão intrudidas por corpos básicos toleíticos de idade juro-cretássica.

A Formação Trombetas ocorre ao longo de quase toda a área de influência das barragens, constituída por folhelhos e ritmitos, de cor cinza escura e preta, com concreções de sulfetos e trechos expansivos. Apresenta contato inferior discordante com o Complexo Xingu e contato superior discordante com as Formações Maecuru e Alter do Chão. As suas maiores espessuras foram observadas nas sondagens SR-01 (66 m), SR-03 (70 m) e SR-37 (90 m).

A Formação Trombetas alterna ritmitos e folhelhos, formando 5 camadas denominadas, da base para o topo, ritmito inferior, folhelho inferior, ritmito médio,

## UHE BELO MONTE

folhelho superior e ritmito superior. Destas, as 3 camadas superiores ocorrem apenas nas ombreiras das Barragens de Santo Antônio e de Ligação Esquerda. Na parte sul e leste da área, ao longo da Barragem de Ligação Direita, as fácies apresentam-se modificadas, tornando necessária a utilização de outros conjuntos faciológicos: a camada do ritmito com dobras convolutas, observada nas sondagens SR-33 e SR-53 e as camadas dos diamictitos e dos arenitos, presentes nas sondagens SR-37 e SR-50.

A camada do ritmito inferior está melhor representada nas sondagens realizadas nas Barragens de Santo Antônio e de Ligação Esquerda, onde ocorre com espessura da ordem de 16,5 m. Apresenta 3 conjuntos de fácies: a brecha basal, ritmitos com "linsen" (lentes centimétricas de areia) e ritmitos "wavy bed" (camadas onduladas), com freqüente bioturbação. No ritmito ocorrem intervalos decimétricos de folhelho que, apesar de não serem contínuos, podem se prolongar por distâncias superiores a 20 m, condicionando níveis locais de baixa resistência ao cisalhamento.

O folhelho inferior, com espessura da ordem de 9 m constitui um conjunto de folhelhos negros com sulfetos instáveis e "linsens" milimétricos de areia muito fina.

A camada do ritmito médio, com cerca de 15 m de espessura, constituída por ciclos de granodecrescência ascendente, iniciados por corpos decimétricos de arenito muito fino, gradados com marcas onduladas truncantes, seguido por siltito com "wavy bed" e "linsens" de areia muito fina e encerrado por folhelho.

O folhelho superior, com espessura entre 15 e 17 m nas sondagens, é constituído por folhelhos e siltitos com estratificação plano-paralela, com planos de partição submilimétrica perfeita, marcados por níveis de muscovita muito fina. Localmente, apresenta-se maciça (SR-01) e pode apresentar trechos expansivos com sulfetos instáveis.

A camada do ritmito superior apresenta espessura máxima de 11,6 m, sofrendo um leve adelgaçamento para a ombreira esquerda da Barragem de Santo Antônio, onde atinge 8,60 m. É constituída por uma seqüência de siltitos micáceos, com espessamento das lâminas para o topo. Os termos basais são constituídos por folhelhos com "wavy bed" e "linsens", seguidos na parte média por siltitos que apresentam, além dessas estruturas, dobras convolutas milimétricas, pseudonódulos e diques clásticos. Para o topo, essa seqüência apresenta ciclos métricos com arenito muito fino a fino, com marcas de onda com amplitude métrica.

A camada do ritmito com convolutas está representada nas sondagens SR-53 e SR-33, onde atinge 29 m de espessura. O conjunto se assemelha à camada do ritmito inferior, até pelo tipo e intensidade da bioturbação, diferindo, entretanto, pela espessura significativamente maior e por deformação por dobras convolutas de amplitude métrica.

A camada dos diamictitos ocorre restrita ao "graben" do Macacão, e está representada nas sondagens SR-37 e SR-50, onde alcança espessura de 37 m. É composta por diamictitos interacamados em corpos centimétricos com ritmitos convolucionados, siltitos maciços ou com dobras convolutas e diamictitos espessos. Os siltitos apresentam-se fluidizados e em corpos métricos, e os diamictitos são compostos por blocos de rocha granítica alterada, com porte de até vários metros e clastos de siltito de porte centimétrico.

---

## UHE BELO MONTE

A camada dos arenitos apresenta espessura superior a 50 m na SR-37 e compreende ciclos de vários metros de arenito limpo e folhelho, ambos maciços, fluidizados, com diápiros de folhelho no arenito. Dentro da seqüência, podem aparecer níveis de diamictito junto aos referidos ciclos e o ciclo basal é iniciado por um arenito que apresenta diápiros do diamictito pertencente à fácies inferior.

As camadas dos ritmitos e folhelhos da Formação Trombetas apresentam fácies típicas de sedimentação costeira de planície de maré, com evolução para condições plataformais, correlacionando-se ao Membro Pitinga da Formação. Já a camada dos arenitos mostra fácies genéticas de barras de plataforma, atribuída ao Membro Manacapuru. A Figura A1.4.3 apresenta a interpretação genética das 8 camadas mencionadas.

# NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

**Figura A1.4.3 - Seqüência Ideal de Fácies para a Formação Trombetas (St) Membro Pitinga (Acima) Membros Pitinga e Manacapuru (Abaixo)**

	DESCRIÇÃO FACIOLÓGICA	PROCESSOS	FÁCIES GENÉTICAS	SISTEMAS DEPOSICIONAL
	Ritmos com ciclos gradacionais (com marcas onduladas) à folhelho. Espessamento das camadas para o topo.	turbiditos oscilatórios	barras de plataforma distais	↑
	Siltito folhelhóide de partição perfeita.	suspensão	plataforma	plataforma
	Ritmo: ciclos gradacionais de arenito (muito fina com marcas onduladas) à folhelho.	turbiditos oscilatórios	barras de plataforma distais	
	Folhelho negro.	suspensão	plataforma	↓
	Ritmo: siltito com "wavy bed" e "linsen" de arenito muito fino e "flasers" de folhelho bioturbado.	oscilação suspensão	intermaré inferior	↑
	Brechas de siltito e migmatito.	tração	canal de maré	↓
				↑
				talude distal
				↓
				↑
			plataforma	
			talude proximal	
			↓	
			↑	
			talude	
			↓	
			↑	
			planície de maré	
			↓	
			↑	
			de talude	

---

## UHE BELO MONTE

A Formação Maecuru compreende um conjunto de arenitos grosseiros a finos, branco-amarelados, com raras lentes de argilito cinza ou cinza-acastanhado. Apresenta contato inferior discordante e erosivo com a Formação Trombetas, e contato superior erosivo com a Formação Alter do Chão. Sustentam encostas íngremes, localmente escarpas verticais, onde é comum a ocorrência de cavernas.

Diversas fácies podem ser reconhecidas dentro da unidade, observando-se da base para o topo a seguinte seqüência: arenitos grosseiros com estratificação cruzada, arenitos bimodais com estratificação cruzada de grande porte e arenitos finos.

Os arenitos grosseiros têm estratificação cruzada tabular e incluem lentes de conglomerados e de arenitos conglomeráticos, arenitos médios a finos com estratificação cruzada acanalada e lentes de siltito maciço variegado. Estas fácies estão inter-relacionadas e apresentam passagens laterais de uma para outra.

Os arenitos bimodais reúnem também diversas fácies: arenitos médios, bimodais, limpos, com estratificação plano-paralela e ondulada, níveis de brecha de siltito e corpos de arenitos grosseiros, com estratificação cruzada festonada. Estas fácies intercalam-se tanto com aquelas anteriormente mencionadas como com os arenitos finos que ocorrem na porção superior da Formação. O conjunto dos arenitos finos compreende camadas métricas e decimétricas de arenitos finos, com marcas onduladas, camadas métricas de arenito médio, com estratificação cruzada festonada e camadas decimétricas de siltitos cinza, maciços.

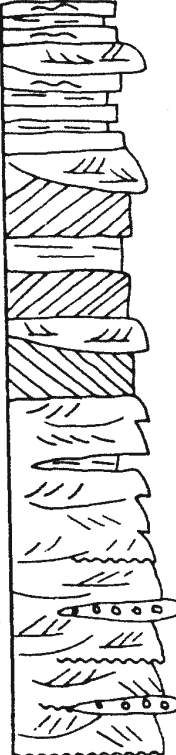


A seqüência das fácies (Figura A1.4.4) permite interpretar a unidade como resultante de processos fluviais, que evoluíram para processos costeiros. Durante essa evolução, foi possível a atuação de processos eólicos, tanto sobre os depósitos fluviais como sobre os depósitos próximos à costa.



# NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Figura A1.4.4 - Seqüência Ideal de Fácies para a Formação Maecuru (Dm)

	DESCRIÇÃO FACIOLÓGICA	PROCESSOS	FÁCIES GENÉTICAS	SISTEMAS DEPOSICIONAL
	Areia fina com marcas onduladas e siltito cinza maciço	oscilação suspensão	Barra costeira praia / intermaré superior	costeiro
			barra em pontal	
	Arenito fino, estratificação plano paralela.	tração (ventos)	interduna	
			barra em pontal	
	Arenito bimodal, estratificação de grande porte.	queda de grãos	duna	fluvial meandrante
	Siltito maciço variegado, arenito médio, estratificação cruzada tabular.	suspensão tração (regime de fluxo inferior)	planície / inundação barra em pontal	
Arenito grosseiro, estratificação cruzada tabular.	tração (regime de fluxo inferior alto)	barra longitudinal	fluvial anastomosado	
Conglomerado maciço	tração (regime de fluxo superior)	canal		

A freqüente ocorrência de cavernas na unidade pode estar relacionada à presença da fácies eólica, pois a ausência de matriz argilosa propicia a maior erodibilidade do arenito.

Os corpos de diabásio toleítico, denominados Diabásio Penatecaua, estão representados por um "sill" na porção noroeste da área, intrudido entre as Formações Maecuru e Trombetas, em corpos separados pela erosão atual, cobrindo área superior a 4 km, com espessura próxima a 80 m.

Essas ocorrências estão evidenciadas por espessos solos de decomposição de diabásio onde, eventualmente, podem ser observados pequenos matacões semi-alterados.

### Sedimentos Cenozóicos

As coberturas cenozóicas compreendem sedimentos detríticos em estágio inicial ou parcial de consolidação, correlativos aos ciclos de aplainamento que se seguiram a partir do final do Mesozóico, sobre os sedimentos da Bacia do Amazonas. Estão representadas pela Formação Alter do Chão (Tac) e pelos terraços, aluviões e coluviões do Quaternário.

## UHE BELO MONTE

- Formação Alter do Chão (Tac)

A Formação Alter do Chão constituída por sedimentos arenosos semiconsolidados, amarelo e rosa esbranquiçados, variegados, representados por fácies de arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada tabular e arenitos grosseiros com estratificação cruzada acanalada e por lentes de argila vermelha e de areia fina maciças.

Esses sedimentos ocorrem capeando o topo dos morros na parte oeste e norte da área. Sua base ocorre em cotas que variam entre 60 e 70 m na porção sul do sítio, entre 70 e 110 m nas áreas de empréstimo "A" e "B", e entre 120 e 130 m no morro que serve de ombreira às Barragens de Santo Antônio e de Ligação Esquerda. As espessuras da unidade variam entre 19 m (SR-03) e 26 m (SR-01), e o contato basal é erosivo, feito com as Formações Maecuru e Trombetas e com o Diabásio Penatecaua.

- Terraços (Qt)

Os terraços constituem depósitos aluviais preservados da erosão, recobrando as encostas na porção norte da área. Ocorrem como corpos mapeáveis na área das sondagens SR-28, SR-29 e SR-30, onde ocupam cotas entre 10 e 20 m. São constituídos de areia argilosa maciça, alternada com areia fina a grossa e níveis de seixos de quartzo arredondados.

- Aluviões Recentes (Qa)

Os aluviões recentes correspondem aos depósitos de canal e de planície de inundação que formam as várzeas ao longo das drenagens no Sítio Belo Monte. Ocorrem principalmente na margem do rio Xingu e no igarapé Santo Antônio, de forma praticamente contínua e como corpos isolados no igarapé Aturiá. Apresentam espessuras em torno de 1 a 3 m e são constituídos de areia fina a grossa, com pouca matriz e seixos centimétricos, e de areia grossa a média, muito argilosa. Na sondagem SR-31, localizada na ilha interceptada pelo Canal de Fuga, foi notada a ocorrência de cerca de 15 m de areia média e argila de cor verde escura.

- Coluviões

Os coluviões constituem a cobertura superficial existente praticamente sobre as encostas das elevações. Seus depósitos não estão representados em mapa geológico porque apresentam distribuição generalizada em todo o Sítio. Suas espessuras são, em geral, da ordem de 0,5 a 1,5 m, embora existam registros de depósitos restritos de até 10 m junto ao sopé de páleo-encostas.

A constituição dos coluviões é bastante variável ao longo do Sítio Belo Monte, pois depende da granulometria do material fonte (solos residuais das diversas litologias presentes).

Os depósitos relativos aos migmatitos e gnaisses são argilo-arenosos, de cor marrom avermelhada; os provenientes de ritmitos e folhelhos são argilo-siltosos, de cor marrom, com freqüentes concreções lateríticas ou fragmentos de pelitos limonitizados; os provenientes de solo de diabásio são argilas silto-arenosas, marrom avermelhadas; e os depósitos oriundos dos arenitos são constituídos de

## UHE BELO MONTE

areia com pouca matriz argilosa e, em geral, apresentam blocos de rocha pela sua localização em encostas abruptas.

### 4.3.2 Geologia Estrutural

Nos trabalhos de escala regional realizados para o reservatório, foram definidos quatro grandes eventos deformacionais: evento dúctil de baixo ângulo, evento dúctil direcional de alto ângulo, evento rúptil direcional e evento rúptil vertical. As fases e os estilos estruturais observados no mapeamento do Sítio Belo Monte, tanto em superfície como em subsuperfície, enquadram-se nos conceitos estabelecidos no mapeamento regional, com algumas ressalvas que serão descritas a seguir.

#### Deformação Dúctil

A associação dos estilos estruturais com as rochas que os exibem permitiu a distinção de dois conjuntos de estruturas dúcteis denominadas deformação dúctil de baixo ângulo e deformação dúctil direcional de alto ângulo.

As feições originadas pela deformação dúctil de baixo ângulo podem ser distinguidas em dois grupos, designados por deformação dúctil de baixo ângulo inicial (Dn-1) e deformação dúctil de baixo ângulo final (Dn).

O conjunto estrutural que define a deformação (Dn-1) é representado por uma foliação milonítica (Sn-1) presente nos corpos da Unidade I, preservada em núcleos menos deformados ou com menor remobilização.

Essa foliação plano-axial a dobras fechadas e sem raiz, bem visíveis nos migmatitos de cor cinza (granodioríticos). Pelo observado em campo e em lâminas petrográficas, a foliação é contemporânea ao evento de migmatização de composição granodiorítica. A direção dessa foliação medida em sondagens, no Sítio Belo Monte, concordante com a regional, orientada a NNW-SSE.

As estruturas que definem a deformação Dn são representadas, em escala regional, por aleitamento tectônico, foliação milonítica, lineação de estiramento e dobras sem raiz. Estas estruturas afetam todas as unidades do Complexo Xingu que ocorrem no sítio.

Sua feição mais marcante a foliação milonítica (Sn), à qual se associam corpos fusiformes, corpos boudinados, subconcordantes, nos quais a foliação desenvolve linhas sigmoidais; é bastante freqüente a presença de aleitamento tectônico e de corpos rotacionados em sentido horário e anti-horário. As direções obtidas em campo e em sondagens mostram o pólo principal em N150°/80° NE e secundários em NS75° E e N135° /65 ° SW, representando variações locais da direção regional, que se situa entre N120° e N145°.

As estruturas características da deformação dúcteis de alto ângulo (D3) são as zonas de cisalhamento (“shear zones”), representadas pelas falhas dúcteis, transcorrentes, que afetam a foliação.

No Sítio Belo Monte, essas falhas são representadas por espessas zonas miloníticas orientadas entre N95° e N135° com mergulhos altos tanto para NE quanto para SW, ou por pequenas faixas de milonitização de direção N40° E a N50° E subverticais. As primeiras estão representadas pela Falha do Catijuba (SR-08) e pelas Falhas da SR-14 e da SR-74 e parece terem sido geradas conjuntamente à deformação dúctil de

## UHE BELO MONTE

baixo ângulo, pelas atitudes concordantes com a foliação Sn, e posteriormente reativadas neste evento dúctil direcional. Já as falhas de direção NE, como a identificada na sondagem SR-53, em subsuperfície, são características deste evento deformacional por cortarem a foliação regional.

### Deformação Rúptil

Dois estilos de deformação rúptil são responsáveis pelo desenvolvimento de falhas rúpteis direcionais e verticais, zonas de brechas e de cataclastos e pelo fraturamento apresentado pelas rochas do Sítio Belo Monte. Os eventos deformacionais responsáveis por esses dois estilos estruturais foram denominados por evento rúptil direcional (D4) e evento rúptil vertical (D5).

O evento rúptil direcional (D4) é marcado por falhas direcionais (transcorrentes) nas rochas do Complexo Xingu, que podem produzir zonas brechadas, cataclastadas em faixas, com microfalhas conjugadas.

As direções observadas no Sítio Belo Monte estão representadas por N60° E (Falha do Igarapé Santa Helena), N100° (Falha do Aturiá), N10° E a 20° E (falhas do Igarapé Santo Antônio e da Água Boa) e N10° W (Falha da SR-06). Os sentidos de movimentação raramente puderam ser observados com segurança e algumas dessas direções correspondem a linhas originadas já no cisalhamento dúctil.

A deformação rúptil vertical (D5) caracterizada por falhas rúpteis de mergulho alto, com movimento vertical, que afetam o embasamento e os sedimentos. Essas falhas são predominantemente do tipo normal (de gravidade). Tais falhas não desenvolvem zonas de rochas cataclásticas, limitando-se a definir faixas de fraturamento mais intenso ou de concentração de microfalhas.

As principais direções observadas variam entre ENE-WSW e NNW-SSE, com bloco baixo para norte e oeste, embora localmente o bloco baixo possa estar situado a sul e a leste, como no "Graben" do Macacão, localizado a sudeste do Sítio. As direções observadas são as mesmas nos sedimentos e no Complexo Xingu e correspondem às direções das falhas rúpteis direcionais. Os intervalos de reativação vertical das falhas direcionais podem ser observados com base no registro sedimentar que persiste até o Cenozóico.

O "Graben" do Macacão constitui uma estrutura que esteve ativa no Siluriano durante a sedimentação da Formação Trombetas, propiciando a ressedimentação dos folhelhos e ritmitos do Membro Pitinga e a preservação da camada dos arenitos, do Membro Manacapuru, inexistente fora do "Graben". Os limites do bloco rebaixado não são impostos propriamente por uma só falha; as estruturas fazem parte de uma zona de falhas escalonadas.

As fraturas que ocorrem no Sítio Belo Monte resultam da atuação de ambos os estilos de tectônica rúptil e a atuação cíclica destes eventos tornam impossível a distinção da origem dessas discontinuidades. Mesmo a identificação das fraturas de cisalhamento e de dissensão é muito difícil, dada a precariedade dos afloramentos e a freqüente reativação destes planos de fraqueza.

As principais atitudes de fraturas medidas nas rochas do Complexo Xingu encontram-se entre os valores de N70° - 80° W, N20° - 40° W e N75° - 90° E, além das fraturas

## UHE BELO MONTE

subhorizontais, com mergulho inferior a 20°, predominantes em 14 das 42 sondagens rotativas utilizadas.

As rochas sedimentares apresentam direções de fraturamento semelhantes às do embasamento, tanto em escala local como regional. Isto reforça a evidência de que as estruturas do embasamento contribuem ativamente para a formação das estruturas das rochas sedimentares.

### 4.4. DIQUES

#### 4.4.1 Diques do Sítio Pimental

Nos locais caracterizados como prováveis pontos de fugas, em ambas as margens do rio Xingu, estão presentes somente rochas da Unidade III do Complexo Xingu, onde predominam migmatitos com estruturas e composições variadas, tendo gnaisses e granitóides subordinados. São escassos os afloramentos rochosos, observando-se, entretanto, uma marcante presença de matacões de dimensões métricas. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0003 apresenta o mapa geológico deste local.

Recobrimo esta unidade litológica ocorrem o solo de alteração, com composição predominante silte argilosa, as vezes capeado por delgada camada de coluvião areno siltoso.

#### 4.4.2 Diques do Reservatório Intermediário

No desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0002 é apresentado o mapa geológico, escala 1:50.000, da faixa de implantação dos diques do Reservatório Intermediário do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte.

O perfil geológico da área de implantação destes diques mostra sedimentos da Bacia Amazônica, representada pelas Formações Trombetas (St), Maecuru (Dm) e Alter do Chão (Tac), em contato com as unidades pré-cambrianas do Complexo Xingu, representadas pelas unidades AxrIII, AxIV, AxV, AxCAT e por coluviões e aluviões, recobrimo indistintamente as unidades aqui mencionadas.

A Unidade AxrIII é representada por: migmatitos nos domínios dos diques DIK-7A e DIK-7B, ao norte, e entre DIK-14C e DIK-29, ao sul, representados por áreas de predominância de granitos e migmatitos Nebulíticos (M12); e nos diques DIK-01, DIK-02, DIK-10A, DIK-11, DIK-12 e na ombreira direita do DIK-13, por predominância de migmatitos Estromáticos (M5) de paleossoma anfibolítico e neossoma granítico.

A Unidade AxIV mostra-se como um corpo alongado, definido entre as falhas da Baleia e do Cajueiro, de direção N60°W, interferindo com a ombreira esquerda dos diques DIK-13, DIK-14A, DIK-14B e ombreira direita do DIK-14C. É representada por granitos porfiríticos de matriz grosseira, cinza claro a rósea e fenocristais de feldspato potássico de até 5 cm.

A Unidade AxV ocorre na forma de dois pequenos corpos irregulares em contato com a Unidade AxrIII. O maior encontra-se ao norte do DIK-10A e, o menor, a sudeste do DIK-7A, não interferindo diretamente com as ombreiras dos diques estudados. Está representada, na área, por biotitagranitos róseos, médios, cortados por veios de granito fino, de quartzo e, por vezes, de aplito.

## UHE BELO MONTE

Os cataclasitos (AxCAT) mostram-se associados à direção N60°W dos principais alinhamentos de falhas da área, como as falhas Aturiá, da Baleia, Cajueiro e Ticaruca e revelaram-se como porções muito orientadas e fraturadas das unidades mapeadas. Uma direção N40°E foi observada também, porém menos intensa e com desenvolvimento menor de cataclasitos.

As unidades sedimentares da Bacia do Amazonas ocorrem ao norte da área trabalhada, interferindo com os diques DIK-3, DIK-4, DIK-6A, DIK-6B, DIK-6C e DIK-7A. Caracteriza-se por uma seqüência alternada de folhelhos e ritmitos com arenitos no topo, sobrepostos a uma camada de conglomerado basal, conforme descrito no subitem 4.4.1.

A Formação Maecuru ocorre nas porções altas das ombreiras dos diques DIK-03 e DIK-04, em contato erosivo com a Formação Trombetas. Esta unidade é constituída por arenitos finos, mal selecionados, brancos e amarelo-avermelhados e, em parte, silto-argilosos. Intercalam-se níveis de arenito médio a conglomerático e superficialmente silicificados, sendo friáveis em seu interior.

Na ombreira direita do DIK-6C e na ombreira esquerda do DIK-7A, ocorre o arenito Manacapuru da Formação Trombetas.

A Formação Alter do Chão não apresenta interferência direta com os diques estudados. Ocorre na forma de "ilhas", recobrando discordantemente as unidades mais antigas. A ocorrência mais notável desta unidade, na área mapeada, refere-se à investigação da área de empréstimo A/3, ao sul do DIK-03. É representada por sedimentos mal consolidados, constituídos por arenitos, argilitos e conglomerados.

Recobrando, indistintamente, as unidades descritas, ocorrem os coluviões e os aluviões. Os coluviões mostram-se distintos quanto a sua fonte, sendo muito arenosos quando próximo à ocorrência de arenitos e silte argilosos nas áreas do pré-Cambriano. Os aluviões interferem diretamente com os diques DIK-13, DIK-14, DIK-A e DIK-28 e são constituídos por areias, argilas e cascalhos.

## 5. CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DOS LOCAIS DE IMPLANTAÇÃO DAS OBRAS

### 5.1. SÍTIO PIMENTAL

O Sítio Pimental situa-se geologicamente em região de rochas migmatíticas da Unidade III do Complexo Xingu, que se encontram aflorantes ou capeadas por aluviões na calha do rio, e alteradas em solo nas ombreiras.

As investigações nas fundações desse eixo de barramento foram realizadas através de mapeamento geológico-geotécnico apoiado por poços e sondagens a trado, à percussão, rotativas e geofísicas.

Os desenhos BEL-B-PM-DE-GER-112-0003 e BEL-B-PM-DE-GER-112-0004 apresentam os mapas geológico e geológico-geotécnico do Sítio Pimental. No desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0001 estão indicadas as localizações das investigações realizadas e o desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0006 mostra a seção geológico-geotécnica ao longo do eixo do barramento e três seções transversais pelo eixo do barramento.

## UHE BELO MONTE

Foram escavados três poços de inspeção, sendo os PI-501 e PI-502 na ilha Pimental e um na ombreira direita, PI-503, objetivando basicamente as suas inspeções. Apenas no PI-501 foi retirada uma amostra indeformada na profundidade de 0,40 a 0,70 m.

As sondagens à percussão de diâmetro 2<sup>1/2</sup>" foram executadas nas ombreiras e em algumas ilhas, visando a obtenção de valores de SPT e determinação da permeabilidade do solo "*in situ*". As de diâmetro 6" foram executadas na calha do rio, sobre ilhas e sobre flutuante, objetivando determinar a ocorrência de material aluvionar arenoso.

As sondagens rotativas foram executadas no leito do rio, em ilhas e principalmente sobre flutuantes, visando basicamente à determinação do topo rochoso e das condições geotécnicas da rocha de fundação. Suas profundidades se limitaram, inicialmente a 10 m em rocha sã a medianamente alterada e com o decorrer da campanha os furos foram aprofundados, chegando a atingir até 30 m em rocha de boa qualidade.

Foram realizadas sondagens geofísicas pelo método da sísmica de reflexão, com a finalidade de efetuar levantamentos batimétricos e determinação das espessuras das coberturas aluvionares nos trechos imersos do leito do rio Xingu, enquanto as executadas pelo método de sísmica de refração permitiram a investigação das fundações dos barramentos nos trechos secos.

### 5.1.1 Estruturas de Concreto

As estruturas de concreto, compostas pelo conjunto Vertedouro, Tomada d'Água/Casa de Força Complementar e Muros estão localizadas na calha do rio Xingu entre as ilhas da Serra e Marciana. Foram investigadas por 11 sondagens rotativas, SR-502, SR-506, SR-507, SR-521, SR-522, SR-524, SR-526, SR-528, SR-530, SR-537 e SR-538, 06 sondagens a percussão de diâmetro 6", SP-572, SP-573, SP-576, SP-577, SP-579 e SP-580, além das sondagens geofísicas.

O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0007 apresenta a seção geológico-geotécnica longitudinal pela fundação das estruturas de concreto.

O fundo do rio, no local, apresenta topografia assimétrica. Partindo da ilha da Serra o platô rochoso estende-se por de cerca de 150 m em torno da cota 82 m; a partir daí começa o talude mais íngreme até atingir o fundo do canal, com o topo rochoso na cota aproximada 67 m. A seguir inicia-se o talude mais suave em direção à ilha da Marciana, até atingir novamente o platô da cota aproximada 82 m. Foi detectado espesso banco de material aluvionar arenoso, com cerca de 10 m de espessura, neste canal mais profundo. Nas proximidades da SR-530 foi identificado um outro banco de material aluvionar arenoso, porém com espessura menor, atingindo cerca de 1,8 m. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0008 mostra a planta do topo rochoso nesta região.

Na parte mais profunda do canal, ocorre ainda, um solo residual de migmatito com espessura de cerca de 1,5 m e logo em seguida um pacote de cerca de 4 m de rocha muito alterada e medianamente a pouco coerente, conforme amostrado pela sondagem SR-521. Esta sondagem identificou ainda uma massa argilosa de cor esverdeada preenchendo cavidades em porções alteradas do metagranito. Visando a sua caracterização petrográfica, foram executadas análises de difratometria de raios-X e lâminas petrográficas.

## UHE BELO MONTE

O difratograma apresentou como resultado os seguintes componentes minerais: richiterita (um tipo de anfibólio), clinocloro (um tipo de clorita), microclínio (feldspato potássico) e albita (feldspato sódico). O difratograma obtido consta do relatório específico do mapeamento geológico de campo (Relatório ELETRONORTE nº BEL-V-10-190-0157RE).

A análise das lâminas revelou a ausência de anfibólio, provavelmente porque este já tenha sido alterado, pois a quantidade de clorita na lâmina é expressiva, logo não foi possível confirmar se o anfibólio é mesmo a richiterita. Já o clinocloro correspondeu as expectativas, pois a lâmina petrográfica apresentou aproximadamente 50% de clorita. Com relação aos feldspatos, ambos estão presentes nas lâminas do furo SR 521 (lâminas SR 521-19,93m e SR 521-21,37m), sendo que há um predomínio de microclínio.

O maciço rochoso de fundação apresenta-se, em profundidade, normalmente são e pouco a medianamente fraturado, com as fraturas visualmente fechadas. Entretanto, nas porções mais superficiais que serão obrigatoriamente escavadas, ocorrem fraturas subhorizontais e subverticais abertas e eventualmente permeáveis.

O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0009 apresenta uma representação da distribuição das famílias de fraturas ao longo das estruturas de concreto.

Os desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0027 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0014 apresentam, respectivamente, os tratamentos previstos para os taludes escavados em rocha, que serão aplicados quando necessário, e para o tratamento profundo das fundações.

### 5.1.2 Barragem de Terra/Enrocamento do Canal Direito

O Canal Lateral Direito está situado entre a ilha da Serra e a Margem Direita do rio Xingu. A superfície topográfica do canal do rio possui cota média aproximada 68 m (SR-508 e SR-525), sendo que o ponto mais profundo do canal encontra-se na cota 64 m (SR-509). O aluvião, composto por areia fina, média e grossa, ocorre nas proximidades da margem direita com espessura de até 3,15 m (SR-525), enquanto nos demais trechos encontra-se ausente ou com espessuras insignificantes. O maciço rochoso apresenta as características semelhantes às encontradas nas estruturas de concreto. As três sondagens rotativas executadas na área apresentaram, nas proximidades da cota 61 m, fraturas predominantemente subhorizontais com paredes alteradas e película de argila amarela. Os ensaios de perda d'água acusaram altos valores de permeabilidade nas sondagens SR-508 e 509 o que não ocorre na SR-525. Nas ombreiras do barramento, tanto na ilha da Serra como na Margem Direita, o aterro será assentado sobre o solo de alteração de migmatito, composto predominantemente por um silte argiloso, marrom amarelado com manchas esbranquiçadas e com valores do Índice de Resistência à Penetração no ensaio SPT da ordem de 10 golpes que vão aumentando em profundidade até atingir o impenetrável. A seção geológico-geotécnica longitudinal pelo Canal Lateral Direito está apresentada no desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0010.



## UHE BELO MONTE

### 5.1.3 Barragem de Terra/Enrocamento (Ligação da Ilha da Serra com as Estruturas de Concreto)

Está barragem será apoiada parcialmente sobre o topo rochoso do fundo do rio e complementada sobre o solo de alteração do migmatito existente na ilha da Serra.

Todas as características geológicas do maciço de fundação (rochoso/terroso) são semelhantes às descritas para os materiais que ocorrem nas Estruturas de Concreto e na Barragem do Canal Direito.

### 5.1.4 Barragem de Terra Lateral Esquerda

A Barragem de Terra Lateral Esquerda complementa o barramento desde a Casa de Força Complementar/Área de Montagem até a ombreira esquerda do rio Xingu. Foi investigada através de sondagem sísmica de refração ao longo do eixo no trecho seco, com detalhamento para montante e jusante no trecho de uma anomalia geológica identificada, 3 sondagens rotativas, SR- 512, SR-536 e SR-539; 6 sondagens à percussão de diâmetro 2 1/2", SP-505, SP-506, SP-507, SP-508, SP-509 e SP-510; 2 poços de inspeção, PI-501 e PI-502 e 4 sondagens a trado de diâmetro 4", ST-507, ST-508, ST-509 e ST-510. A maior parte deste barramento intercepta as ilhas Marciana, Pimental e do Forno, que apresentam cobertura aluvionar de cerca de 4 m de espessura, composta por uma camada superficial argilo siltosa, cinza com manchas amareladas, de consistência média a rija, com espessura média de 2 m e valores do Índice de Resistência à Penetração do ensaio SPT médios superiores a 9 golpes e normalmente com baixos valores de permeabilidade. A presença de canaliculos de dimensões milimétricas eventualmente podem provocar valores mais significativos de permeabilidade. Sotoposto a este material argiloso ocorre uma camada de areia com granulometria variada, desde areia fina até grossa.

O maciço rochoso migmatítico normalmente apresenta-se são a medianamente alterado e pouco a medianamente fraturado. A campanha de geofísica identificou uma anomalia geológica na ilha Pimental, com cerca de 350 m de comprimento ao longo do eixo da barragem. Esta região foi investigada com a execução da sondagem rotativa SR-539. Análise dos testemunhos desta sondagem, inclusive com lâmina petrográfica confeccionada a partir de amostra colhida da sondagem, identificou a rocha desta anomalia como sendo um tremolitito (composta apenas por anfibólio tremolita). Portanto, tudo indica que esta anomalia é o resultado da alteração hidrotermal de uma rocha básica intrusiva. Este tremolitito apresenta-se muito fraturado e totalmente alterado até a profundidade de 22 m (cota 64 m). O solo de alteração deste material apresenta valores de Índice de Resistência à Penetração do ensaio SPT superiores a 12 golpes e com permeabilidade variando entre  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  cm/s. O maciço rochoso abaixo da cota 64 m apresenta-se são, pouco a medianamente fraturado e com baixos valores de permeabilidade. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0006 mostra a sua localização e características geológico-geotécnicas.

## 5.2. CANAL DE ADUÇÃO

O termo Canal de Adução genericamente compreende algumas estruturas, que podem ser reunidas em dois grupos principais: Canal de Derivação e Canais de Transposição em geral.

## UHE BELO MONTE

O Canal de Derivação, cuja extensão é significativamente superior à sua largura, pode ser analisado como um conjunto único com cerca de 20 km de comprimento e com larguras variáveis de 128 a 591 m na base aproveita o talvegue de um igarapé, denominado Gaioso (com extensão de cerca de 12 km), tributário da margem esquerda do rio Xingu, isto é, no sentido contrário ao fluxo que se estabelecerá quando da implantação do empreendimento até o divisor de outra drenagem, denominada igarapé Paquiçamba. Este último trecho deste igarapé, com comprimento em torno de 8 km, complementa a interligação entre os reservatórios denominados Calha do rio Xingu e do Reservatório Intermediário, permitindo a adução até a Tomada d'Água da Usina Belo Monte.

As investigações geológico-geotécnicas no Canal de Derivação foram executadas através de sísmica de refração, em seções topográficas transversais aos canais de drenagem espaçadas a cada 250 m, 20 sondagens a trado de diâmetro 4" (ST-603 a 621) e 27 sondagens à percussão de diâmetro 2 1/2" (SP-601 a SP-627), todas com ensaios de SPT e em algumas com ensaios de permeabilidade (infiltração).

Os valores de propagação de ondas sísmicas indicaram velocidades elevadas (superiores a 5000 m/s) no maciço rochoso, sugerindo a presença de rocha de boa qualidade geomecânica. Durante os meses de janeiro a abril do ano de 2009 foram realizadas investigações geológico-geotécnicas, representadas por 26 sondagens rotativas (SR-704, 705, 710, 711, 713 a 727, 729, 733 a 735, 745, 746 e 766), 14 sondagens a percussão (SP-713 a 716, 718, 718A, 718B, 719, 721, 721A, 722, 722A, 722B e 734) e 27 sondagens rotopercussivas (RP-29 a 42, 45, 228 a 239).

O desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0027 apresenta os tratamentos previstos para os taludes escavados em rocha, que serão aplicados quando necessário.

Os desenhos BEL-B-CA-DE-GER-112-0001, BEL-B-CA-DE-GER-112-0006, BEL-B-CA-DE-GER-112-0005 e BEL-B-CA-DE-GER-112-0007 apresentam, respectivamente, as investigações geológicas e geofísicas realizadas e algumas seções transversais representativas, correspondentes aos trechos dos igarapés Gaioso e Paquiçamba.

Nos Canais de Transposição, situados entre o final do Canal de Derivação e a Tomada d'Água, as investigações realizadas constaram de algumas seções geofísicas, não tendo sido executadas sondagens mecânicas e manuais. O desenho BEL-B-CA-DE-GER-112-0006 contém a planta de localização das seções geofísicas correspondentes a estes trechos.

Na região dos Canais, formada por rochas migmatíticas do Complexo Xingu, ocorre predominantemente espessa cobertura de material de alteração de rocha, com muitos blocos rochosos (matacões). Estes matacões possuem dimensões variadas, desde centimétricas até métricas, o que sabidamente acarretarão dificuldades especiais na escavação. O desenho BEL-B-CA-DE-GER-112-0008 mostra, de forma esquemática, um perfil geológico longitudinal ao longo do traçado do Canal de Derivação.

Visando um melhor conhecimento do grau de incidência e dimensões destes matacões, foi realizado um levantamento para contagem e estimativa de seus volumes ao longo das 90 seções topográficas transversais implantadas a cada 250 m e também das poligonais auxiliares externa e interna dos Canais de Derivação Esquerdo e Direito estudados na fase de Viabilidade. Os blocos foram contados e separados em 2 categorias – com dimensões maiores e menores que 1 m<sup>3</sup>. Para o tratamento desse produto obtido, foram adotadas 4 classes para agrupamento dos blocos, feitos a partir

## UHE BELO MONTE

de células formadas por 20 m de comprimento ao longo de cada seção/poligonal e uma faixa de 40 m de largura, correspondente a 20 m de cada lado da seção/poligonal. As 4 classes utilizadas foram as seguintes:

- Classe 1 – áreas sem blocos;
- Classe 2 – áreas com até 10 blocos menores que 1 m<sup>3</sup> e nenhum bloco maior que 1 m<sup>3</sup>;
- Classe 3 – áreas com mais de 10 blocos menores que 1 m<sup>3</sup> ou até 5 blocos maiores que 1 m<sup>3</sup> e
- Classe 4 – áreas com 6 ou mais blocos maiores que 1 m<sup>3</sup>.

Com extensão levantada de 99.040 m lineares de picadas (3.961.600 m<sup>2</sup> de área efetivamente mapeada), correspondendo a cerca de 29% da área total onde as picadas se inserem, obteve-se os seguintes resultados:

- Classe 1 - 90,5%
- Classe 2 - 2,0%
- Classe 3 - 6,0%
- Classe 4 - 1,5%

A Tabela A1.5.1 contém o resumo estatístico da ocorrência dos blocos e a Figura A1.5.1 apresenta, de forma esquemática, a distribuição dos blocos obtida neste levantamento ao longo dos Canais de Derivação estudados na fase de Viabilidade.

**Tabela A1.5.1 - Canais de Derivação - Estatística da Ocorrência dos Blocos**

CLASSES	1	2	3	4	SOMA
<b>SEÇÕES TRANSVERSAIS</b>					
OCORRÊNCIA	2 698	87	233	51	3 059
EXTENSÃO (m)	53 960	1 740	44 600	900	61 060
FREQÜÊNCIA (%)	91	3	7	2	100
<b>POLIGONAL EXTERNA</b>					
OCORRÊNCIA	909	17	53	19	998
EXTENSÃO (m)	18 180	340	1 160	380	19 960
FREQÜÊNCIA (%)	91	1,7	5,3	2	100
<b>POLIGONAL INTERNA</b>					
OCORRÊNCIA	867	4	21	9	901
EXTENSÃO (m)	17 340	80	420	180	18 020
FREQÜÊNCIA (%)	96,5	0,5	2	1	100
<b>RESUMO GERAL</b>					
OCORRÊNCIA	4 478	108	297	79	4 958

# NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato  
CREA-MG 16.918/D  
Diretor de Construção

---

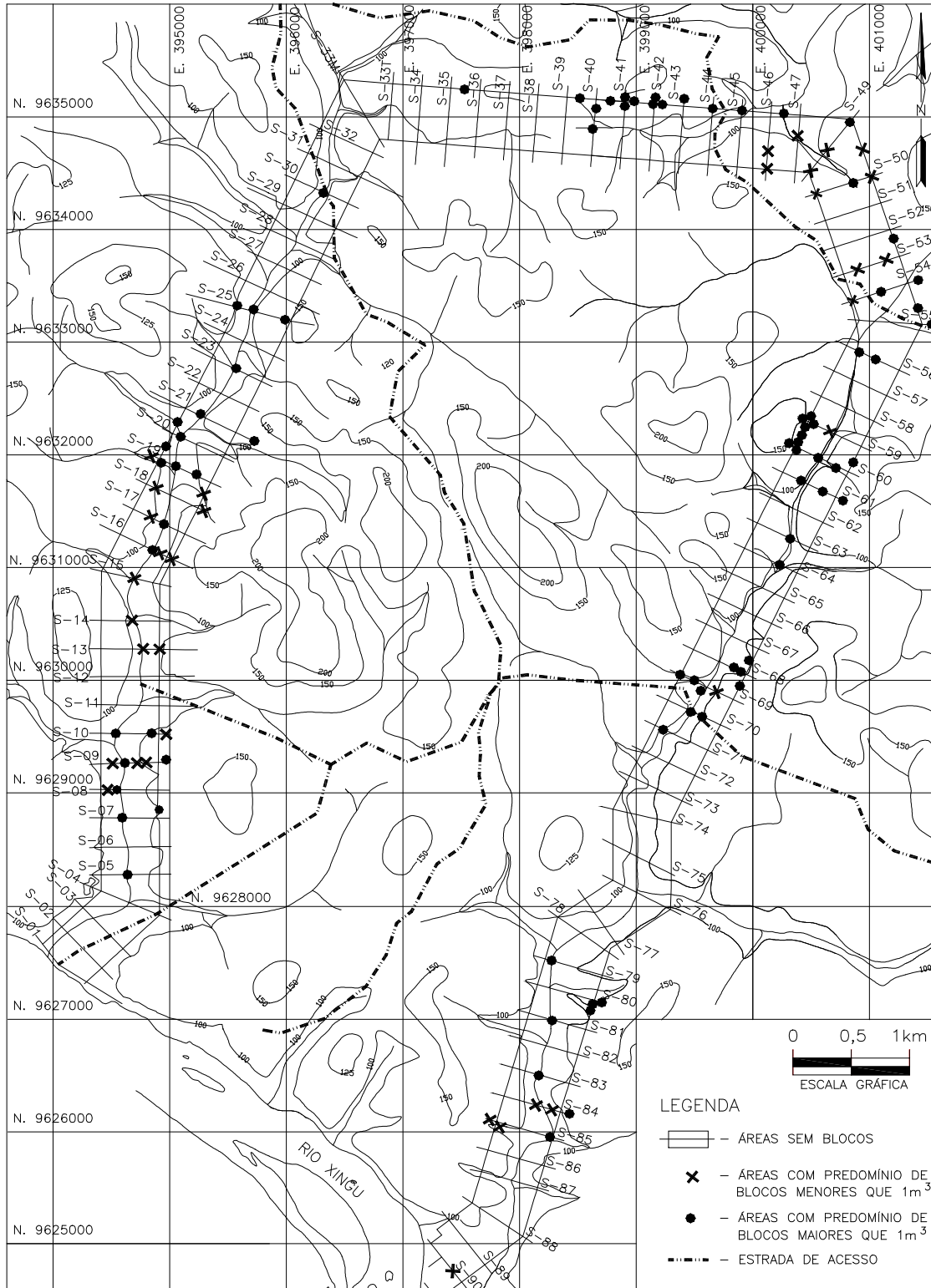
## UHE BELO MONTE

EXTENSÃO (m)	89 480	2 160	5 940	1 460	99 040
FREQÜÊNCIA (%)	90,5	2	6	1,5	100

# NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Figura A1.5.1 - Canais de Derivação Esquerdo e Direito (Alternativa Viabilidade) – Distribuição Esquemática das Áreas com Blocos



---

## UHE BELO MONTE

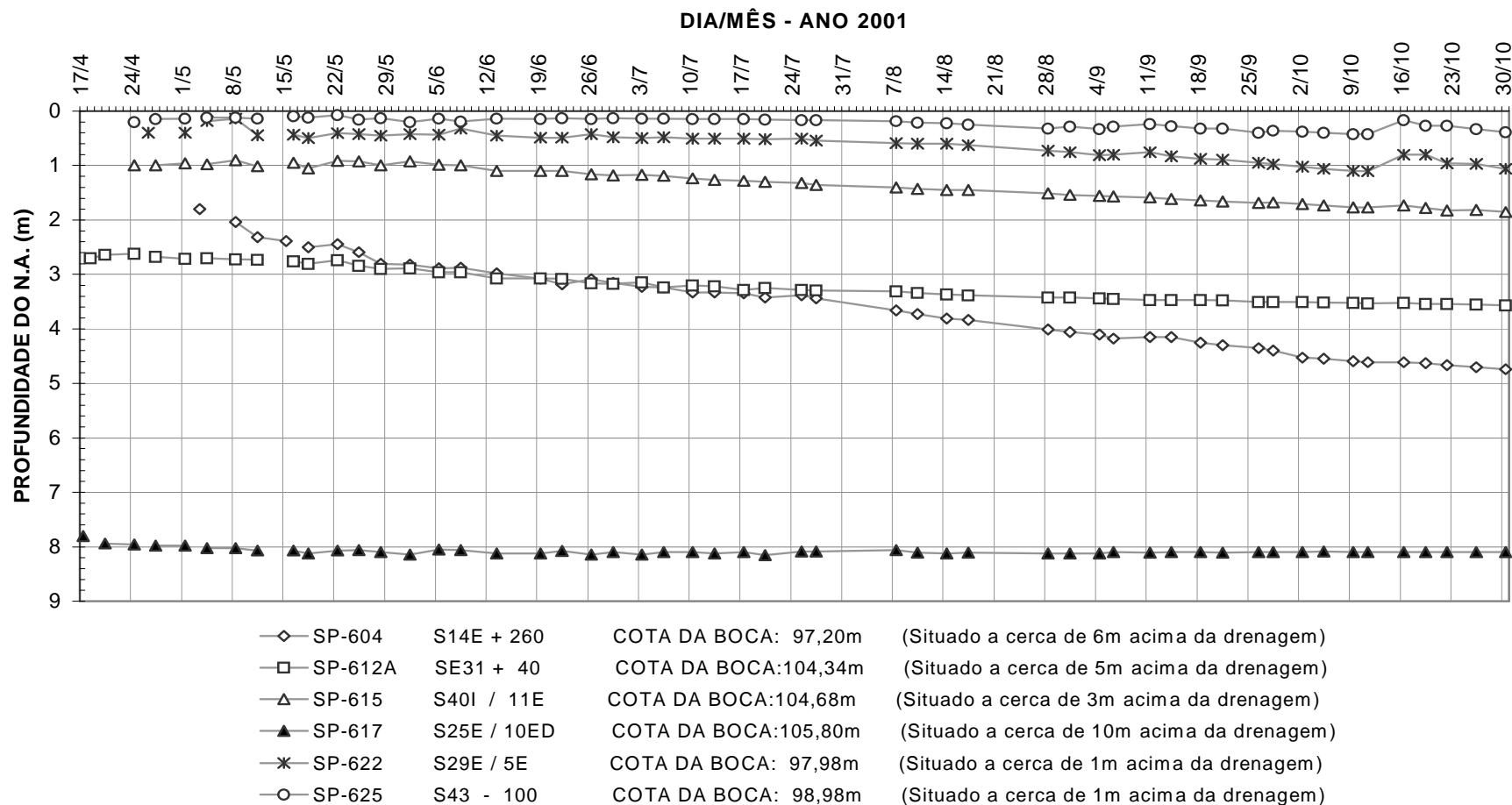
Nestas regiões com ocorrência de blocos, foram selecionadas três áreas com dimensões individuais de aproximadamente 100 x 100 m, procurando representar as reais dimensões dos blocos existentes. O desenho BEL-B-CA-DE-GER-112-0009 apresenta o resultado deste levantamento.

Outro condicionante importante está relacionado à presença da água, tanto de superfície como de subsuperfície. Na fase de estudos da 2<sup>o</sup> etapa da Viabilidade, objetivando o conhecimento preliminar do comportamento da água em subsuperfície, foram instalados seis medidores de nível d'água. A Figura A1.5.2 apresenta o gráfico das leituras dos medidores de nível d'água (prof. NA x tempo) durante o período de abril a outubro de 2001.

# NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Figura A1.5.2 - Canal de Derivação - Gráfico de Comportamento do Lençol Freático nos Medidores de N.A.



---

## UHE BELO MONTE

Entretanto, devido ao curto período de observação, o qual não chegou a completar um ciclo hidrológico, o resultado das leituras efetuadas, mostra que ocorreu uma variação de pequena amplitude na oscilação do nível d'água, mesmo levando-se em conta a pouca diferença entre o nível d'água dos furos e o nível de base da drenagem, o que não permitiu a elaboração de uma análise conclusiva. Por isso, torna-se imprescindível nas etapas posteriores de estudos uma investigação mais detalhada do comportamento da água nesta região, inclusive com a instalação de novos medidores de nível d'água e a realização de ensaios de bombeamento.

O solo aluvionar orgânico, encontrado no fundo de alguns vales, observados nas sondagens e no caminhamento de campo para o mapeamento geológico, nunca ultrapassou a espessura de 1 m. Nas encostas ocorre um colúvio areno siltoso, poroso, normalmente com espessura inferior a 2 m. O solo de alteração do migmatito predominante é composto pela fração silto-argilosa, muito embora em profundidade passem a ser mais arenosos. Os valores do Índice de Resistência a Penetração do ensaio SPT geralmente são superiores a 10 golpes e vão aumentando em profundidade até atingir o impenetrável. A permeabilidade constatada nos ensaios de infiltração foi muito baixa ( $10^{-5}$  a  $10^{-8}$  cm/s). As Figuras A1.5.3 e A1.5.4 apresentam, respectivamente, o comportamento dos resultados obtidos nos ensaios de infiltração e SPT, efetuados nos estudos anteriores que contemplavam dois canais de derivação.



Figura A1.5.3 - Canais de Derivação Esquerdo e Direito - Correlação de Ensaios de Permeabilidade x Profundidade

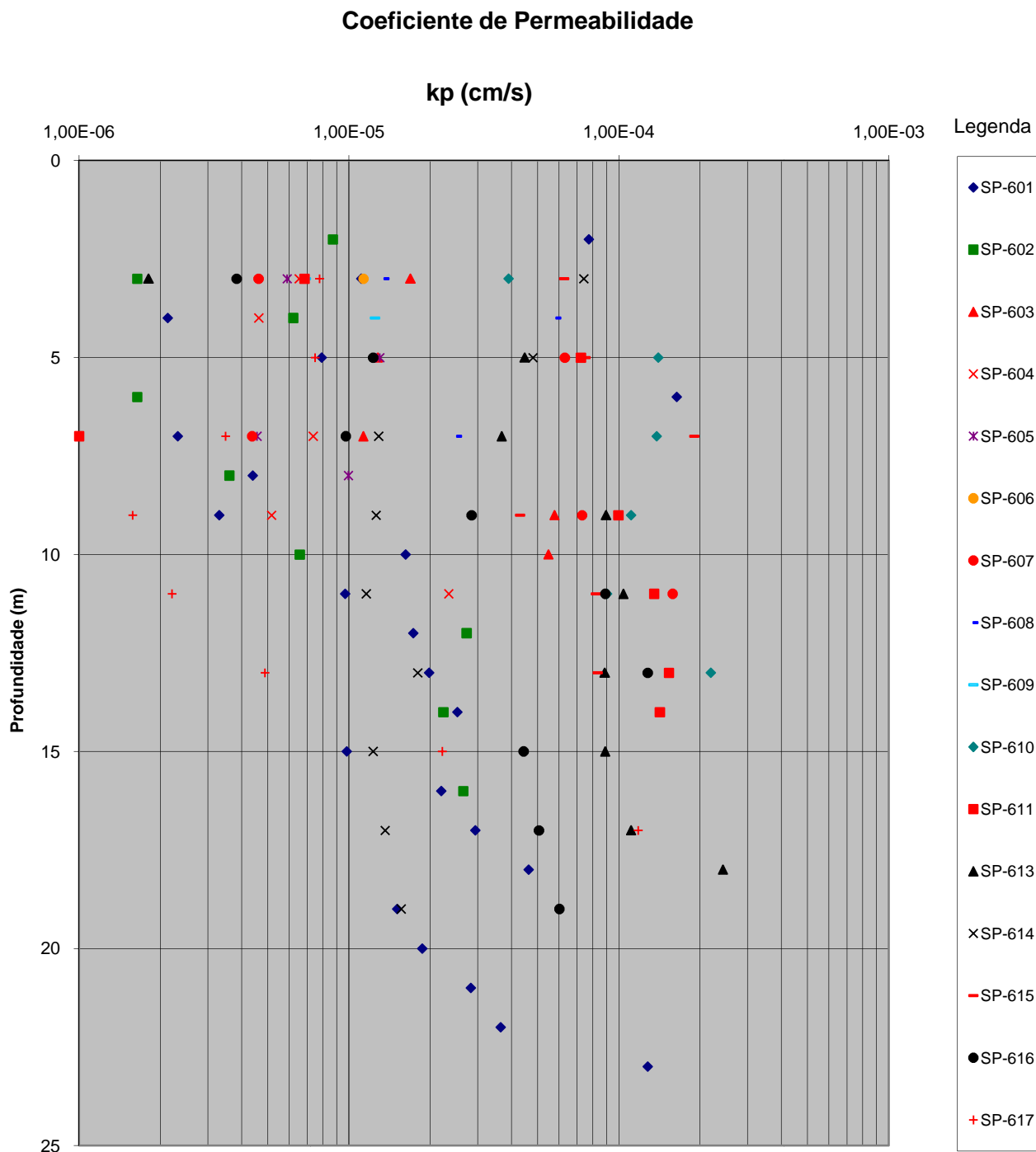
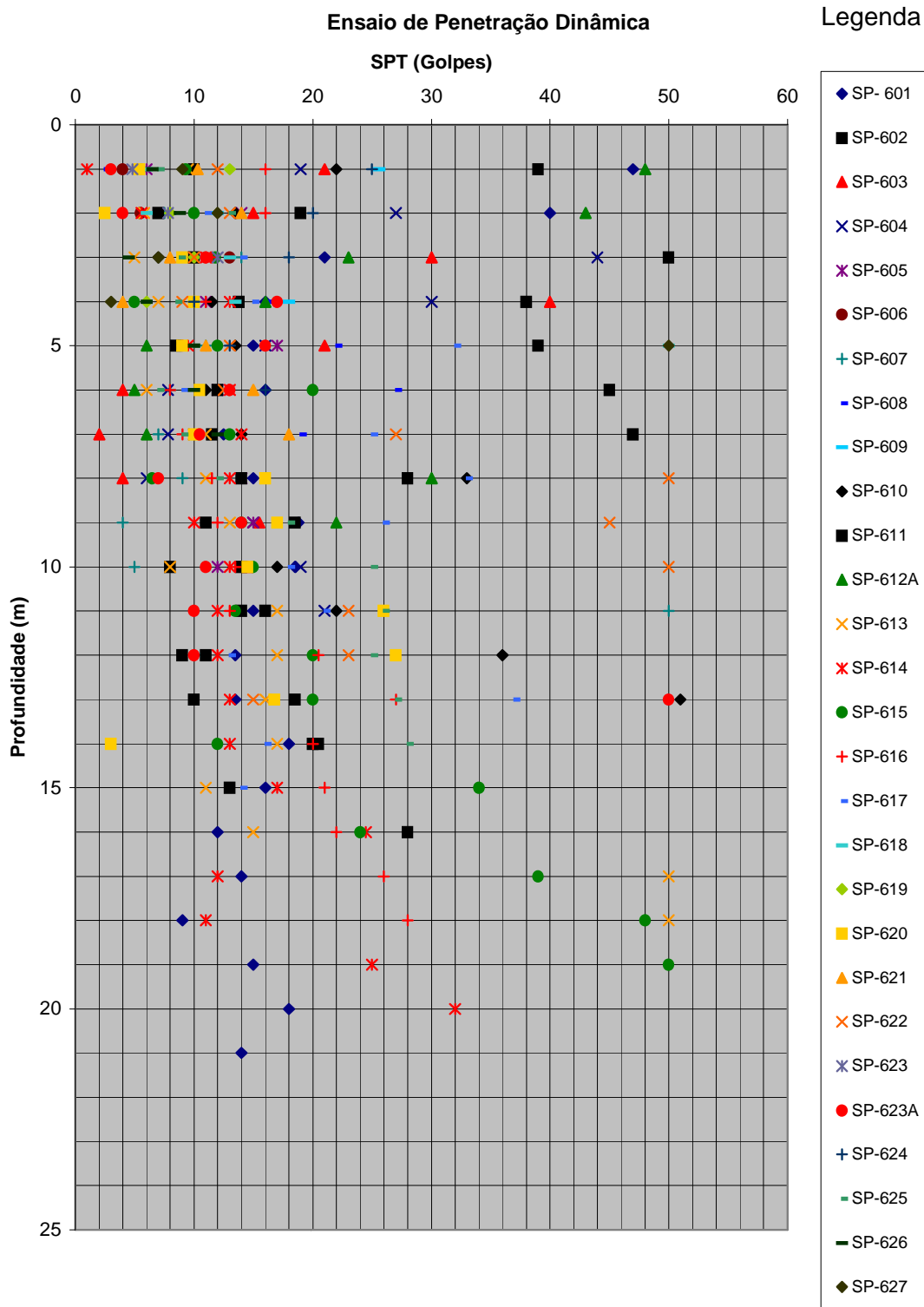


Figura A1.5.4 - Canais de Derivação Esquerdo e Direito - Correlação de Ensaios SPT x Profundidade



## UHE BELO MONTE

### 5.3. SÍTIO BELO MONTE

O Sítio Belo Monte do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte situa-se em região de rochas migmatíticas e gnáissicas do Complexo Xingu e sedimentares das Formações Trombetas e Maecuru, que se encontram, em geral, alteradas em solo nas suas porções superficiais.

Os estudos das fundações iniciaram-se através de detalhado mapeamento geológico-geotécnico apoiado por poços, sondagens a trado e algumas sondagens rotativas com objetivo estratigráfico. Nesta etapa foram caracterizadas as litologias presentes no sítio e suas principais feições geológicas e geotécnicas, assim como as características dos solos de cobertura de cada litologia.

Na etapa seguinte, os estudos foram direcionados para as alternativas dos arranjos de eixo da Tomada d'Água e realizados através de investigações com sondagens a percussão, poços para amostragem, sondagens geofísicas e sondagens rotativas.

No desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0001 é apresentado o mapa geológico do sítio e nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0002 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0003 estão indicadas as investigações geológico-geotécnicas e geofísicas realizadas.

As sondagens a percussão foram executadas ao longo do eixo e de seções transversais das barragens, visando à obtenção de valores de SPT, determinação da permeabilidade "in situ" e caracterização tátil-visual da granulometria e da natureza dos solos. Suas profundidades se limitaram a 30 m ou ao impenetrável ao ensaio de lavagem por tempo.

Os poços permitiram a observação "in situ" dos aspectos dos solos que interferem diretamente com as fundações, principalmente com relação à sua porosidade, compacidade ou consistência e presença de estratos menos resistentes e de estruturas ou camadas permeáveis. A partir dessas observações e dos resultados dos ensaios realizados nas sondagens, foram escolhidos os materiais de interesse para amostragem indeformada. Essas amostras foram extraídas nas dimensões de 30 cm x 30 cm x 30 cm e 15 cm x 15 cm x 15 cm, dependendo da coesão dos materiais, para a execução de ensaios de caracterização, triaxiais, de deformabilidade e de permeabilidade.

As sondagens geofísicas foram realizadas ao longo das alternativas dos arranjos com a finalidade de orientar a programação de sondagens rotativas, através da determinação indireta das profundidades do topo rochoso e dos contatos litológicos. Além disso, tiveram grande importância para subsidiar os estudos de alternativas de eixo das estruturas de concreto, possibilitando, após aferições com as sondagens rotativas ali executadas, a confecção do mapa do topo rochoso de toda a área de interesse.

As sondagens rotativas foram realizadas visando, basicamente, à determinação precisa do topo rochoso e dos contatos geológicos e à caracterização geotécnica dos solos e do maciço rochoso de fundação. As sondagens foram executadas, preferencialmente, ao longo dos eixos alternativos, com espaçamento variável entre 200 m e 400 m ao longo das barragens e de aproximadamente 200 m nos eixos da Tomada d'Água e Casa de Força. Excetuando-se algumas sondagens profundas de cunho estratigráfico, de forma geral, as sondagens rotativas alcançaram profundidades de 1/2 H (meia altura da barragem) ao longo das barragens e Tomada d'Água, cerca

## UHE BELO MONTE

de 15 m abaixo da fundação da Casa de Força e, no Canal de Fuga, sua cota máxima de escavação prevista.

As caracterizações geotécnica e geomecânica do maciço rochoso foram realizadas não só através dos ensaios geotécnicos efetuados durante a execução dos furos das sondagens e da classificação dos testemunhos de sondagem, como também através da execução de ensaios de laboratório em amostras de rocha. Esses ensaios, além da análise dos diversos tipos litológicos, foram dirigidos principalmente ao conhecimento dos parâmetros de resistência e deformabilidade das rochas cristalinas presentes nas fundações das estruturas de concreto e dos ritmitos e folhelhos das ombreiras.

### 5.3.1 Barragem de Santo Antônio (BSA)

A BSA está localizada no vale do igarapé Santo Antônio. Esta barragem foi investigada através de cinco sondagens rotativas, SR-08, SR-40, SR-41, SR-42 e SR-43, de doze sondagens a percussão, SP-43, SP-46, SP-47, SP-48, SP-49, SP-53, SP-54, SP-64, SP-65, SP-66, SP-67 e SP-70, de onze poços, P-102, P-103, P-120, P-121, P-122, P-123, P-124, P-125, P-126, P-129 e P-131 e de quinze sondagens geofísicas, SG-251 a SG-257, SS-73 a SS-76, SS-192, SS-193, SS-188 e SS-189.

Nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0004 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0005 são apresentadas a seção geológico-geotécnica longitudinal e três seções transversais típicas da BSA.

A BSA tem as suas ombreiras aproximadamente simétricas, com inclinação média de 9°, ambas com ligeiro patamar, que se desenvolve na ombreira direita em torno da cota 50,0 m e na ombreira esquerda em torno da cota 30,0 m. A baixada central tem extensão de 180 m, situando-se entre as cotas 9,0 e 14,0 m.

As ombreiras são sustentadas, basicamente, por migmatitos, milonitos e cataclasitos nas porções inferiores e por um pacote de rochas sedimentares capeado por sedimentos do Terciário nas cotas superiores. Na baixada ocorrem sedimentos aluvionares.

Os migmatitos ocorrem, de modo geral, abaixo da cota 40 m na ombreira direita, e cota 25 m na ombreira esquerda, e apresentam-se capeados por cerca de 15 m de solo de alteração e 0,5 a 2,5 m de coluvião.

Os milonitos e cataclasitos cortam os migmatitos diagonalmente à Barragem, ao longo da porção central do vale, e formam uma estrutura aproximadamente tabular, com espessura da ordem de 110 m e mergulho para jusante em torno de 60°. Estas rochas afloram ao longo do igarapé Santo Antônio e, em geral, capeadas por espessa camada de solo nas ombreiras.

Os coluviões desenvolvidos sobre estas litologias são geralmente constituídos de argila areno-siltosa, porosa, marrom-avermelhada com blocos de arenito e lateritas ferruginosas na base. Ocorre com a maior espessura (2,5 m) no patamar da ombreira esquerda, logo abaixo do contato entre os solos de migmatito e das rochas sedimentares e caracteriza-se nesse local por apresentar feições de intensa laterização associadas com sua elevada porosidade.

Sob essa cobertura, o solo residual maduro é, em geral, pouco desenvolvido, chegando a alcançar espessura de 2 m nos migmatitos e até 4 m nos milonitos. Nos primeiros, constituído de argila areno-siltosa e, nos milonitos, de argila silto-arenosa a

## UHE BELO MONTE

silte argilo-arenoso. Em ambos, apresentam sinais de laterização caracterizados, além de cor vermelha-escura-amarelada, pela ocorrência de pequenos torrões duros e consistência geral mais rija em relação ao solo de alteração inferior. Nesta camada de solo foram registrados valores de SPT variáveis entre 11 e 23 e permeabilidades de  $1,0 \times 10^{-4}$  cm/s a  $1,0 \times 10^{-6}$  cm/s.

O solo residual maduro passa transicionalmente para o solo de alteração de migmatito ou de milonito. O solo de alteração de migmatito (SAMg) é constituído de areia silto-argilosa ou silte areno-argiloso vermelho-arroxeadado, amarelo e branco, variegado e, localmente, laterizado nas porções mais superficiais. Apresenta, de modo geral, os menores valores de SPT (5 a 8) nos seus primeiros três a quatro metros e, daí para baixo, SPT superior a 15. Nas porções laterais à faixa de milonitos, verificou-se também a ocorrência de solos mais compactos superficialmente, incluindo zonas de saprolitos. A permeabilidade do SAMg obtida a partir de ensaios de infiltração nas sondagens varia, em média, entre  $4 \times 10^{-4}$  e  $3 \times 10^{-6}$  cm/s, embora tenha sido registrado na SP-46 valor de  $3,4 \times 10^{-2}$  cm/s a 8,6 m de profundidade, associado a uma granulometria grosseira envolvendo matacões muito alterados.

O solo de alteração de milonitos e/ou cataclasitos (SACat) apresenta granulometria mais fina, representada por silte argilo-arenoso vermelho, amarelo-esbranquiçado e arroxeadado, variegado com estruturas remanescentes bem nítidas, representadas pela foliação milonítica e planos de juntas. De modo geral, apresenta valores de SPT entre 5 e 11 até 7 a 8 m de profundidade, passando a uma compacidade progressivamente maior para baixo. As permeabilidades do SACat, medidas nas sondagens, variam entre  $3,5 \times 10^{-5}$  e  $3,5 \times 10^{-6}$  cm/s atingindo, em zonas localizadas,  $2,6 \times 10^{-3}$  cm/s.

Ao longo do vale do igarapé Santo Antônio, os migmatitos e milonitos apresentam uma cobertura de solo de alteração de cerca de 7 m sob um aluvião de até 3 m de espessura. Este é constituído de areia silto-argilosa cinza clara, fofa, com uma camada de areia grossa com seixos na base. O solo de alteração inferior apresenta-se, em geral, compacto e com matacões esparsos.

Sob o capeamento de solo, o maciço rochoso representado pelos migmatitos e gnaisses granodioríticos apresenta-se, de modo geral, são e com baixa permeabilidade. Já na faixa de milonitos e cataclasitos, o maciço apresenta-se intensamente e caoticamente fraturado, com intercalações de solo e rocha totalmente alterada (A4) nos primeiros 10 m e elevada permeabilidade (maior que  $7 \times 10^{-4}$  cm/s) até cerca de 25 m de profundidade. Ao longo do leito do igarapé ocorrem afloramentos dessas rochas, que se apresentam sãs e extremamente fraturadas.

Acima da cota 40 m na ombreira direita e cota 25 m na ombreira esquerda, ocorrem sobre as rochas cristalinas os folhelhos e ritmitos da Formação Trombetas e os arenitos da Formação Maecuru, que apresentam suave mergulho aparente para a ombreira esquerda. Devido a este mergulho, a Formação Maecuru, superior, comparece apenas nas fundações da ombreira esquerda e acima da cota 85 m.

Essas litologias apresentam cobertura de solo da ordem de 7 a 10 m, chegando a atingir 18 m no alto da ombreira direita, solo este representado por um coluvião superficial com cerca de 0,5 a 2,5 m de espessura, sobre solo residual.

Os coluviões que recobrem os solos de ritmitos e folhelhos são constituídos mais superficialmente por areia argilo-siltosa, marrom-amarelada, com grãos de laterita esparsos, porosa e fofa, que passa abaixo de 0,7 a 1 m de profundidade, a argila silto-

## UHE BELO MONTE

arenosa amarelo-avermelhada, semilaterizada ou com grandes concentrações de lateritas ferruginosas e, em geral, com nível de blocos de arenito na base. Ensaios realizados em sondagens forneceram, para esta camada inferior, valores de SPT variáveis entre 8 e 13 e coeficientes de permeabilidade da ordem de  $4 \times 10^{-4}$  a  $1 \times 10^{-5}$  cm/s.

Sob o colúvio, o solo residual dos ritmitos e folhelhos é constituído de argila silto-arenosa micromicácea a silte argilo-arenoso cinza, vermelho e arroxeadado, variegado, menos consistente e com pouca laminação preservada na sua porção mais superficial e progressivamente mais compacto/consistente em profundidade. Um perfil de alteração desse solo é, em geral, constituído das seguintes camadas: no topo, cerca de 30 cm de solo residual variegado com interpenetração de pequenos blocos e lateritas do colúvio superior e de consistência rija; abaixo, camada de 1 a 1,5 m de solo com zonas cinzas sem estratificação e de consistência média até mole com lateritas esparsas, intercaladas com zonas bem estratificadas com mergulhos caóticos da ordem de  $5^\circ$  a  $20^\circ$ , laterizadas, de maior consistência, que tendem a aumentar para a base; abaixo, cerca de 0,5 a 1 m de solo rijo a muito rijo com estratificação bem preservada e laterização mais localizada e controlada pela estratificação gradacional - areia/silte/argila, formando placas de 5 a 30 cm de extensão; daí para baixo, predomina solo muito rijo a duro cinza escuro, com pouca laterização, que progressivamente passa a rocha de baixa coerência (C4). Em geral, a permeabilidade determinada para esses solos nos ensaios "in situ" situa-se entre  $3 \times 10^{-5}$  e  $2 \times 10^{-6}$  cm/s, com alguns resultados da ordem de  $3 \times 10^{-4}$  até  $3 \times 10^{-3}$  cm/s que, entretanto, não são representativos.

Sob essa cobertura de solo, o maciço mostra-se, em geral, com elevada coerência e muito pouco fraturado subverticalmente. Os ensaios de perda d'água revelaram permeabilidade de até  $1 \times 10^{-4}$  cm/s apenas na porção superior do maciço, provavelmente devido a juntas e/ou estratificação abertas por alívio de tensões.

Nas cotas superiores da ombreira esquerda, onde ocorrem os arenitos da Formação Maecuru, o capeamento de solo é da ordem de 7 m e constituído, superficialmente, por cerca de 2 m de colúvio e 5 m de solo residual. O colúvio é caracterizado por areia siltosa marrom-amarelada fofa e colapsível, com permeabilidade "in situ" da ordem de  $1 \times 10^{-3}$  cm/s. O solo residual (RSAr) é constituído de areia fina amarelo-esbranquiçada, com SPT entre 8 e 9 nos primeiros 3 m e daí para baixo muito compacto e com permeabilidade variável entre  $7 \times 10^{-3}$  e  $3 \times 10^{-4}$  cm/s.

Sob este solo, o arenito Maecuru apresenta-se friável até próximo do contato com os ritmitos inferiores e pouco fraturado segundo planos subverticais. Na sondagem SR-43, executada com inclinação de  $45^\circ$  para o interior da ombreira, verificou-se a ocorrência de juntas abertas, possivelmente subverticais e subparalelas à ombreira, indicadas pela perda total da água de circulação da sondagem. Da mesma forma, a SR-01, vertical, executada no platô existente no alto da ombreira esquerda também mostrou juntas abertas permeáveis nesse arenito.

Acima dos arenitos Maecuru, ocorrem em ambas as ombreiras os sedimentos Alter do Chão, constituídos por areias e argilas semiconsolidadas, em geral capeados por solos coluvionares argilo-arenosos. Não interferem com as fundações da barragem mas tem fundamental importância na sustentação das ombreiras graças à proteção que exercem contra a erodibilidade do arenito Maecuru.

## UHE BELO MONTE

### 5.3.2 Barragem Lateral Esquerda (BLE)

A BLE está situada no arranjo geral à esquerda da Tomada d'Água.

As investigações realizadas nas suas fundações constam de 7 sondagens rotativas, SR-10, SR-18, SR-19, SR-20, SR-24, SR-61 e SR-62, de 9 sondagens à percussão, SP-03, SP-04, SP-05, SP-06, SP-09, SP-10, SP-62, SP-63 e SP-71, dos poços PI-104, PI-105, PI-106 e PI-132 e das sondagens geofísicas SG-50 a SG-53, SS-114, SS-115, SS-173 a SS-175 e SS-215 a SS-217.

Nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0006 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0007 são apresentadas, respectivamente, a seção geológico-geotécnica longitudinal e duas seções transversais típicas da BLE.

Essa Barragem desenvolve-se, a partir do muro de ligação, sobre migmatitos ao longo de uma extensão de aproximadamente 650 m, sendo os primeiros 300 m em topografia plana, com presença de sedimentos aluvionares, e o restante em aclive suave até a cota 45 m. A partir deste ponto inicia-se a seqüência de ritmitos e folhelhos da Formação Trombetas que sustentam topografia gradativamente mais inclinada, atingindo nos seus 200 m finais, até a cota 99 m, inclinação de 10°.

Na área dos migmatitos, a cobertura de solo varia entre 7 e 20 m, ficando as menores espessuras restritas ao trecho plano da baixada aluvionar. Na área dos ritmitos e folhelhos, sua espessura varia entre 4,5 e 7 m. Os coluviões apresentam, em geral, espessuras de 1 a 2,5 m sobre os solos residuais dos ritmitos e folhelhos e 1 a 1,5 m sobre os solos de migmatito. Os aluviões têm espessura média de 2 m.

Os coluviões existentes na porção inferior da ombreira, até próximo da cota 45 m, são constituídos de argila silto-arenosa marrom amarelada, porosa, mole, com lateritas e blocos de arenito ou quartzo na base. Os coluviões desenvolvidos nas cotas mais elevadas, sobre os solos de ritmitos, estão representados mais superficialmente, até 1 a 1,5 m de profundidade, por argila arenosa marrom, porosa, com blocos de arenito, siltito e concreções lateríticas esparsas, passando para baixo a uma argila silto-arenosa amarela-acinzentada a avermelhada, com grande concentração de lateritas ferruginosas, que chegam a alcançar cerca de 60% do material. Na porção superficial, esses coluviões apresentam, em geral, SPT inferior a 12 e, na camada basal, SPT superior a 20. Os valores de permeabilidade variam entre  $1,5 \times 10^{-4}$  e  $5 \times 10^{-6}$  cm/s.

Os aluviões são, em geral, constituídos de uma camada superficial de 1 m de argila arenosa, cinza, plástica, sobre areia pouco argilosa com seixos na base, compacta, mas permeável.

Nas cotas inferiores da ombreira, os coluviões assentam-se diretamente sobre os solos de alteração de migmatito e gnaisses (SAMg) ou sobre uma camada de até 1 m de solo residual maduro (RSMg). O solo residual é, em geral, constituído de argila silto-arenosa, vermelha-amarelada, com fortes indícios de laterização marcados pela presença de torrões duros, com baixa permeabilidade e valores de SPT superiores a 20.

O solo de alteração de migmatito é constituído por silte areno-argiloso e areia silto-argilosa, variegados, em geral micáceos e com foliação subvertical ou com mergulho de 60° a 70° para NE ou SW preservada. Nos poços, observa-se a alternância lateral dessas granulometrias, decorrente do bandamento dos migmatitos, formando faixas de solo de compacidade diferenciais na mesma profundidade. Outras características

## UHE BELO MONTE

observadas nesses solos são feições de milonitização preservadas, que ocorrem, localmente, transversais à barragem, com espessura de alguns metros e mergulhos fortes, e podem representar zonas com caminhos de percolação preferenciais. Nesses locais, o processo de laterização é mais profundo e provoca um substancial aumento na compacidade do solo.

O SAMg apresenta um perfil de compacidade baixa nos primeiros 7 a 10 m de profundidade com valores de SPT variáveis entre 5 e 11, a partir da qual passa a adquirir maior resistência, com valores de SPT superiores a 18 ou 20. Quando ocorre sob o solo de ritmito, o SAMg pode apresentar valores de SPT baixos até profundidades da ordem de 13 a 15 m.

As permeabilidades obtidas para o SAMg, através de ensaios de infiltração efetuados nas sondagens, situam-se na faixa de  $1 \times 10^{-4}$  e  $7 \times 10^{-6}$  cm/s, mostrando um comportamento bastante variável ao longo do profundo perfil.

As sondagens rotativas, efetuadas no trecho inferior da ombreira, revelaram a ocorrência de grande concentração de matacões e/ou saprólito na passagem do SAMg para o maciço rochoso, constituindo camada com espessura da ordem de 5 m, que prossegue sob os solos de ritmito. Nessa camada foi registrada, sistematicamente, permeabilidade de  $1 \times 10^{-4}$  cm/s.

Os solos residuais dos folhelhos e ritmitos, que ocorrem acima da cota 45 m sob os colúvies, são representados por argila silto-arenosa e silte argilo-arenoso cinza com manchas vermelho-arroxeadas, em geral extremamente laterizados no seu primeiro metro, onde se intercalam solo com pouca estratificação e concreções lateríticas esparsas e argila laminada com lâminas de silte ou areia limonitizadas. Abaixo de 3,5 m de profundidade, o solo residual já apresenta consistência dura, com SPT superior a 30, pouca laterização e intercalações de rocha de coerência C4. Basicamente, o topo rochoso ocorre a cerca de 4,5 m de profundidade na porção da ombreira, acima da cota 60 m, abaixo da qual o solo se espessa até cerca de 7 m, porém com elevada consistência. Sua permeabilidade medida em ensaios de infiltração oscila entre  $3,5 \times 10^{-4}$  e  $4 \times 10^{-6}$  cm/s predominando valores em torno de  $2 \times 10^{-5}$  cm/s.

O maciço rochoso migmatítico existente sob as fundações da BLE e capeado pelos solos descritos, apresenta-se são e pouco fraturado, com exceção das faixas miloníticas e cataclásticas que o atravessam localmente, onde o fraturamento é mais intenso. Quanto à permeabilidade, mostrou-se totalmente estanque nos ensaios de perda d'água.

O maciço rochoso dos folhelhos e ritmitos apresenta-se medianamente coerente (C2) e pouco fraturado (F1 a F2) subverticalmente, com permeabilidade da ordem de  $1 \times 10^{-3}$  cm/s até profundidades de 10 a 15 m, associada a juntas subverticais, e impermeável para o interior do maciço. Na SR-18, essas fraturas permeáveis ocorrem parcialmente preenchidas por limonita e sugerem, pela sua ocorrência restrita aos primeiros metros da sondagem, instabilizações superficiais pretéritas na encosta.

### 5.3.3 Barragem Lateral Direita (BLD)

A BLD posiciona-se no arranjo geral à direita da Tomada d'Água.



## UHE BELO MONTE

As fundações desta Barragem foram investigadas através de 6 sondagens rotativas, SR-05, SR-22, SR-53, SR-70, SR -71 e SR- 72, de 6 sondagens a percussão, SP-18, SP-20, SP-21, SP- 22, SP-23 e SP-61, dos poços PI-107, PI-108, PI-109, PI-113 e PI-127 e das sondagens geofísicas SG-25 a SG-30, SG-59, SG-60, SS-113, SS-123 e SS-220.

Os desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0006 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0007 apresentam, respectivamente, a seção geológico-geotécnica longitudinal e duas seções transversais típicas pela BLD.

A topografia ao longo do eixo apresenta nos seus primeiros 250 m, a partir da extremidade do muro na cota 56 m, inclinação média de 7°, atingindo a cota 88 m, e nos seus 550 m restantes, uma suave ondulação acima da cota 80 m.

A BLD desenvolve-se, em toda sua extensão, sobre os ritmitos e folhelhos da Formação Trombetas, que apresentam ao longo do eixo uma espessura mínima de 10 m junto ao muro e máxima de 35 m mais para o interior da ombreira, repousando sobre rochas migmatíticas. O contato entre estas litologias mergulha com suave inclinação no sentido do caimento da ombreira, com adernamentos locais causados por falhas normais de pequenos rejeitos. Os ritmitos (Rtl) ocorrem na base da formação sedimentar, com espessura em torno de 15 m, sobrepostos pelos folhelhos, que constituem uma camada de 5 a 10 m de espessura (Fol); acima destes, estão preservados ainda, nos pontos elevados da ombreira, parte de uma segunda camada de ritmo (RtM), que alcança, no local, 9 m de espessura.

Os ritmitos e folhelhos das fundações apresentam-se decompostos em solo, superficialmente, até profundidades da ordem de 5 m e capeados por coluviões com espessura de 0,5 a 2,5 m.

Os coluviões são, em geral, constituídos de argila silto-arenosa, marrom, muito porosa nos primeiros 0,7 a 1 m de profundidade, com fragmentos subdecimétricos de lateritas e de arenito ferruginoso concentrados próximo à base. Em geral, apresentam passagem transicional para o solo residual inferior, caracterizada pela ocorrência de uma camada de 0,2 a 0,3 m de argila siltosa micromicácea, cinza-avermelhada e amarelada, pouco estratificada e laterizada, interpenetrada por pequenos blocos de arenito. Foram registrados valores de SPT entre 10 e 14 e coeficientes de permeabilidade de  $1 \times 10^{-5}$  cm/s para esses coluviões.

O solo residual está representado por argila silto-arenosa micromicácea, cinza e vermelha, variada, normalmente pouco estratificada nos primeiros 0,50 a 1 m de profundidade, onde pode apresentar camadas ou zonas bastante laterizadas entremeadas com argila de menor consistência, com SPT de 8 a 13. Abaixo, torna-se progressivamente mais estratificado e rijo, com laterização restrita às lâminas contínuas de arenito ou siltito, apresentando a partir de 4 m SPT superior a 30. Sua permeabilidade determinada em ensaios de infiltração varia entre  $4 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-6}$  cm/s.

Sob essa cobertura de solo, os ritmitos e folhelhos apresentam-se com baixa coerência, C4/C3, até profundidades de 10 a 16 m, onde as permeabilidades são também elevadas, da ordem de  $1 \times 10^{-3}$  a  $5 \times 10^{-4}$  cm/s. Essa menor coerência é mais freqüente e profunda na camada de folhelho que ocupa a porção mais superficial da ombreira, conforme indicado no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0002 e parece estar associada aos processos de expansão inerentes a essas rochas sulfetadas, ao lado

## UHE BELO MONTE

da morfologia da encosta que favorece o alívio de tensões e, conseqüentemente, a atuação do intemperismo.

Sob esta camada de menor resistência, as rochas sedimentares apresentam-se medianamente coerentes (C2), com pequenas intercalações pouco coerentes (C3), pouco fraturadas (F1/F2), impermeáveis e com o contato inferior com os migmatitos, selado. As intercalações de rocha pouco coerente observadas em sondagens no ritmito apresentam-se, em geral, condicionadas às passagens com predominância de lâminas de folhelho. Embora não se tenha verificado, "in situ", a persistência lateral dessa associação, pode-se avaliar, a nível preliminar, com base no ambiente deposicional dessas fácies, que as lâminas de folhelho podem atingir mais de duas dezenas de metros de extensão, constituindo, portanto, a principal condicionante geológico-geotécnica para a estabilidade da barragem.

Os migmatitos mostram-se são e impermeáveis, a não ser no trecho inferior da ombreira, na área do muro, onde se prevê a ocorrência de migmatito alterado superficialmente, sob a pequena capa de ritmito.

### 5.3.4 Estruturas de Concreto

As estruturas de concreto, constituídas pelo conjunto Tomada d'Água e Muros, Condutos Forçados e Casa de Força, inclusive Área de Montagem, localizam-se entre as duas barragens laterais, BLD e BLE.

Suas condições de fundação foram investigadas através de 18 sondagens rotativas, numeradas de SR-55A a SR-60, SR-63 a SR-69 e SR-72 a SR-74; das sondagens geofísicas SG-20 a SG-25, SS-108 a SS-110, SS-153 e SS-154; e de 6 caminhamentos elétricos transversais às estruturas, apoiados por 39 bases sísmicas, numeradas de SS-01 a SS-39, conforme indicado no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0003. Nesta fase de Projeto Básico, foram incorporadas as 18 sondagens rotativas executadas ainda na década de 80, quando foi iniciado o Projeto Pré-Básico, que não teve continuidade na época. Estas sondagens numeradas SRB-300 a SRB-317, apesar de possuírem "logs" com descrições parciais e preliminares, foram importantes para melhorar as informações sobre o topo rochoso da região das estruturas de concreto

Na área das estruturas de concreto ocorrem rochas cristalinas arqueanas do Complexo Xingu, representadas, em geral, por migmatitos, granodioritos gnaissificados e biotita gnaisses róseos sob uma cobertura superficial, da ordem de 5 a 10 m, de ritmitos da Formação Trombetas ou solos de decomposição dessas rochas. As rochas do Complexo Xingu que aí ocorrem foram diferenciadas nas suas três unidades definidas para o Sítio Belo Monte, Axl, AxrIII e AxrIV, conforme mostra o desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0020.

A Unidade I agrupa as rochas mais preservadas da migmatização, representadas por granodioritos e tonalitos gnaissificados, que guardam, parcialmente, a foliação original, de atitude N165° subvertical. A Unidade III é caracterizada pelas rochas predominantes na área, que são migmatitos dos tipos Nebulítico e "Schlieren", de composição granítica a granodiorítica com foliação N130° a N150° e mergulhos desde subvertical até 50° SW ou NE. A Unidade IV, concordante com a foliação dos migmatitos, é constituída por granitos róseos gnaissificados, de granulação grosseira, que representam corpos de neossoma individualizados dentro da Unidade III. Os

## UHE BELO MONTE

contatos entre essas unidades, conforme observado nos testemunhos de sondagens, são gradativos e as formas dos corpos são interpretadas como fusiformes, à semelhança do que se observa em escala regional, já que não há afloramentos nessa área. A foliação, feição mais pronunciada nas rochas das Unidades I e III, não apresenta influência relevante na anisotropia do maciço. Da mesma forma, ensaios de compressão simples realizados em testemunhos de sondagem praticamente não mostram a influência dessa anisotropia na rocha.

Com relação aos aspectos estruturais, as sondagens realizadas nas estruturas de concreto, mostram a ocorrência pouco expressiva de falhas, tanto oriundas da deformação dúctil a que essas rochas foram submetidas, representadas por milonitos, quanto a deformação rúptil, caracterizada pela presença de cataclastos e brechas e pelo próprio fraturamento do maciço.

Os milonitos, observados nas sondagens SR-12, SR-67 e SR-74, apresentam espessuras da ordem de centímetros a decímetros, extensão de dezenas a centenas de metros e encontram-se recristalizados, são, impermeáveis e com elevada resistência. Orientam-se concordantemente com a foliação regional dos migmatitos.

Os cataclastos ocorrem relacionados a microfalhas e constituem faixas de espessuras submétricas a métricas, onde é freqüente a presença de clorita. Foram identificados nas sondagens SR-57, SR-60 e nas sondagens SR-63 a SR-67, onde são caracterizados por um intenso fraturamento em parte com preenchimento clorítico, que por vezes extrapola o trecho cataclástico. As brechas que neles ocorrem fornecem as atitudes atribuídas a essas estruturas: NS com mergulho de 60° a 80° E nas SR -57, SR-63 e SR-65 e N125° a N135° com mergulho de 40° a 50° SW nas demais sondagens. Sua continuidade não é observada em campo devido à ausência de afloramentos; entretanto, a análise das medidas estruturais das rochas cataclásticas, em seção, indica sua persistência entre pelo menos duas sondagens afastadas de 100 a 150 m (SR-64 e SR-67; SR-57 e SR-65; e SR-60 e SR-66). Os cataclastos e brechas apresentam-se, em geral, muito fraturados (F4) e medianamente alterados (A2) devido à maior área específica exposta à percolação da água e, nessas zonas, são observados alguns resultados de ensaios com elevada permeabilidade, como por exemplo, na SR-60, SR-64, SR-65 e na SR-66.

O padrão do fraturamento do maciço na área das estruturas de concreto, igualmente às demais descontinuidades, foi interpretado das medidas realizadas nos testemunhos orientados das sondagens. Para a definição das principais famílias de juntas presentes, foi utilizada projeção estereográfica, considerando a ponderação dos pólos das fraturas em relação ao pólo da sondagem.

A análise desse fraturamento em estereogramas (ver desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0020) mostra a ocorrência de uma família principal de juntas subhorizontais com mergulho de até 20° em quase todas as sondagens e denominada S1, seguida de outras duas, igualmente importantes e subverticais, de direção NNW e NE, denominadas, respectivamente, S2 e S3, e, de uma quarta família (S4) com direção variável entre NE-EW-ESE e mergulho de cerca de 40° para Sul. A família denominada S6 representa uma variação da S2, orientada a WNW.

Ocorrem ainda duas famílias presentes apenas na porção direita das estruturas de concreto, denominada zona I no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0020, uma com mergulho para NNW de 20° a 40° (S1') e outra NS/80° E (S5); e uma terceira família,

## UHE BELO MONTE

mais freqüente na zona II do mesmo desenho, de atitude aproximada NS/50° E, denominada S5'.

O desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0021 mostra o padrão de fraturamento do maciço nas duas zonas de compartimentação I e II, através de duas seções transversais à Tomada d'Água-Casa de Força e apresenta, nos quadros, os espaçamentos médios calculados para cada família de juntas por zona. Os espaçamentos das principais juntas variam de 1,5 a 3 m, compatível com o baixo grau de fraturamento médio do maciço, observado nas sondagens. Localmente, os espaçamentos entre as juntas chegam à ordem de decímetros, gerando graus de fraturamento variáveis entre F3 e F5, como verificado nas SR-63 e SR-64 em profundidade e nas SR-60, SR-66 e SR-25, nas porções superiores do maciço.

As juntas apresentam-se, de modo geral, oxidadas ou com as paredes cobertas por película argilosa esverdeada e, mais raramente, preenchidas com calcita. As fraturas subverticais, que apresentam maior trecho exposto nos testemunhos, mostram-se rugosas e ligeiramente onduladas, com coeficiente de rugosidade JRC predominando entre 10 e 14 e parecem ter persistência de vários metros. As juntas subhorizontais e as de mergulho baixo apresentam JRC em torno de 8 a 10 e são as que, praticamente, controlam a permeabilidade do maciço, associadas às principais famílias subverticais. Com efeito, no gráfico apresentado no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0022, as juntas agrupadas como S1 e S1' estão quase sempre presentes nos trechos mais permeáveis das sondagens. Esse mesmo gráfico mostra, também, que o efeito do alívio de tensões que favorece a abertura dessas juntas reduz-se rapidamente abaixo de 30 m de profundidade, embora se observe, em trechos localizados, principalmente na SR-65, permeabilidade superior a  $1 \times 10^{-4}$  cm/s ( $PE > 1$  l/min/m/kg/cm<sup>2</sup>) até a profundidade de 90 m (cota - 41 m), associada às famílias S4 e S5', que caracterizam as duas atitudes de faixas catacladas observadas. Por outro lado, ensaios de bombeamento realizados na área das estruturas de concreto registraram permeabilidade média de  $1 \times 10^{-3}$  cm/s para o maciço da zona II, principalmente junto ao Muro de Transição Esquerdo (MTE), com direção de maior transmissividade NNE, e de  $1 \times 10^{-4}$  cm/s para o restante do maciço, na direção NNW e WNW.

Consideradas todas as descontinuidades presentes e suas principais características geotécnicas observadas e ensaiadas ou interpretadas em estereogramas, pode-se atribuir ao maciço de fundação das estruturas uma relativa isotropia quanto ao fraturamento, o que se traduz numa homogeneidade em relação aos espaçamentos e persistências das várias famílias de juntas. Dessa forma, as juntas subhorizontais não devem ter persistências tão diferenciadas em relação às subverticais ou inclinadas, pela própria limitação imposta por estas fraturas por ocasião do efeito de alívio de tensões.

As juntas S1' com mergulho de 20° a 40° para norte, que predominam na porção direita de jusante das estruturas, são as mais desfavoráveis a estabilidade da Tomada d'Água e, por isso, foram consideradas como principal fator no zoneamento do maciço de fundação. Por outro lado, o desconhecimento da persistência dessas juntas levou à adoção de comprimentos de 5 a 15 m para as mesmas nos cálculos dos parâmetros de resistência ao deslizamento.

Os desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0027 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0026 apresentam, respectivamente, os tratamentos previstos para os taludes escavados em

## UHE BELO MONTE

rocha, que serão aplicados quando necessário, e para o tratamento profundo das fundações.

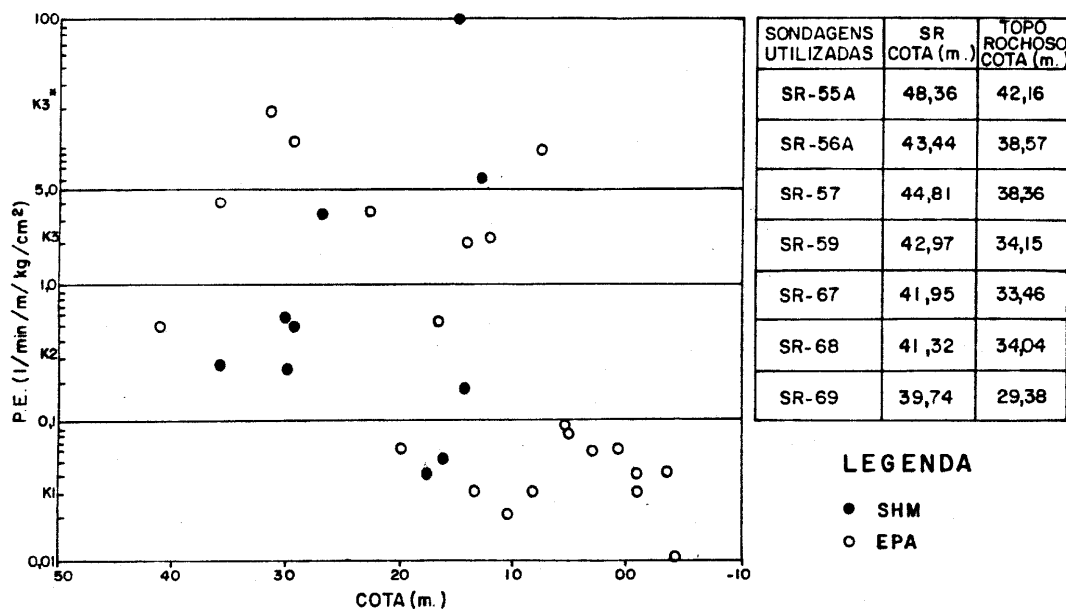
### Tomada d'Água (TA) e Muros (MTD e MTE)

O maciço rochoso da fundação da Tomada d'Água é constituído, predominantemente, por migmatitos da Unidade III na porção direita e por rochas graníticas da Unidade IV na sua porção esquerda, conforme mostrado no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0020, as quais apresentam boas características para fundação da estrutura.

Conforme representado na seção longitudinal pela Tomada d'Água (ver desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0023) e na planta do topo rochoso (ver desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0024), o maciço rochoso pouco fraturado (F1/F2) e são (A1) ocorre abaixo da cota 42 m junto ao muro direito (MTD), sofrendo uma suave caída para o lado esquerdo até atingir a cota 28,5 m, junto ao muro MTE.

A permeabilidade do maciço rochoso na área da Tomada d'Água pode ser caracterizada com o auxílio das Figuras A1.5.5 e A1.5.6. O gráfico da Figura A1.5.5 e o histograma da Figura A1.5.5 mostram, respectivamente, os valores de P.E. obtidos nos ensaios EPA ou SHM e a frequência das varias classes de permeabilidade, em relação às cotas dos ensaios realizados em sete sondagens.

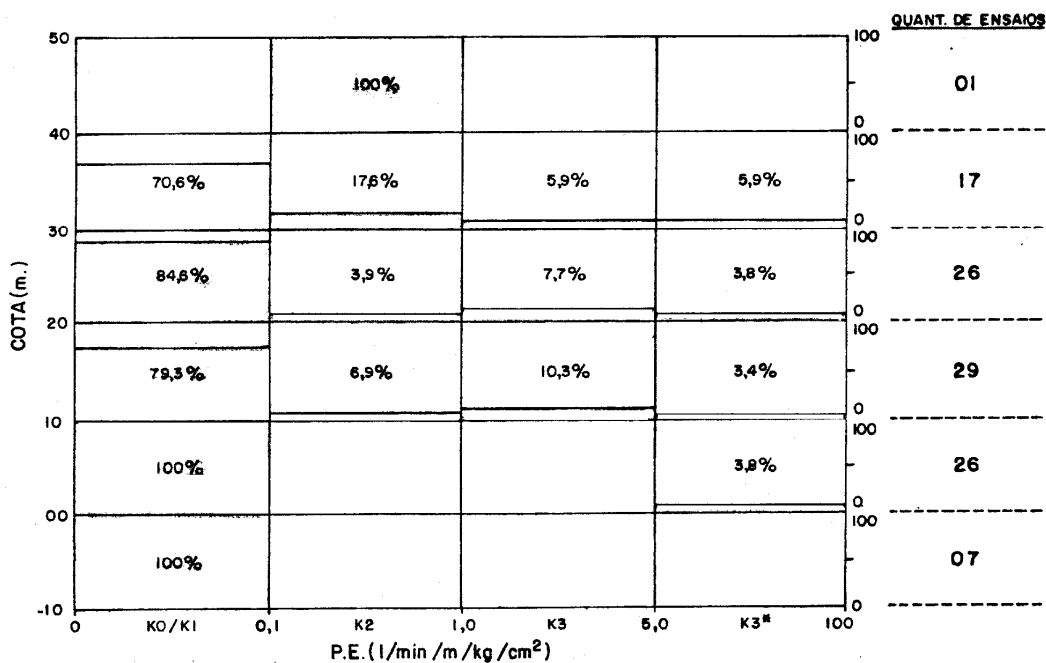
**Figura A1.5.5 - Tomada d'Água / Condutos Forçados - Permeabilidade x Cota**



# NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Figura A1.5.6 - Tomada d'Água / Condutos Forçados - Histograma de Valores de Perda Específica (SHM e EPA) por Cota



Da análise dessas figuras, verifica-se que o maciço apresenta, em geral, baixa permeabilidade, com alguns valores superiores a  $1 \times 10^{-3}$  cm/s (P.E. > 10 l/min/m/kg/cm<sup>2</sup>), que independentemente do grau de fraturamento, ocorrem acima da cota 7 m. Por outro lado, no histograma da Figura A1.5.5 observa-se que os valores de permeabilidade média a alta (P.E. > 1,0 l/min/m/kg/cm<sup>2</sup>) representam uma pequena porcentagem dos ensaios realizados, mesmo nas cotas superiores, onde era de se esperar um maciço mais permeável, o que permite inferir que as feições permeáveis têm ocorrência bem localizada.

As estruturas geológicas indicadas na seção, representadas por cataclasitos ou milonitos, mergulham para montante ou para a ombreira direita e não comprometem a estabilidade da Tomada d'Água, embora possam representar zonas de maior permeabilidade do maciço.

No local do muro MTE, as rochas granito-gnáissicas que lhe servem de fundação, abaixo da cota 23 m, apresentam-se sãs, pouco fraturadas e impermeáveis.

Já no local do muro MTD, o maciço migmatítico com boas características geomecânicas para assentamento da estrutura de gravidade ocorre a partir da cota 42 m, sob o pacote de ritmitos aí existente, subindo gradativamente até a cota 47 m na extremidade do Muro. As características geológico-geotécnicas dos ritmitos que ocorrem no trecho do abraço da Barragem são as mesmas descritas para a BLD.

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

### Casa de Força (CF)

A Casa de Força será implantada na cota – 32,40 m, em rochas migmatíticas (Unidade I) e granodioríticas (Unidade III), conforme indicado na seção longitudinal (ver desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0023).

As cinco sondagens realizadas próximo ao eixo da Casa de Força, que atingiram cerca de 8 a 10 m abaixo da cota – 32,40 m revelaram um maciço pouco fraturado (F1/F2) e são (A1), portanto, com excelentes características geomecânicas para fundação da estrutura. Nos ensaios de perda d'água sob pressão, o maciço da fundação apresentou-se com baixa permeabilidade a impermeável, o que é compatível com a profundidade em que foram realizados os ensaios, em torno de 70 m.

A exemplo da análise feita para a Tomada d'Água, as características hidrogeológicas do maciço de fundação da Casa de Força podem ser avaliadas através dos gráficos apresentados nas Figuras A1.5.7 e A1.5.8. Na primeira figura, verifica-se apenas um único registro de P.E. = 1 l/min/m/kg/cm<sup>2</sup> abaixo da cota de fundação, portanto com baixa representatividade em relação aos dezesseis ensaios realizados nesse trecho do maciço (Figura A1.5.7). Esses números reforçam a interpretação da ocorrência de zonas permeáveis localizadas, associadas, principalmente, às faixas cataclásticas, conforme já comentado quando da análise no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0022.

Figura A1.5.7 - Casa de Força - Permeabilidade x Cota

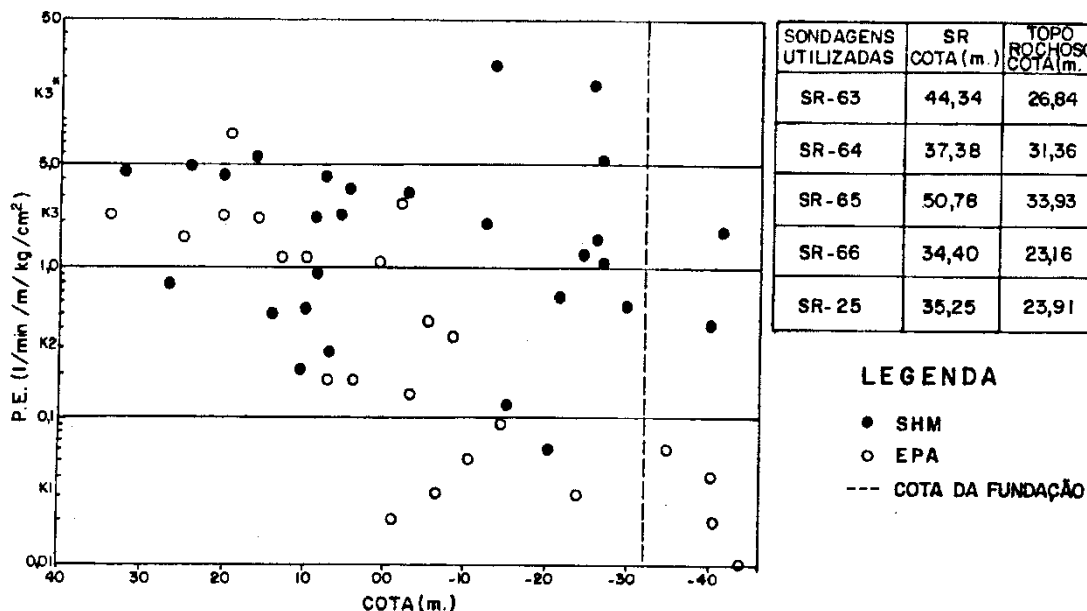
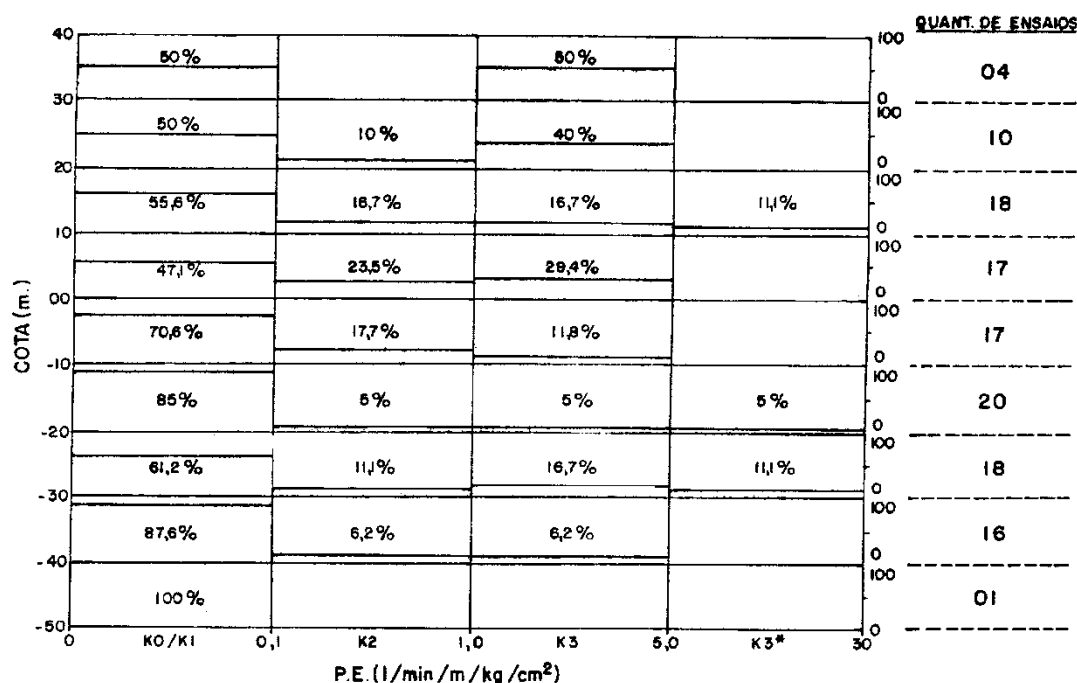


Figura A1.5.8 - Casa de Força - Histograma de Valores de Perda Específica (SHM e EPA) por Cota



Com relação às descontinuidades presentes no maciço da fundação, somente zonas cataclásticas interceptadas pelas sondagens, como na SR-65, podem representar maiores preocupações com relação a tratamentos. Entretanto, as várias faixas cataclásticas atravessadas em cotas superiores apresentam-se bastante estreitas e com forte mergulho para montante ou para leste, devendo interferir com a fundação apenas ao longo de delgadas faixas.

Deve-se destacar também o elevado grau de fraturamento verificado em vários trechos das SR-63 e SR-64 no lado direito da estrutura e nas SR-25 e SR-66 no lado esquerdo, mas acima da cota da fundação. Nas SR-63 e SR-64, tal feição sugere a presença de falha normal passando próximo ao extremo direito da estrutura e acompanhando, possivelmente, a direção NNW. Nas SR-25 e SR-66, o fraturamento parece estar associado à presença de rochas cataclásticas e milonitos que ocorrem nos trechos fraturados dessas sondagens. Estas feições não são normalmente autoportantes, devendo sofrer tratamentos localizados de sustentações nos taludes.

Por outro lado, o fraturamento apresentado pelas sondagens realizadas na extremidade da Casa de Força (ver desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0023 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0025), em particular o representado pelas famílias S5, S5', S2 e S3, sugere a formação potencial de cunhas, durante a escavação desta estrutura. Tais feições devem ser consideradas no estudo de estabilidade dessa escavação.

### 5.3.5 Canal de Fuga (CFG)

A área do Canal de Fuga foi investigada através de 6 sondagens rotativas, SR-27 a SR-32, das sondagens geofísicas SG-68 a SG-72, SS-84 a SS-86, SS-92, SS-96,



## UHE BELO MONTE

SS-102 a SS-106, SS-155 a SS-159 e SS-226 a SS-228; e da sondagem a percussão SP-15.

Na área do Canal de Fuga, os ritmitos e os solos residuais ocupam os altos topográficos, recobrimo migmatitos e seus solos de alteração. Superficialmente, ocorrem coluviões e sedimentos de terraço aluvionar e, na baixada, próximo ao rio Xingu, ocorre um capeamento superficial de aluvião com espessura média de 3 m.

Nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0001 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0003 são apresentadas as investigações geológico-geotécnicas realizadas e no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-002 são apresentadas duas seções longitudinais ao longo dos taludes esquerdo e direito da escavação.

Nessas seções observa-se que os ritmitos de cobertura praticamente se restringem aos 200 m iniciais do Canal e à porção de jusante junto ao talude esquerdo, alcançando as maiores espessuras no trecho inicial junto ao talude esquerdo. Neste local, o ritmito apresenta-se medianamente coerente (C2) a pouco coerente (C3) entre as cotas 25 e 35 m e capeado por cerca de 10 m de solo residual. Sob o ritmito, abaixo da cota 25 m, ocorre rocha migmatítica pouco fraturada e são.

No local junto ao talude esquerdo, a jusante, conforme representado na seção longitudinal, o ritmito ocorre sob a forma de solo residual e capeado por 1 a 6 m de sedimentos argilosos e arenosos do terraço aluvionar. Sob o solo residual ocorre, ainda, uma camada de 2 a 3 m de solo de alteração ou saprólito de migmatito, até atingir-se o topo rochoso, que acompanha a topografia do terreno com profundidade média de 12 m.

Excluindo-se as áreas com cobertura sedimentar, os trechos em migmatito apresentam espessura de solo de alteração da ordem de 10 m, sendo de 15 a 20 m no trecho inicial do Canal de Fuga. Aí, as sondagens realizadas indicam a ocorrência de grandes concentrações de matações imersos no solo de alteração. O lençol freático nesse solo acompanha, em geral, a topografia, a cerca de 10 m de profundidade.

Junto à margem do rio e na ilha em frente ao Canal de Fuga, os sedimentos aluvionares ocorrem com espessuras que vão desde 3 até 15 m (SR-31), sobre rocha migmatítica, cujo topo rochoso se apresenta em torno da cota - 7 m.

As características geológico-geotécnicas dos solos residuais dos ritmitos e dos solos de alteração de migmatito são similares às já descritas para as barragens BLD e BLE.

Particularmente, deve-se destacar aqui as características de expansão e desagregação das rochas sedimentares e de expansão dos seus solos, quando expostos, que exigirão tratamentos específicos para atenuar seu comportamento deletério.

### 5.4. DIQUES

São abordadas neste item as condições geológico-geotécnicas de cada local investigado, enfocando os principais aspectos geotécnicos e algumas particularidades locais que interferem com o projeto dos diques.

Os dados apresentados são resultado de uma investigação realizada basicamente através de mapeamento de superfície, execução de poços e trados, auxiliada em

## UHE BELO MONTE

alguns locais por sondagens sísmicas e elétricas e um pequeno número de sondagens mecânicas.

Esses dados, depois de interpretados conjuntamente, são apresentados para cada dique, na forma de seção longitudinal e planta, onde são indicados a natureza e espessura dos solos, os contatos das unidades geológicas, feições estruturais importantes e investigações executadas.

Para o caso dos diques de contenção do reservatório, as investigações foram realizadas basicamente através de mapeamento geológico, sondagens a trado e alguns poços de inspeção.

Recomenda-se para isso que, no Projeto Pré-Executivo, as áreas de implantação dos diques sejam mais intensamente investigadas, introduzindo-se sondagens mecânicas e maior quantidade de ensaios de laboratório.

### 5.4.1 Diques do Reservatório Intermediário

#### Dique 1 (DIK-1)

O DIK-1 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0005) possui extensão de 76 m e altura máxima de 8,4 m, apresentando as ombreiras pouco abruptas. Desenvolve-se, nas ombreiras e no trecho central, o colúvio com espessura de 0,5 m, sendo constituído por areia silto-argilosa, com grânulos de quartzo e laterita subarredondados e esparsos, pouco compacta e porosa. Segue abaixo o solo residual, com espessura de 1 m, constituído por um silte areno-argiloso, medianamente compacto, gradando verticalmente para solo de alteração de migmatito. O solo de alteração é constituído por uma areia silto-argilosa, pouco compacta. O nível d'água estava próximo à cota 85 m, em maio de 1986.

#### Dique 2 (DIK-2)

Com 114 m de extensão e 5,5 m de altura máxima, o DIK-2 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0005) possui as ombreiras suaves.

Nas ombreiras e no trecho central desenvolve o colúvio, com 1 m de espessura, constituído por uma areia silto-argilosa, porosa e pouco compacta. Abaixo, o solo residual possui 3 m de espessura, composto por silte areno-argiloso, incipientemente laterizado e compacto. Segue-se abaixo o solo de alteração de migmatito, de compacidade média. O nível d'água estava próximo à cota 88 m, em maio de 1986.

#### Dique 3 (DIK-3)

O DIK-3 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0006) apresenta-se com 256 m de extensão e 19,4 m de altura máxima. Suas ombreiras são abruptas e ocorrem esparsos blocos rolados, centimétricos, de arenito limonitizado.

A ombreira direita desenvolve na superfície um colúvio com 2 m de espessura, constituído por um silte argiloso, pouco arenoso, pouco compacto e poroso. Recobre diretamente o solo residual de folhelho, constituído por uma argila siltosa, de consistência dura, com poucos canalículos de origem radicular, desenvolvendo-se por 4 m de espessura até atingir o topo rochoso.

## UHE BELO MONTE

O trecho central apresenta um colúvio de 1 m de espessura, constituído por uma areia silto-argilosa, pouco compacta e porosa, desenvolvendo-se logo acima do solo residual de folhelho. Este é constituído por uma argila siltosa, de consistência dura, pouco porosa, com 5 m de espessura, atingindo, então, o topo rochoso. O nível d'água foi detectado próximo à cota 87 m, em maio de 1986.

Na ombreira esquerda o colúvio apresenta-se com 1 m de espessura e é constituído por um silte argiloso pouco arenoso, com fragmentos esparsos de laterita. É pouco poroso e pouco compacto. Abaixo, ocorre o solo residual de folhelho, composto por argila siltosa, de consistência dura, com 5 m de espessura, atingindo o topo rochoso, o qual encontra-se a uma profundidade média de 6 m ao longo de todo o trecho previsto para a estrutura.

### Dique 4 (DIK-4)

O DIK-4 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0007) apresenta um comprimento de 434 m e altura máxima de 4,3 m, com ombreiras íngremes.

As ombreiras e o trecho central apresentam-se semelhantes quanto às características de fundação. Superficialmente ocorre um colúvio de 1 m de espessura, constituído por um silte argilo-arenoso, com esparsos blocos centimétricos de arenito limonitizado, sendo pouco compacto e poroso. Recobre o solo residual de folhelho constituído por uma argila siltosa, de consistência dura, pouco porosa, impermeável.

Em maio do ano de 1986, foi detectado, no trecho central, o nível d'água próximo à cota 87 m.

### Dique 5 (DIK-5)

O DIK-5 é tratado no item 5.3.1 com a denominação de Barragem de Santo Antônio (BSA).

### Dique 6A (DIK-6A)

O DIK-6A (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0008) apresenta comprimento de 829 m, altura máxima de 34,6 m e ombreiras íngremes. As ombreiras apresentam-se semelhantes quanto às características de fundação. Superficialmente ocorre um colúvio com cerca de 2 m de espessura, constituído por um silte argiloso, pouco arenoso, pouco compacto a poroso. Recobre diretamente o pacote pouco espesso de solo residual de ritmito, com cerca de até 8 m de espessura, constituído por uma argila siltosa, de consistência dura. No trecho central, e nas ombreiras sotoposto a estes materiais de origem sedimentar, aparece o solo de alteração de migmatito. O maciço rochoso migmatítico, encontrado a partir da cota 47 m na SR-14, encontra-se intensamente cataclasado, evidenciando uma possível falha no sentido montante x jusante deste dique. Na fase do Projeto Pré-Executivo, sugere-se um aprofundamento dos estudos no sentido de confirmar a possível ocorrência desta estrutura geológica. O nível d'água foi detectado próximo à cota 40 m, em fevereiro de 1983.

### Dique 6B (DIK-6B)

Com 329 m de comprimento e 9,6 m de altura máxima, o DIK-6B (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0008) possui as ombreiras suaves. Superficialmente ocorre um colúvio de espessura máxima de 1,7 m composto predominantemente por um silte areno-

## UHE BELO MONTE

argiloso. Sua ombreira esquerda é composta pelo solo residual do ritmito, com espessura máxima de cerca de 8 m. Sotoposto a este material sedimentar na ombreira esquerda e ao colúvio no restante da fundação do dique, ocorre o solo de alteração do migmatito até a cota aproximada 50 m, composto por um silte areno-argiloso com algumas intercalações de blocos rochosos. O nível d'água estava próximo à cota 53 m, em maio de 1982.

### Dique 6C (DIK-6C)

O DIK-6C (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0008) possui comprimento de 1228 m, altura máxima de 78,5 m e ombreiras íngrimes.

O colúvio apresenta-se uniformemente nas ombreiras com espessura máxima de 3 m, sendo constituído predominantemente por uma areia silto-argilosa. Na porção central ocorre um horizonte aluvionar com espessura de cerca de 1,5 m, composto por uma areia pouco argilosa, cinza escura.

Na ombreira direita ocorre uma falha geológica, com direção WNW, delimitando o contato entre os arenitos da Formação Trombetas e o migmatito do Complexo Xingu. A caixa de falha composta por material milonitizado prolonga-se ao longo do eixo por cerca de 390 m de largura em direção ao trecho central do DIK-6C.

O topo rochoso na ombreira direita está representado pelo arenito da Formação Trombetas com profundidade de cerca de 10 m. Na porção central e na ombreira esquerda ocorre o migmatito, a profundidades, respectivamente, de 27 e 10 m.

Na porção central onde ocorre o aluvião, o nível d'água aflorava na superfície próximo da cota 41 m, em junho de 1988.

### Dique 7A (DIK-7A)

O DIK-7A (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0009) tem 1105 m de comprimento e 60 m de altura máxima. Suas ombreiras são íngrimes e apresenta uma área elevada (cota  $\approx$  96 m), localizada entre a sua porção central e a ombreira direita.

O colúvio, tanto nas ombreiras como no trecho central, ocorre uniformemente com espessura de cerca de 3 m. É constituído, de maneira geral por uma areia silto-argilosa a argilo-siltosa, marrom.

Na ombreira esquerda ocorre uma falha geológica, com direção NS, delimitando o contato entre os arenitos da Formação Trombetas e o migmatito do Complexo Xingu. Neste local, abaixo do solo de alteração de arenito, com cerca de 20 m de espessura, ocorre o arenito Manacapuru da Formação Trombetas.

Na porção central e na ombreira direita, imediatamente abaixo do colúvio ocorre o solo residual de migmatito e logo abaixo o solo de alteração de migmatito, composto predominantemente de um material areno silto-argiloso, perfazendo um pacote de cerca de 22 m. O topo rochoso nesta região está na cota aproximada 35 m.

O nível d'água ocorria próximo à cota 54 m, em julho de 1988.

## UHE BELO MONTE

### Dique 7B (DIK-7B)

O DIK-7B (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0010) possui comprimento de 1181 m e altura máxima de 61 m. Suas ombreiras são íngrimes e apresenta uma área elevada (cota  $\approx$ 96 m), localizada entre a sua porção central e a ombreira direita.

O colúvio apresenta-se uniformemente nas ombreiras com espessura máxima de 2,5 m, sendo constituído predominantemente por uma areia silto-argilosa. Na porção central ocorre um pacote de aluvião arenoso com cerca de 4 m de espessura, em local com lâmina d'água de 0,39 m em julho de 1988. Abaixo o solo de alteração de migmatito, com espessura média de 12 m, é constituído predominantemente por uma argila areno-siltosa.

A profundidade do topo rochoso nas ombreiras é de cerca de 25 m, enquanto que na região central varia de 12 a 15 m.

### Dique 7C (DIK-7C)

O DIK-7C (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0011) possui comprimento de 201 m, altura máxima de 22 m e ombreiras suaves. O colúvio distribui-se uniformemente ao longo da extensão do dique com espessura máxima de cerca de 2,5 m, sendo constituído predominantemente por um silte argilo-arenoso. Abaixo o solo residual/de alteração de migmatito é composto por uma argila silto-arenosa.

### Dique 7D (DIK-7D)

Com 139,8 m de comprimento e 10,8 m de altura máxima, o DIK-7D (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0012) possui as ombreiras suaves. Superficialmente ocorre um colúvio de espessura máxima de 2,50 m composto predominantemente por uma argila silto-arenosa, com muitos grânulos de quartzo. Sotoposto a este material transportado aparece, com espessura de cerca de 3,50 m o solo residual do migmatito, formado por uma argila silto-arenosa, com fragmentos de quartzo e feldspato. A seguir, com espessura máxima de 7,50 m, ocorre o solo de alteração de migmatito, composto predominantemente por um silte argilo-arenoso, com alguns matacões de migmatito A2/A3 muito fraturados, distribuídos ao longo deste horizonte. O topo rochoso (migmatito) ocorre na elevação 78 m. O nível d'água estava próximo à cota 78 m, em setembro de 1982.

### Dique 10A (DIK-10A)

Com 351 m de comprimento e 24,5 m de altura, o DIK-10A (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0013) apresenta a ombreira direita pouco íngreme e a esquerda íngreme, com blocos esparsos de 1 m de diâmetro no trecho central.

Na ombreira direita o colúvio é inexpressivo, ocorrendo numa fina camada acima da cota 90 m. O solo residual ocorre com uma espessura de 2 m, sendo constituído por um silte areno-argiloso, pouco laterizado e compacto. Abaixo, desenvolve-se por 13 m, até atingir o topo rochoso, o solo de alteração de migmatito, constituído por uma argila silto-arenosa, pouco laterizada, de consistência rija.

No trecho central ocorre um aluvião com 30 m de extensão e até 1 m de espessura, sendo constituído por uma areia argilosa, fofa a pouco compacta e muito porosa. O nível d'água se encontrava próximo à cota 77 m, em março de 1987, impedindo a investigação dos solos abaixo deste.

## UHE BELO MONTE

Na ombreira esquerda o colúvio apresenta-se com 2 m de espessura e é constituído por uma argila siltosa, pouco arenosa, de baixa consistência, ocorrendo esparsos fragmentos de até 10 cm de quartzo e laterita, sendo que, abaixo de 1,5 m, a proporção deste aumenta, caracterizando uma linha de seixos. Abaixo ocorre o solo residual, com 1 m de espessura, constituído por um silte arenoso, pouco laterizado, pouco a medianamente compacto, gradando para um solo de alteração de migmatito, constituído por um silte arenoso, pouco compacto, desenvolvendo-se numa espessura de 5 m na baixada e de até 20 m nas cotas mais elevadas.

O topo rochoso está numa profundidade de 15 m na ombreira direita, 7 a 14 m na baixada e 8 a 23 m na ombreira esquerda.

### Dique 11 (DIK-11)

O DIK-11 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0014) possui extensão de 656 m e altura máxima de 9,4 m, apresentando as ombreiras com declividade baixa.

Na ombreira direita ocorre superficialmente o colúvio, com 2 m de espessura, sendo constituído por uma argila silto-arenosa, com grânulos de quartzo e laterita esparsos, de baixa consistência e porosa. Na base, apresenta uma camada com 20 cm de espessura, constituída por seixos de quartzo e laterita de até 5 cm de diâmetro, numa matriz areno argilosa. Abaixo, desenvolve-se o solo residual, constituído por um silte argilo-arenoso, laterizado e pouco poroso, com 3,5 m de espessura. Segue-se o solo de alteração de migmatito, constituído por um silte argiloso pouco arenoso, compacto a medianamente compacto, com espessura superior a 19 m.

No trecho central o colúvio se apresenta com 1,5 m de espessura, constituído por uma argila areno-siltosa, com ocorrência de uma linha de seixos de até 0,5 m de espessura em sua base, sendo o material de consistência média, poroso, com canalículos termíticos submilimétricos e de origem radicular de até 5 cm de diâmetro. Abaixo o solo residual é silte areno-argiloso, laterizado, compacto a muito compacto, desenvolvendo-se numa espessura de 3,5 m até atingir o solo de alteração de migmatito. Este é constituído por areia argilo-siltosa, muito pouco laterizada, medianamente compacta e com canalículos submilimétricos devidos à lixiviação, com espessura variando de 7 a 15 m.

Na ombreira esquerda o colúvio está com 2 m de espessura, sendo constituído por uma argila siltosa, pouco arenosa, de baixa consistência e porosa. Abaixo o solo residual, com 2,5 m de espessura, é constituído por um silte argilo-arenoso, com intercalações esparsas de níveis centimétricos de material mais arenoso, compacto a medianamente compacto. Segue-se o solo de alteração de migmatito, com espessura de 20 m, constituído por silte argilo-arenoso, compacidade média e pouco poroso.

O topo rochoso encontra-se numa profundidade maior que 25 m, na ombreira direita, de 12 a 20 m, no trecho central e de 25 m, na ombreira esquerda.

### Dique 12 (DIK-12)

O DIK-12 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0013) possui 66 m de comprimento e 4,5 m de altura máxima, apresentando as ombreiras pouco suaves.

Desenvolve-se, nas duas ombreiras e no trecho central, o colúvio, com espessura de 1 m, constituído por uma argila silto-arenosa de consistência média. Abaixo ocorre o solo residual, constituído por um silte areno-argiloso compacto, com espessura de

## UHE BELO MONTE

1 m. Segue-se o solo de alteração de migmatito, constituído por um silte argilo-arenoso de compactidade média.

### Dique 13 (DIK-13)

O DIK-13 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0015) apresenta-se com 2076 m de comprimento e 56,5 m de altura máxima. Sua ombreira direita é abrupta e com blocos de 1 m de diâmetro; a esquerda é suave e com o trecho central cortado por um aluvião.

A ombreira direita possui um colúvio de 0,5 m de espessura, caracterizado por uma argila siltosa, pouco arenosa, de baixa consistência e porosa, com muita raiz. Abaixo o solo residual é silte areno-argiloso, laterizado, compacto, e com espessura de 2 m. Segue-se o solo de alteração de migmatito, constituído por uma areia silto-argilosa, pouco compacta e pouco porosa, com espessura de 10 m.

No trecho central ocorre um aluvião com 165 m de largura e até 1,5 m de espessura, sendo constituído por uma argila arenosa, de baixa consistência e saturada, sobreposta ao solo de alteração de migmatito. Este é constituído por uma areia silto-argilosa, compacta e saturada. O nível d'água estava próximo à cota 44 m, em fevereiro de 1987.

Na ombreira esquerda ocorre um colúvio, com uma espessura média de 2 m, constituído por uma argila silto-arenosa, de baixa consistência e porosa, com canalículos de até 10 cm de diâmetro, de possível origem radicular. Abaixo o solo residual tem uma espessura que varia entre 1,5 m a 4 m e é constituído por uma areia silto-argilosa, laterizada, compacta, com freqüentes canalículos termíticos de 1 mm de diâmetro. O solo de alteração de granito é constituído por uma areia silto-argilosa, pouco laterizada, pouco a medianamente compacta e porosa, com zonas mais porosas que o solo residual. Sua espessura varia de 1 a 20 m.

O topo rochoso encontra-se a profundidades de 12 a 20 m na ombreira direita, de 8 m no trecho central e de 5 a 25 m na ombreira esquerda.

### Dique 14A (DIK-14A)

Com um comprimento de 908 m e altura máxima de 22,6 m, o DIK-14A (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0016) possui a ombreira direita pouco suave e a esquerda abrupta.

A ombreira direita apresenta-se com um colúvio de 1,5 m de espessura, constituído por uma argila silto-arenosa, com grânulos esparsos de quartzo e laterita, de baixa a média consistência e com freqüentes poros de até 3 mm de diâmetro. Abaixo o solo residual está com 3 m de espessura, sendo constituído por um silte areno-argiloso, laterizado, compacto a muito compacto, e com freqüentes canalículos termíticos submilimétricos. Segue-se o solo de alteração de granito, constituído por uma areia silto-argilosa, pouco a medianamente compacta, pouco porosa, e com uma espessura variável de 15 a 25 m.

No trecho central, o colúvio, com 1 m de espessura, é caracterizado por uma areia argilo-siltosa, fofa e porosa, com canalículos de até 25 cm de diâmetro provavelmente devido à deteriorização de raízes. Abaixo, com uma espessura de 3,5 m, o solo residual apresenta-se como uma areia argilo-siltosa, pouco laterizada, compacta com zonas de até 5 cm de diâmetro com raízes deterioradas. Segue-se o solo de alteração

## UHE BELO MONTE

de granito, constituído por areia silto-argilosa, pouco compacta, úmida e muito porosa, desenvolvendo-se numa espessura entre 8 e 20 m.

A ombreira esquerda apresenta-se com as mesmas características da ombreira direita.

O topo rochoso encontra-se com profundidades de 20 m na ombreira direita, entre 25 e 30 m no trecho central e de 25 m na ombreira esquerda.

### Dique 14B (DIK-14B)

O DIK-14B (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0017) possui comprimento de 232 m e altura máxima de 10,9 m. Suas ombreiras são suaves, ocorrendo nestas e no trecho central, blocos de até 2 m de diâmetro.

O colúvio apresenta-se nas ombreiras e no trecho central, com 1 m de espessura, sendo constituído de uma argila silto-arenosa, com raros grânulos de laterita e quartzo, de baixa consistência e porosa. Abaixo, segue-se numa espessura de 3 m, o solo residual, que é caracterizado nas ombreiras e no trecho central, como um silte argilo-arenoso, laterizado, compacto e pouco poroso. O solo de alteração de granito, imediatamente abaixo, apresenta-se na ombreira direita com 16 m de espessura, constituído por uma areia siltosa, pouco a medianamente compacta, com poros submilimétricos de lixiviação. No trecho central é constituído por um silte argilo-arenoso, medianamente compacto e com uma espessura superior a 26 m. Na ombreira esquerda o solo de alteração é silte areno-argiloso, medianamente compacto e com espessura de 21 m.

O topo rochoso encontra-se numa profundidade de 20 m na ombreira direita, de 25 a 30 m no trecho central e de 25 m na ombreira esquerda.

### Dique 14C (DIK-14C)

O DIK-14C (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0018) possui 530 m de comprimento e 56 m de altura máxima. Suas ombreiras são íngremes e ocorrem blocos de 1 m de diâmetro na ombreira direita e parte do trecho central, que é cortado por um aluvião.

Na ombreira direita ocorre um colúvio com 1,5 m de espessura, constituído por uma argila silto-arenosa, com raros seixos e grânulos de quartzo e laterita, de baixa consistência, muito porosa e com muitas raízes e radículas. Abaixo se desenvolve numa espessura de 3 m, o solo residual, constituído por um silte areno-argiloso, laterizado, muito compacto e com poucos poros submilimétricos. Segue-se o solo de alteração de granito, caracterizado por uma areia silto-argilosa, pouco laterizada, compacta e pouco porosa, com espessura variável de 6 a 29 m.

Na baixada ocorre um aluvião com 100 m de comprimento e até 2,5 m de espessura, constituído por uma argila arenosa, de baixa consistência, muito porosa e saturada, com nível d'água próximo à cota 26 m, em janeiro de 1987. Segue-se abaixo o solo de alteração de cataclasito, constituído por uma areia siltosa, pouco micácea, compacta a muito compacta, saturada, com uma espessura de 3,5 m.

Na ombreira esquerda ocorre o colúvio, com 1,5 m de espessura, sendo constituído por uma argila areno-siltosa, fofa, muito porosa e com muitas raízes. Abaixo o solo residual varia de 1,5 a 2,5 m de espessura e é composto de um silte areno-argiloso, pouco laterizado, compacto, com poucos canalículos submilimétricos e com blocos esparsos de até 0,5 m de diâmetro. Segue-se o solo de alteração de migmatito,



## UHE BELO MONTE

constituído por uma areia argilo-siltosa, com blocos esparsos de até 0,5 m de diâmetro, pouco a medianamente compacta, porosa, e com espessura muito variável, desde 7 até 40 m.

O topo rochoso encontra-se numa profundidade de 10 a 35 m na ombreira direita, de 6 m no trecho central e de 10 a 45 m na ombreira esquerda.

### Dique 14D (DIK-14D)

O DIK-14D (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0019) possui 638 m de comprimento e 39,2 m de altura máxima. Apresenta as ombreiras abruptas, sendo que na esquerda, ocorrem poucos blocos de até 1 m de diâmetro.

Na ombreira direita ocorre superficialmente um colúvio, com 1 m de espessura, constituído por uma areia silto-argilosa, pouco compacta e porosa. Abaixo com 2 m de espessura, ocorre o solo residual, caracterizado por um silte argilo-arenoso, pouco a medianamente compacto. Segue-se o solo de alteração de migmatito, constituído por um silte areno-argiloso, micáceo, pouco compacto e com espessura em torno de 15 m.

No trecho central o colúvio tem 0,5 m de espessura e é caracterizado por uma areia silto-argilosa, fofa a pouco compacta, porosa e com muitas raízes. Abaixo o solo residual possui 1 m de espessura, sendo constituído por um silte argilo-arenoso, medianamente compacto. Segue-se o solo de alteração de migmatito, com espessura de 13 a 18 m, constituído por uma areia silto-argilosa, porosa e pouco compacta.

Na ombreira esquerda o colúvio está com 1 m de espessura e é silte areno-argiloso, fofo. Abaixo o solo residual possui 2 m de espessura, sendo constituído por um silte argilo-arenoso, pouco a medianamente compacto. O solo de alteração de migmatito possui espessura de 23 m e é caracterizado por um silte arenoso, variegado, micáceo, pouco compacto.

O topo rochoso está a uma profundidade de 15 a 20 m na ombreira direita, de 25 m na ombreira esquerda e de 8 a 15 m no trecho central.

### Dique 14E (DIK-14E)

Com 676 m de comprimento e 19,3 m de altura máxima, o DIK-14E (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0020) apresenta-se com ombreiras abruptas, com poucos blocos na ombreira esquerda e trecho central, cortando a cabeceira de um pequeno aluvião.

Na ombreira direita o colúvio com 1 m de espessura, é caracterizado por uma areia argilo-siltosa, com grânulos esparsos de quartzo e laterita, fofo e poroso, com canalículos termíticos de até 2 mm de diâmetro, de possível origem termítica. Abaixo o solo residual possui de 1,5 a 3 m de espessura, sendo constituído por uma areia silto-argilosa, pouco laterizada, pouco compacta e pouco porosa. O solo de alteração de migmatito é areia silto-argilosa, pouco laterizada, medianamente compacta e pouco porosa, desenvolvendo-se numa espessura maior que 15 m.

No trecho central ocorre um aluvião com 25 m de largura e com espessura menor que 1 m, caracterizado por uma areia argilosa, pouco compacta, muito porosa e saturada. O nível d'água encontrava-se próximo à cota 75 m, em janeiro de 1987.

A ombreira esquerda apresenta-se com um colúvio, com 1 m de espessura, caracterizado como uma argila silto-arenosa, com grânulos esparsos de quartzo e laterita, de baixa consistência e porosa. Abaixo o solo residual tem 1,5 m de espessura

## UHE BELO MONTE

e é constituído por um silte argilo-arenoso, compacto, gradando, verticalmente abaixo, para o solo de alteração de migmatito. Este possui uma espessura maior que 18 m e é composto por um silte arenoso, medianamente compacto.

O topo rochoso encontra-se a uma profundidade maior que 20 m na ombreira direita, de 5 a 8 m no trecho central e de 20 a 25 m na ombreira esquerda.

### Dique 18 (DIK-18)

O DIK-18 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0021) apresenta-se com 216 m de comprimento e 22,8 m de altura máxima. Possui as ombreiras abruptas e ocorrem blocos esparsos menores que 1 m de diâmetro por todo o eixo.

As ombreiras esquerda e direita apresentam-se com um colúvio de 1 m de espessura, constituído por uma argila silto-arenosa, de baixa consistência e porosa. Abaixo ocorre o solo de alteração, com 2 m de profundidade em média, constituído por um silte argilo-arenoso, medianamente compacto. Segue-se um solo de alteração de migmatito, com espessura maior que 25 m na ombreira direita, e de 17 m na esquerda, sendo constituído por um silte arenoso, pouco argiloso, por vezes micáceo e pouco compacto.

No trecho central o colúvio está com 0,5 m de espessura e é caracterizado por uma areia silto-argilosa, pouco compacta, muito porosa e com muitas raízes. Abaixo o solo residual possui 1 m de espessura e é composto por uma areia silto-argilosa, medianamente compacta e pouco porosa. Segue-se o solo de alteração de migmatito, com uma espessura maior que 23 m, sendo constituído por uma areia siltosa, medianamente compacta e pouco porosa.

O topo rochoso está a uma profundidade de 30 m na ombreira direita, de 25 m no trecho central e de 20 m na ombreira esquerda.

### Dique 19B (DIK-19B)

O DIK-19B deverá apresentar características semelhantes ao dique DIK-19, que constava do arranjo dos estudos de Viabilidade. Com a eliminação do Vertedouro Complementar do sítio Bela Vista, o DIK-19 foi eliminado e o barramento do igarapé Ticaruca será efetuado um pouco mais a montante deste curso d'água, passando a ser denominado DIK-19B.

O DIK-19B (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0022) apresenta 1442 m de comprimento e 42,4 m de altura e as investigações geológico-geotécnicas para este dique serão efetuadas na fase de estudos do Projeto Pré-Executivo.

### Dique 19C (DIK-19C)

O DIK-19C (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0022) possui 274 m de comprimento e 10 m de altura máxima. Este dique foi implementado devido à eliminação do Vertedouro Complementar do sítio Bela Vista. As investigações geológico-geotécnicas serão efetuadas na fase do Projeto Pré-Executivo.

### Dique 19D (DIK-19D)

O DIK-19D (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0023) possui 297 m de comprimento e 14,5 m de altura máxima. Este dique foi implementado devido à eliminação do

## UHE BELO MONTE

Vertedouro Complementar do sítio Bela Vista. As investigações geológico-geotécnicas serão efetuadas na fase do Projeto Pré-Executivo.

### Dique 19E (DIK-19E)

O DIK-19E (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0023) possui 166 m de comprimento e 11,5 m de altura máxima. Este dique foi implementado devido à eliminação do Vertedouro Complementar do sítio Bela Vista. As investigações geológico-geotécnicas serão efetuadas na fase do Projeto Pré-Executivo.

### Dique 27 (DIK-27)

O DIK-27 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0021) apresenta comprimento de 344 m, altura máxima de 13,3 m e será implantado em vale assimétrico. A ombreira direita é íngreme e a esquerda suave. Na ombreira esquerda estão distribuídos em superfície grande quantidade de blocos rochosos de até 1 m de diâmetro, inclusive impedindo o prosseguimento da sondagem a percussão programada para este local além da profundidade de 1,75 m. Ao longo de toda extensão ocorre o solo de alteração de migmatito, constituído por um silte arenoso. O nível d'água estava na cota 85 m em novembro de 2000.

### Dique 28 (DIK-28)

O DIK-28 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0024) possui comprimento de 1178 m, altura máxima de 32 m e será implantado em vale assimétrico. A ombreira esquerda é íngreme e possui grande quantidade de blocos rochosos de até 3 m de diâmetro. A ombreira direita é suave e não apresenta blocos rochosos em superfície.

O colúvio apresenta-se uniformemente nas ombreiras com espessura máxima de 2 m, sendo constituído por um silte argilo-arenoso a argila silto-arenosa. Na porção central ocorre um horizonte aluvionar com espessura de cerca de 1,5 m, composto superficialmente por uma areia fina, pouco argilosa, cinza escura e em profundidade por areia fina, média e grossa. O solo de alteração de migmatito, que ocorre sotoposto aos materiais transportados, é composto predominantemente por um silte argilo-arenoso. Os ensaios de SPT revelaram Índice de Resistência à Penetração do ensaio SPT de forma geral altos até atingir o lençol freático, onde sistematicamente ocorre uma queda de valores, recuperando-se gradativamente em profundidade até atingir o impenetrável. Quanto a permeabilidade, os ensaios de infiltração revelaram o predomínio de valores entre  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  cm/s. O valor de  $1,21 \times 10^{-3}$  cm/s medido no ensaio da profundidade de 5,0 a 7,0 m da SP-653 está relacionada com a perda parcial d'água de circulação do processo de avanço por lavagem.

O topo rochoso encontra-se na cota 68 m na ombreira esquerda, na cota aproximada 67 m no trecho central e na cota 50 m na ombreira direita.

O nível d'água estava na cota 71 m em novembro de 2000.

### Dique 29 (DIK-29)

O DIK-29 (desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0025) apresenta comprimento de 535 m e altura máxima de 26 m e será implantado em vale assimétrico. A ombreira esquerda é íngreme e não apresenta blocos rochosos em superfície. A ombreira direita é suave e apresenta muitos blocos de rocha com dimensões de até 2 m de diâmetro.

## UHE BELO MONTE

A exceção da porção mais elevada da ombreira direita, o coluvião apresenta-se distribuído de maneira uniforme, com espessura máxima de até 2,30 m e é constituído predominantemente por um silte arenoso com baixa compactidade. Na ombreira direita e sotoposto ao coluvião, ocorre o solo residual, com espessura de cerca de 0,50 m, e é constituído por material areno siltoso, de compactidade média a alta. Abaixo deste material ocorre o solo de alteração de migmatito, constituído por um silte areno-argiloso de compactidade alta. As sondagens a trado executadas não permitiram a identificação do topo rochoso.

Uma sondagem a percussão executada nas imediações do DIK-29 indica que o provável topo rochoso encontra-se na cota aproximada 65 m. O nível d'água desta sondagem estava na cota 76 m em novembro de 2000.

### 5.4.2 Diques do Sítio Pimental

Foram identificados, por meio de mapas de restituição aerofotogramétrica e confirmados posteriormente com levantamento topográfico preliminar, seis prováveis pontos de fugas no Sítio Pimental. Desses um está localizado na margem esquerda do rio Xingu e os restantes na margem direita. Trata-se de locais onde provavelmente serão implantados diques, denominados nesta fase PIM-01 a PIM-06, com altura máxima de 7 m e comprimentos variáveis. Considerando-se a pequena altura desses barramentos, estes locais foram estudados de forma simplificada durante os Estudos de Viabilidade, apenas com a execução de algumas sondagens a trado. Para tanto, é fundamental uma investigação detalhada desses pontos na fase do Projeto Básico Consolidado, principalmente em termos de pesquisa topográfica, uma vez que alguns destes pontos de fuga poderão deixar de ser necessários. Os desenhos BEL-B-PM-DE-GER-112-0016 e BEL-B-PM-DE-GER-112-0015 mostram a localização provável destes pontos de fuga e uma tabela contendo as sondagens a trado executadas com os respectivos materiais amostrados.

## 6. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DOS MATERIAIS DE FUNDAÇÃO

### 6.1. SÍTIO PIMENTAL

Os materiais pétreos do migmatito e os terrosos provenientes deste mesmo material encontrado na fase atual de estudos neste sítio, por apresentarem origem geológica semelhante aos estudados anteriormente na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, não foram ensaiados, adotando-se os mesmos índices e parâmetros obtidos anteriormente para estes materiais.

Para os materiais de características argilo siltosas provenientes dos terraços aluvionares, foram realizados, na 2ª Etapa dos Estudos de Viabilidade ensaios em amostras deformadas e indeformadas no Laboratório de Construção Civil da UHE Tucuruí.

## UHE BELO MONTE

### 6.1.1 Caracterização Geotécnica dos Solos

#### Solo de Alteração de Migmatito

Em função da similaridade geológico-geotécnica deste solo com os ocorrentes no Sítio Belo Monte, as suas caracterizações estão apresentadas no item 6.3.1.7 deste Relatório.

A caracterização deste mesmo solo obtida nos ensaios efetuados na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade no domínio do Sítio Bela Vista (antigo Juruá) podem ser também, na sua maioria, correlacionadas com os solos deste sítio.

#### Aluvião argilo siltoso

O solo argilo siltoso ocorre na forma de depósitos aluvionares recobrando a grande maioria das ilhas do Sítio Pimental, com espessura média de 2 m. Apresenta características altamente plástica, cor cinza amarelada, com 70% de argila, 29% de silte e 1% de areia fina e grande quantidade de canaliculos, distribuídos aleatoriamente, com dimensões de até 2 cm.

A partir da amostra indeformada, em bloco com dimensões de 30x30x30 cm, foram realizados os seguintes ensaios:

- triaxiais lentos, saturados, drenados, tipo  $S_{sat}$  ou CD, nas seguintes pressões confinantes 0,5 kgf/cm<sup>2</sup>, 1,0 kgf/cm<sup>2</sup>, 2,0 kgf/cm<sup>2</sup> e 4,0 kgf/cm<sup>2</sup> (50,100,200, 400 kPa), com velocidade de deformação de 0,1078 cm/h.
- adensamento oedométrico nos seguintes estágios de carregamento (kgf/cm<sup>2</sup>): 0,25; 0,50; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00; 16,00 e 32,00 (25; 50; 100; 200; 400; 800; 1600 e 3200 kPa) e de descarregamento (kgf/cm<sup>2</sup>): 16,00; 4,00; 1,00 e 0,25 (1600; 400; 100 e 25 kPa). A permeabilidade foi determinada nos seguintes estágios de carregamento (kgf/cm<sup>2</sup>): 0,5; 2,0 e 8,00 (50; 200 e 800 kPa).

Este solo apresentou peso específico dos grãos ( $\delta$ ) = 2,64 gf/cm<sup>3</sup>, peso específico natural seco ( $\gamma_{seco}$ ) = 1,34 gf/cm<sup>3</sup>, grau de saturação de 81,7% e umidade ótima (hot) em torno de 30%.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos nos ensaios foram  $c' = 0,20$  kgf/cm<sup>2</sup> e  $\phi' = 26,5^\circ$ , resultando na envoltória  $\tau = 0,2 + \sigma' \cdot \text{tg } 26,5^\circ$ .

A pressão de pré-adensamento foi estimada em 3,7 kgf/cm<sup>2</sup>, superior às tensões que serão aplicadas pela barragem de terra a ser construída sobre esse solo.

Destaca-se ainda a não expansibilidade do material, com índice de expansão (IE) de 0,055.

Com relação aos ensaios de permeabilidade ( $k_{20^\circ c}$ ) aplicando-se os carregamentos de 0,5; 2,0 e 8,0 kgf/cm<sup>2</sup>, obteve-se respectivamente, os seguintes coeficientes médios:  $7,99 \times 10^{-4}$ ,  $2,14 \times 10^{-4}$  e  $2,70 \times 10^{-6}$  cm/s, provavelmente ditados pela grande quantidade de canaliculos na amostra indeformada.

## UHE BELO MONTE

### 6.1.2 Caracterização Geomecânica das Rochas

As rochas de fundação no Sítio Pimental são representadas predominantemente por migmatito, que ocorre em variedades diferenciadas macroscopicamente por granulação e cor, a saber:

- cinza e granulação fina, a mais freqüente; e
- róseo/cinza e granulação grossa.

Conforme já descrito anteriormente, as rochas do Sítio Pimental apresentam forte similaridade com as rochas migmatíticas do Sítio Belo Monte. Considerando esta similaridade julgou-se pertinente a adoção dos mesmos parâmetros de resistência e deformabilidade propostos para o Sítio Belo Monte, que visaram a formulação do modelo geomecânico do maciço.

Esta formulação geomecânica encontra-se apresentada no item 6.3.2. Ressalta-se, entretanto, que em função das menores solicitações impostas ao maciço, pelas novas estruturas do Sítio Pimental (menores alturas) e adicionada a condição que não foram encontradas feições estruturais desfavoráveis que pudessem minorar os parâmetros de resistência e compressibilidade obtidas nos ensaios da 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, os parâmetros aqui adotados poderão ser considerados conservadores.

Na fase de Projeto Pré-Executivo, recomenda-se que os ensaios de caracterização sejam realizados em testemunhos de sondagens do Sítio Pimental visando à aferição dos resultados adotados.

### 6.2. CANAIS DE ADUÇÃO

Os materiais pétreos do migmatito e os terrosos provenientes deste mesmo material encontrado na fase atual de estudos, por apresentarem origem geológica semelhante aos estudados anteriormente na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, não foram ensaiados, adotando-se os mesmos índices e parâmetros obtidos anteriormente para estes materiais. Portanto as mesmas considerações empregadas para o Sítio Pimental, devem ser adotadas para as obras previstas nesta região.

Com as informações disponíveis nesta etapa dos estudos, prevê-se que o canal de derivação terá ao longo do seu desenvolvimento, aproximadamente 80% de fundação em rocha e 20% em solo.

Conforme mostrado no desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0005 (diagramas de A a F) o padrão estrutural do maciço rochoso apresenta predomínio das fraturas subverticais em superfície, correspondentes as 5 famílias já descritas.

Devido o fato de estarem previstos taludes escavados em solo/rocha com alturas superiores a 40 m, durante a fase do Projeto Básico Consolidado recomenda-se um aprofundamento dos estudos estruturais do maciço rochoso, principalmente o de subsuperfície, visando a adequação das direções/inclinações dos taludes em função das direções preferenciais dos planos de descontinuidades. Os tratamentos previstos para os taludes escavados em rocha, que serão aplicados quando necessário, estão indicados no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0027.

Nos reconhecimentos geológico-geotécnicos de superfície foi constatada com freqüência a ocorrência de matações dispersos no horizonte de solo de alteração do

## UHE BELO MONTE

migmatito. Estes matacões possuem dimensões variadas, desde centimétricas até métricas, o que sabidamente acarretarão dificuldades especiais na escavação.

Visando um melhor conhecimento do grau de incidência e dimensões destes matacões, foi realizado um mapeamento para contagem e avaliação das suas dimensões em três áreas com dimensões individuais de 100 x 100 m, consideradas representativas, ao longo dos Canais de Derivação Esquerdo e Direito da alternativa dos estudos de Viabilidade. O desenho BEL-B-CA-DE-GER-112-0009 apresenta o resultado deste levantamento.

Outro condicionante importante para as escavações é a presença da água, tanto de superfície como de subsuperfície, refletindo diretamente na estabilidade dos taludes provisórios e definitivos, na remoção dos materiais escavados, na colocação de revestimentos e criam dificuldades de trânsito no piso. Para esta fase de estudos estão contempladas várias obras de interceptação do fluxo d'água dos afluentes dos igarapés Gaioso e Paquiçamba, para que o desenvolvimento dos trabalhos de escavação e tratamentos do canal possa ser desenvolvido de maneira adequada.

As verificações da estabilidade ao deslizamento efetuadas para os taludes do canal consideraram os parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos para os solos de alteração do migmatito nos ensaios realizados durante a 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade. A envoltória de resistência mínima considerada foi de  $\tau = 0 + \sigma' \operatorname{tg} 26,1^\circ$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) e em termos médios  $\tau = 0 + \sigma' \operatorname{tg} 30^\circ$ . Considerando-se que os ensaios disponíveis foram processados em amostras superficiais, em horizontes muito maduros, são esperadas resistências médias superiores para os horizontes mais profundos do solo de alteração, o que deverá ser melhor explorado nas fases posteriores de estudo visando possíveis otimizações de taludes de escavação.

Por isso, torna-se imprescindível uma investigação mais detalhada do comportamento da água nesta região, na fase do Projeto Pré-Executivo.

### 6.3. SÍTIO BELO MONTE

Quanto aos solos de fundação, a geologia do local das obras nas proximidades do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte permite distinguir dois trechos geotecnicamente bem definidos: o primeiro, restrito as ombreiras, basicamente constituído por solos residuais de rochas sedimentares e, o segundo, localizado em cotas mais baixas, constituído por solos residuais e de alteração de rochas migmatíticas. Recobrimo-os, ocorre um colúvio superficial.

A principal condicionante que se observa nos solos das ombreiras é a baixa resistência ao cisalhamento dos solos residuais de ritmito/folhelho, que governa a estabilidade dos taludes das barragens. A outra restrição imposta por estes solos, sobretudo em obras de escavação, diz respeito à potencialidade dos mesmos à expansão quando expostos às intempéries. Por outro lado, não apresentam aspectos condicionantes quanto à permeabilidade e compressibilidade.

Destacam-se, também nesse trecho, a colapsibilidade e a erodibilidade do colúvio arenoso assente sobre o solo residual de arenito, e ainda a elevada permeabilidade de ambos, sugerindo eventuais tratamentos de fundações. Não são visualizados nesses solos problemas de resistência ao cisalhamento.

---

## UHE BELO MONTE

No trecho dos solos residuais e de alteração de rochas migmatíticas, merecem particular ênfase os possíveis caminhos preferenciais de percolação de água que possam ocorrer principalmente pelas descontinuidades remanescentes da rocha matriz. Outra condicionante geotécnica que pode ser visualizada é com relação à eventual colapsibilidade dos solos mais porosos, quando submetidos à saturação, que além de promover o surgimento de recalques diferenciais indesejáveis poderá causar a subida da linha piezométrica, ocasionando possíveis instabilizações nas barragens. Esses solos apresentam, via de regra, excelentes propriedades quanto à resistência.

### 6.3.1 Caracterização Geotécnica dos Solos

#### Coluvião sobre o Solo Residual de Folhelho/Ritmito(CO)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0030)

O coluvião (CO) que ocorre sobre o solo residual de folhelho/ritmito possui, em geral, uma granulometria variável em profundidade, notando-se um aumento relativo da fração argilosa em detrimento da fração arenosa. Em média, esse solo apresenta cerca de 57% de areia, 24% de argila e 19% de silte. (ver Tabela A1.6.1).



# NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela A1.6.1 - Usina Belo Monte - Características Geotécnicas dos Solos de Fundação (Ombreiras)

Classificação Geológica	Localização das Amostras ensaiadas	Granulometria (%)				$\gamma_{mat}$ (tf/m <sup>3</sup> )	h <sub>nat</sub> (%)	Índices Físicos			Compactação		$\gamma_s / \gamma_s^{max}$ (x100%)	h <sub>nat</sub> -h <sub>ót</sub> (%)	Coeficiente de Permeabilidade K cm/s	Resistência ao Cisalhamento $\tau$ KN/m <sup>2</sup>	Parâmetros $\bar{A}$ e $\bar{B}$ (solos na condição parcialmente saturada)	Compressibilidade			Deformabilidade $E_{50\%}$ (KN/m <sup>2</sup> )
		Argila	Silte	Areia	Pedregulho			$\gamma_s$ (tf/m <sup>3</sup> )	e	S (%)	$\gamma_s^{max}$ (tf/m <sup>3</sup> )	h <sub>ót</sub> (%)						C <sub>c</sub>	C <sub>y</sub> (cm <sup>2</sup> /s)	$\rho_i$ (%)	
CO (sobre RSFo)	BSA (ME)	24 (±9) n=2	19 (±9)	57 (±18)	-	1,826 (±0,168)	13,6 (±4,0)	1,605 (±0,091)	0,687 (±0,091)	54,9 (±23,2)	1,890 (±0,114)	12,8 (±3,2) n=2	85,0	+0,8	<2x10 <sup>-4</sup>	$\tau = 10 + \sigma' mg 29^\circ$	$\bar{A} \cong 0,25$ $\bar{B} \cong 0,15$	0,185	3,6x10 <sup>-2</sup> (±1,4x10 <sup>-2</sup> ) a	82 ± 5 (6,4) a 45 ± 17 (19,5) n=2	19.400 (±2.600) (980 kN/m <sup>2</sup> )
RSFo	BLD / BLE	45,4 (±8,1) n=6	43,6 (±7,1)	10,4 (±2,6)	0,6 (±1,3)	2,027 (±0,053)	21,7 (±1,5)	1,665 (±0,072)	0,653 (±0,64)	91,6 (±3,9)	1,648 (±0,068)	21,0 (±1,5) n=3	101,0	+0,7	<2,5x10 <sup>-4</sup>	$\tau$ pico= 10+ $\sigma'$ mg22° (1) $\tau$ pico= 20+ $\sigma'$ mg18° (2) $\tau$ res= 10+ $\sigma'$ mg13,6°	$\bar{A} \cong 0,05'3$ $\bar{B} \cong 0,30$	0,164 (±0,035)	1x10 <sup>-2</sup> (±0,97x10 <sup>-2</sup> ) n=18	60 ± 6 (5,4) a 33 ± 4 (19,6) n=3	31.500 (±4.800) (588 kN/m <sup>2</sup> ) 42.000(±10.700) (784 kN/m <sup>2</sup> )
RSRt	BLD / BLE	35,7 (±7,2) n=3	51,5 (±10,0)	10,0 (±4,5)	2,7 (±5,5)	1,999 (±0,099)	21,7 (±3,4)	1,645 (±0,126)	0,681 (±0,121)	88,3 (±5,5)	1,697 (±0,047)	18,6 (±2,1) n=4	96,9	+3,1	<6,5x10 <sup>-5</sup>	$\tau$ pico= 12+ $\sigma'$ mg22° (1) $\tau$ pico= 10+ $\sigma'$ mg18° (2) $\tau$ res= $\sigma'$ mg13,6°	$\bar{A} \cong 0,05\sigma'3$ $\bar{B} \cong 0,25$	0,166 (±0,041)	1,3x10 <sup>-2</sup> (±1,3x10 <sup>-2</sup> ) n=7	51 ± 11 (6,4) a 43 ± 15 (19,6) n=2	25.900 (±5.700) (784 kN/m <sup>2</sup> ) 26.800(±8.300) (980 kN/m <sup>2</sup> )
CO (sobre RSAr)	BSA (ME)	-	2	98 f 76 m 21 1	-	1,587 (±0,041) n=3	4,3 (±2,3)	1,521 (±0,049)	0,763 (±0,057)	15,0 (±7,7)	-	-	-	-	5x10 <sup>-4</sup> <k<1x10 <sup>-3</sup>	$\tau$ pico= 7+mg32?	-	-	-	-	135.000 (980 kN/m <sup>2</sup> )
RSAr	BSA (ME)	-	1	99 f 41 m 57 1	-	1,855 (±0,051) n=3	3,0 (±0,1)	1,801 (±0,050)	0,489 (±0,41)	16,3 (±1,5)	-	-	-	-	<7x10 <sup>-4</sup>	$\tau$ pico= $\sigma'$ mg51° $\tau$ res= $\sigma'$ mg41°	-	-	-	-	51.200 (294 kN/m <sup>2</sup> )

Notas: (1) – Vertical (2) - Inclinado

## UHE BELO MONTE

Os índices físicos revelam-se, igualmente, variáveis em profundidade, mostrando que o solo é cada vez mais compacto. Os valores do índice de vazios são da ordem de 0,75 próximo da superfície do terreno, reduzindo para cerca de 0,62 nas proximidades do contato com os solos residuais. Os valores relativamente baixos do grau de saturação, em geral inferior a 70% independentemente da profundidade, sugerem que não serão geradas pressões neutras de construção que representem risco à estabilidade das barragens.

A relação entre os pesos específicos aparentes secos das amostras "in natura" ( $\gamma_s$ ), e compactada ( $\gamma_{sm\acute{a}x}$ ), é da ordem de 85%, e a umidade natural obtida em amostras retiradas no período da seca é muito próxima do valor da umidade ótima de compactação. Isto, de acordo com o critério de Holtz e Hilf, mostra ser desnecessário efetuar estudos de tratamentos para combate aos eventuais recalques diferenciais.

Os valores do coeficiente de permeabilidade são, em geral, inferiores a  $2 \times 10^4$  cm/s, pouco variando em profundidade. Para pressões normais de  $650 \text{ kN/m}^2$  esses valores podem chegar a cerca de  $6 \times 10^{-6}$  cm/s, o que representa uma redução de aproximadamente 30 vezes. Esses dados revelam, em princípio, que tratamento de fundações diante da perda d'água pode tornar-se igualmente dispensável.

Quanto aos parâmetros de resistência, verifica-se que tanto a coesão como o ângulo de atrito efetivo não apresentam variações significativas em profundidade, revelando uma envoltória básica que pode ser definida pela equação  $\tau = 10 + \sigma \text{ tg}29^\circ$  ( $\text{kN/m}^2$ ) muito próxima daquela formulada para os solos de alteração de migmatito das áreas de empréstimo, compactados em laboratório.

Entretanto, contrariamente a esses solos de empréstimo, o coluvião em apreço revela parâmetros de pressões neutras cerca de 2 a 3 vezes maiores que aqueles, sobretudo o parâmetro  $\bar{A}$  que acusa valores da ordem de 0,25, praticamente constantes até tensões normais de  $784 \text{ kN/m}^2$ . Esse solo apresenta características compressíveis na ruptura, dentro dos níveis de tensões estudados. Contudo, as condições sob as quais esses parâmetros são obtidos, são muito rigorosas e não reproduzem fielmente as condições vigentes no campo, onde certamente irá ocorrer a dissipação parcial de pressões neutras. A favor dessa conceituação, que leva a se esperar valores de  $\bar{B}$  menores que os obtidos em laboratório, concorre o fato de que os valores do coeficiente de adensamento,  $C_v$ , são bastante elevados, da ordem de  $4 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ , o que presumivelmente deve favorecer a dissipação de pressões neutras. Dessa forma, o quadro inicial mais adverso sugerido pelos resultados de ensaios pode ser suavizado e revertido para condições menos preocupantes na obra.

Esse coluvião apresenta um coeficiente de compressibilidade,  $C_c$ , ligeiramente maior que aquele obtido para os solos destinados ao aterro compactado, sendo da ordem de 0,18. Para valores do grau de saturação relativamente baixos, inferiores a 70%, verifica-se um elevado recalque imediato que pode chegar a cerca de 80% do recalque total para tensão normal de  $630 \text{ kN/m}^2$ , com tendência à diminuição a medida que ocorre o aumento do nível de tensões, alcançando valores de aproximadamente 45% sob tensões da ordem de  $1.920 \text{ kN/m}^2$ . Sob ruptura lenta e drenada, nota-se que as tensões axiais máximas são atingidas para deformações específicas axiais acima de 15%, não havendo indicação da queda brusca de resistência após a ruptura, nem

## UHE BELO MONTE

da ocorrência de planos preferenciais de fraqueza. O acréscimo de tensões axiais é gradativo com o desenvolvimento das deformações específicas axiais até atingir a ruptura. Os valores do módulo de deformabilidade,  $E_{50\%}$ , tendem a apresentar um aumento de aproximadamente 20% com a profundidade, sendo da ordem de  $18.000 \text{ kN/m}^2$  próximo da superfície do terreno e em torno de  $22.000 \text{ kN/m}^2$  nas proximidades do contato com os solos residuais, valores estes bastante compatíveis com a variação dos seus índices de vazios.

### Solo Residual de Folhelho (RSFo)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0031)

As frações granulométricas predominantes no solo residual de folhelho são as de argila e silte que correspondem à cerca de 45% cada uma. O restante do material é constituído pela fração arenosa. (ver Tabela A1.6.2). A porcentagem de silte, aparentemente elevada para esse tipo de solo, pode ser atribuída a 2 fatores principais: (1) a impossibilidade de obter partículas de solo com dimensões inferiores à fração siltosa, em virtude da própria limitação imposta pelo procedimento de preparo de amostras, conforme recomendado pela NB27 da ABNT, sobretudo em solos consistentes com este, nos quais parte da fração siltosa presente pode ser devida aos agregados de partículas de argila, de dimensões siltosas, impossibilitados de serem destorroados e individualizados nas dimensões de argila; (2) a ocorrência de lentes de siltito nas amostras submetidas aos ensaios de granulometria.

O solo em questão revela elevado grau de saturação, levemente superior a 90%, mesmo tendo sido retirado em período de seca.

Sem confinamento, os valores do coeficiente de permeabilidade estão compreendidos entre  $6 \times 10^{-6}$  e  $2 \times 10^{-4}$  cm/s. Para pressões normais da ordem de  $300 \text{ kN/m}^2$  esses valores passam a variar entre  $5 \times 10^{-7}$  e  $6 \times 10^{-5}$  cm/s, respectivamente, o que significa uma redução na permeabilidade de até cerca de 10 vezes. Nestas condições, são dispensáveis quaisquer tipos de tratamento de fundações contra a perda d'água.

O RSFo constitui-se no solo de fundação que possui os menores parâmetros de resistência, embora tenha valores elevados de SPT, configurando-se como condicionante geotécnico em termos de estabilidade de taludes de barragens. Sua resistência é nitidamente anisotrópica, apresentando uma envoltória definida por  $\tau$

pico =  $10 + \sigma' \text{ tg}22^\circ$  ( $\text{kN/m}^2$ ) ao longo de um plano de ruptura que atinge um ângulo de aproximadamente  $56^\circ$  com a direção horizontal. Já, para um plano de ruptura paralelo à direção horizontal, supostamente paralelo também à laminação, a envoltória passa a ser da ordem de  $\tau$  pico =  $20 + \sigma' \text{ tg}18^\circ$  ( $\text{kN/m}^2$ ). Nesta direção, a envoltória

de resistência residual pode ser avaliada através da equação  $\tau = 10 + \sigma' \text{ tg}13,6^\circ$  ( $\text{kN/m}^2$ ). Levou-se em conta o fato de que pode haver a influência da laterização nas envoltórias de resistência, sobretudo quando são utilizados corpos de prova de pequenas dimensões como aqueles usados nessa investigação. Com isso, sugere-se a possibilidade de desconsiderar a parcela da resistência devida à coesão, no intuito de definir a envoltória inferior do RSFo, por onde deverão passar as superfícies críticas de ruptura. Quanto ao ângulo de atrito efetivo residual, sabe-se que o seu valor está vinculado ao tipo de argilo-minerais presentes no solo e à dimensão e forma das partículas constituintes. Entretanto, há indícios de que a tensão residual no RSFo só é

## UHE BELO MONTE

atingida para níveis de deslocamentos muito elevados. Como nos ensaios, os deslocamentos impostos não ultrapassaram a 10 mm, sendo remota a possibilidade de que a tensão residual tenha sido efetivamente alcançada. Neste particular, propõe-se que o ângulo de atrito residual,  $\phi'$  res., seja inferido a partir dos dados de Babaquara, em que se chegou a um valor próximo de  $11^\circ$  para níveis de deslocamentos elevados.

Embora os parâmetros de pressão neutra possam revelar valores aparentemente preocupantes, os elevados valores do coeficiente de adensamento, da ordem de  $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / \text{s}$ , indicam boas condições de drenagem do RSFo, aspecto este que deve ser considerado nas análises de estabilidade de taludes. Esse solo apresenta comportamento dilatante na ruptura por cisalhamento.

Seu índice de compressão,  $C_c$ , é da mesma ordem de grandeza daquele obtido para os solos de empréstimo (em torno de 0,15). Peculiarmente, apresenta elevado índice de expansão,  $C_e$ , que pode atingir valores de até 0,07, conferindo ao solo uma relação de índices,  $C_c/C_e$ , de aproximadamente igual a 2. Esse solo, ainda que represente o último estágio de desagregação do folhelho, revela pressões de expansão variáveis entre  $30 \text{ kN/m}^2$  e  $50 \text{ kN/m}^2$  o que corresponde a uma sobrecarga de um aterro de 2 m de altura. Apresenta, também, forte propensão à desintegração quando exposto às intempéries. Mesmo que tenha um grau de saturação, em média superior a 90%, o RSFo apresenta um recalque imediato de aproximadamente 60% do recalque total para tensões normais de  $640 \text{ kN/m}^2$ , e, ainda, de cerca de 30% para tensões de  $1.960 \text{ kN/m}^2$ . Tais características podem ser oriundas da pré-expansão havida no período compreendido entre a retirada da amostra e o início do carregamento. Na ruptura lenta e drenada são obtidas curvas de tensão-deformação caracterizadas por um pico que é observado para deformações específicas axiais entre 2% e 5%. Ao atingir esse valor de pico, inicia-se uma queda gradativa da tensão axial contínua até deformações específicas axiais da ordem de 20%, instante em que as tensões passam a se estabilizar com cerca de 60% da tensão de pico. Suas características quanto a deformabilidade são extremamente distintas dos demais materiais intervenientes, tanto de fundações, como das áreas de empréstimo, as quais apresentam, em geral, rupturas com deformações específicas axiais superiores a 15%. Os valores do módulo de deformabilidade tendem a crescer à medida que o nível de tensões aumenta, sendo da ordem de  $31.500 \text{ kN/m}^2$  para tensão confinante de  $588 \text{ kN/m}^2$  e de  $42.000 \text{ kN/m}^2$  para  $784 \text{ kN/m}^2$ .

### Solo Residual de Ritmito (RSRt)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0032)

O solo residual de ritmito apresenta características geotécnicas médias muito próximas do solo residual de folhelho (ver Tabela A1.6.2). Entretanto, os valores individuais que levam a essa média estão distribuídos dentro de uma dispersão maior. Tal constatação pode ser atribuída às suas características geológicas representadas por folhelhos com intercalações de siltitos e arenitos finos, ou seja, um material de textura mais heterogênea.

Apenas os valores médios de permeabilidade e de módulos de deformabilidade são menores que os valores médios obtidos para o solo residual de folhelho - cerca de 4 vezes para o primeiro parâmetro e de 1,5 vezes para o segundo.

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

### Coluvião sobre o Solo Residual de Arenito (CO)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0033)

O coluvião presente sobre o solo residual de arenito revela, em geral, uma granulometria bastante uniforme, basicamente constituída por frações de areia fina e média que atingem respectivamente, 76 e 21%.

Esse solo apresenta um grau de saturação extremamente baixo, da ordem de 15%, como resultado da sua umidade natural também baixa, de aproximadamente 4%. Tais condições foram obtidas em amostras retiradas no período da seca. Tomando-se por referência suas elevadas permeabilidades, compreendidas entre  $1 \times 10^{-3}$  e  $5 \times 10^{-4}$  cm/s, que diminuem com o nível de tensão atuantes, presume-se que este baixo grau de saturação se conserva ao longo do ano, não devendo ocorrer elevação significativa deste índice, mesmo para a época das chuvas.

Essas elevadas permeabilidades recomendam a sua total remoção em toda a extensão da base do aterro. A colapsibilidade deste solo sob saturação para tensões normais de até cerca de  $320 \text{ kN/m}^2$  vem corroborar esta solução. O nível de colapso observado em ensaios não cai além de 0,7% de deformação específica, podendo este baixo valor ser atribuído ao índice de vazios da ordem de 0,75.

Com relação aos parâmetros de resistência, a envoltória deste coluvião, na condição saturada, pode ser definida pela equação  $\tau = 7 + \sigma \text{ tg } 32,9^\circ$  ( $\text{kN/m}^2$ ); não se verificando o desenvolvimento de pressões neutras para solicitações externas aplicadas em laboratório.

O módulo de deformabilidade  $E_{50\%}$  é da ordem de  $130.000 \text{ kN/m}^2$  para tensão confinante de  $980 \text{ kN/m}^2$  o que mostra ser o coluvião cerca de 3 a 5 vezes mais rígido que os demais solos das ombreiras.

### Solo Residual de Arenito (RSAr)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0034)

O solo residual de arenito apresenta uma curva granulométrica bastante semelhante do coluvião sobrejacente, tendo cerca de 41% de areia fina e 57% de areia média. Seu grau de saturação é muito baixo, de aproximadamente 16%, com umidade natural em torno de 3%.

Suas permeabilidades são elevadas, da ordem de  $5 \times 10^{-4}$  cm/s, pouco diminuindo com o nível de tensões, devendo em princípio requerer seu tratamento como solo de fundação. Apresenta para tensões baixas, inferiores a  $40 \text{ kN/m}^2$ , características colapsíveis sob saturação, porém revela valores de deformações específicas significativamente baixos, de aproximadamente 0,1%, sobretudo em decorrência do seu baixo índice de vazios, em torno de 0,50.

O solo apresenta uma envoltória de resistência consideravelmente elevada, definida pela equação  $\tau = \sigma' \text{ tg } 51^\circ$ , e não revela o desenvolvimento de pressões neutras mesmo na condição totalmente saturada. Mostra-se mais rígido que o coluvião sobrejacente, apresentando valor de  $E_{50\%}$  da ordem de  $51.000 \text{ kN/m}^2$  para pressão confinante de  $294 \text{ kN/m}^2$

Colúvio Sobre o Solo Residual de Migmatito

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0035)

O colúvio que ocorre sobre o solo de alteração de migmatito apresenta, em média, cerca de 53% de argila, 35% de areia, 10% de silte e 2% de pedregulho. (ver Tabela A1.6.2).

# NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela A1.6.2 - Usina Belo Monte - Características Geotécnicas dos Solos de Fundação

Classificação Geológica	Localização das amostras ensaiadas	Granulometria				$\gamma_{nat}$ (tf/m <sup>3</sup> )	h <sub>nat</sub> (%)	Índices Físicos			Compactação		$\gamma_s/\gamma_s^{max}$ (x100%)	h <sub>nat</sub> -h <sub>ót</sub> (%)	Coeficiente de Permeabilidade K cm/s	Resistência ao Cisalhamento $\tau$ kN/m <sup>2</sup>	Parâmetros $\bar{A}$ e $\bar{B}$ (solos na condição parcialmente saturada)	Compressibilidade			Deformabilidade $E_{50\%}$ (kN/m <sup>2</sup> )
		Argila	Silte	Areia	Pedregulho			$\gamma_s$ (tf/m <sup>3</sup> )	e	S (%)	$\gamma_s^{max}$ (tf/m <sup>3</sup> )	h <sub>ót</sub> (%)						$C_c$	$C_y$ (cm <sup>2</sup> /s)	$\rho_i$ (%)	
CO (sobre SAMg)	BAT	53	10	35	2	1,555 1,717	29,7 28,9	1,199 1,334	1,235 0,986	64,5 77,1	1,490 1,492	25,6 26,7	80,5 89,4	+4,1 +2	<1x10 <sup>-3</sup>	$\tau = \sigma' \text{tg } 26,5^\circ$	-	0,46	1,4x10 <sup>-2</sup> (±0,8x10 <sup>-2</sup> ) n=3	73 (6,4) a 55 (19,5)	18.700 (980 kN/m <sup>2</sup> )
SAMg	BLE/BAT	23 (±13) n=4	33 (±12)	41 (±4)	3 (±3) n=3	1,786 (±0,136)	20,0 (±1,9)	1,491 (±0,102)	0,820 (±0,097)	67 (±14)	1,669 (±0,040) n=3	19,3 (±2,7)	89,3	+0,7	<6x10 <sup>-4</sup> Localmente: 1x10 <sup>-3</sup>	$\tau = 10 + \sigma' \text{tg } 27^\circ$ $\tau = 40 + \sigma' \text{tg } 28^\circ$ (1)	$\bar{A} = 0,04\sigma'3$ (2) $\bar{B} \equiv 0,10$	0,294 (±0,060) n=5	2,5x10 <sup>-2</sup> (±1,1x10 <sup>-2</sup> ) n=9	76 ± 7 (6,4) a 84 ± 5 (19,5) n=3	Raso: 39.800 (980 kN/m <sup>2</sup> ) profundo: 17.700 (±7000) 980 kN/m <sup>2</sup> )
RSM1	BSA	31	66	3	-	1,826	28,2	1,425	0,923	83,7	1,53	24,6	93,1	+3,6	<6x10 <sup>-5</sup>	$\tau = 10 + \sigma' \text{tg } 29^\circ$	$\bar{A} = 0,04\sigma'3$ (2) $\bar{B} \equiv 0,10$	0,256	4,5x10 <sup>-2</sup> (±1,6x10 <sup>-2</sup> )	≅55% n=2	24.400 (980 kN/m <sup>2</sup> )
RSMgCat/Cat	BAT	55	33	12	-	1,769	38	1,283	1,276	87,0	1,394	34,8	92,0	+3,2	<2x10 <sup>-4</sup> Localmente: 1x10 <sup>-3</sup>	$\tau = 10 + \sigma' \text{tg } 29^\circ$	$\bar{A} = 0,04\sigma'3$ (2) $\bar{B} \equiv 0,10$	0,318 (±0,043) n=3	3x10 <sup>-2</sup>	76 (6,4) a 53 (19,6)	28.200 (980 kN/m <sup>2</sup> )
SAMgCat/Cat	BAT	17	51	31	1	1,657	29,5	1,280	1,094	72,3	1,508	25,8	84,9	+4,5	<4x10 <sup>-4</sup>	$\tau = \sigma' \text{tg } 29^\circ$	$\bar{A} = 0,09\sigma'3$ (2) $\bar{B} \equiv 0,10$	0,370 (±0,027) n=3	3,2x10 <sup>-2</sup> (±0,4x10 <sup>-2</sup> ) n=8	77±2 (6,4) a 56 ± 6 (19,5)	14.500 (980 kN/m <sup>2</sup> )
SAGr-gnCat	BSA	33	25	41	1	1,760	31,1	1,342	1,071	80,7	1,59	22,1	84,4	+9,0	<8x10 <sup>-5</sup>	$\tau = 80 + \sigma' \text{tg } 23^\circ$	$\bar{A} = 0,04\sigma'3$ (2) $\bar{B} \equiv 0,10$	0,375	2,7x10 <sup>-2</sup> (±1,0x10 <sup>-2</sup> ) n=3	67 (6,4) a 53 (19,5)	41.000 (980 kN/m <sup>2</sup> )

Nota: 1 – laterizado 2 -  $\sigma'$  3 em kgf/cm<sup>2</sup>

## UHE BELO MONTE

Os índices físicos indicam um leve aumento da consistência desse solo com a profundidade. Os valores do índice de vazios são extremamente elevados, sobretudo próximos da superfície do terreno onde variam em torno de 1,2. Mais em profundidade, nas proximidades do contato com o solo de alteração de migmatito, esse valor passa a ser da ordem de 1, ainda assim revelando indícios de propensão ao colapso. Entretanto, o critério expedito de Holtz e Hilf, baseado na relação entre os pesos específicos aparentes secos das amostras "in natura" ( $\gamma_s$ ), e compactada ( $\gamma_{sm\acute{a}x}$ ), e na diferença entre a umidade natural e a ótima de compactação, não recomenda, em princípio, nenhum tipo de tratamento de fundações, principalmente se forem confirmadas as umidades naturais sempre acima da umidade ótima, mesmo em amostras retiradas no período de seca como na investigação realizada.

O colúvio em apreço apresenta valores de coeficiente de permeabilidade bastante altos, sobretudo para níveis de tensões abaixo de  $200 \text{ kN/m}^2$ , estado em que pode atingir valores maiores que  $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ . Nesse trecho superficial recomenda-se a execução de uma trincheira de vedação.

A envoltória de resistência inferior, na condição saturada, não apresenta intercepto de coesão e pode ser definida pela equação  $\tau = \sigma' \text{ tg } 27,1^\circ$ . Com isso, configura-se como material condicionante para a estabilidade de taludes de barragens nos trechos de fundação em rochas migmatíticas. Na condição parcialmente saturada, típica do período construtivo, não sugere um ganho de resistência.

O solo revela características compressíveis durante a ruptura. A julgar pelo seu elevado coeficiente de adensamento, de aproximadamente  $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ , e pelos baixos valores do grau de saturação, inferiores a 80%, não se prevê a geração de pressões neutras que possam colocar em risco a segurança das barragens durante a construção.

Embora apresente elevado índice de vazios na amostra ensaiada, não revela características colapsíveis. Entretanto, trata-se de um solo extremamente compressível, com índice de compressão da ordem de 0,45. Na condição parcialmente saturado, mostra elevado recalque imediato de até 73% do recalque total para tensão normal de  $640 \text{ kN/m}^2$ , chegando a diminuir para 55% sob tensão de  $1.960 \text{ kN/m}^2$ .

Sob ruptura lenta e drenada, seu comportamento tensão-deformação é caracterizado por uma curva que apresenta um crescimento gradual de tensão axial com o desenvolvimento da deformação específica axial, até atingir a ruptura por volta de 13%. Seu módulo de deformabilidade,  $E_{50\%}$ , para tensão normal de  $980 \text{ kN/m}^2$  é da ordem de  $19.000 \text{ kN/m}^2$ , bem menor que aqueles obtidos para solos de empréstimo.

### Solo de Alteração de Migmatito (SAMg)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0036)

As características geotécnicas do solo de alteração de migmatito retratam bem a sua heterogeneidade caoticamente distribuída no subsolo. Essa heterogeneidade pode ser atribuída em parte à ocorrência de porções mais laterizadas. As médias determinadas dentro de uma ampla dispersão de valores mostram que esse solo é constituído por cerca de 41% de areia, 33% de silte, 23% de argila e 3% da fração pedregulho. Essas



## UHE BELO MONTE

porcentagens podem variar tanto em profundidade, como em planta (ver Tabela A1.6.2).

Os valores do índice de vazios são da ordem de 0,80, indicando alguma tendência desse solo de sofrer colapso sob inundação. O valor médio do grau de saturação, por volta de 70%, não sugere a ocorrência de pressões neutras que possam condicionar a estabilidade dos taludes das barragens.

O solo apresenta, em geral, valores do coeficiente de permeabilidade inferiores a  $6 \times 10^{-4}$  cm/s, mesmo na condição não confinada. Localmente podem ocorrer valores da ordem de  $1 \times 10^{-3}$  cm/s, onde são previstos tratamentos de fundações. Atinge valores de permeabilidade da ordem de  $1 \times 10^{-4}$  cm/s sob pressões normais compreendidas entre  $200 \text{ kN/m}^2$  e  $600 \text{ kN/m}^2$  e prossegue esse decréscimo com o aumento da pressão normal, até chegar a valores contidos entre  $1 \times 10^{-5}$  cm/s e  $1 \times 10^{-6}$  cm/s sob pressão normal de  $1.200 \text{ kN/m}^2$ .

A envoltória de resistência mínima, relativa à condição próxima da saturação total, pode ser definida pela equação  $\tau = 10 + \sigma' \text{tg } 27^\circ$  ( $\text{KN/m}^2$ ), muito próxima daquela determinada para os mesmos solos de empréstimos compactados.

Para a condição parcialmente saturada é verificado um ganho relativo de resistência, podendo sua envoltória ser definida através da equação  $\tau = 40 + \sigma' \text{tg } 28^\circ$  ( $\text{kN/m}^2$ ) bastante próxima da envoltória para a condição de solo laterizado e saturado.

Quanto aos parâmetros de pressão neutra, igualmente aos demais solos oriundos de rochas migmatíticas como se verá mais adiante, o valor de  $\bar{B}$  é muito próximo daqueles obtidos para os solos de empréstimo, variando sempre em torno de 0,10. Entretanto, o valor de  $\bar{A}$  é bem maior que aqueles determinados em solos de empréstimo, sendo comparável aqueles definidos para os solos residuais de folhelho e ritmito. Revela uma variação aproximadamente linear com o aumento da pressão confinante efetiva,  $\sigma'_3$ , podendo ser formulado através da expressão  $\bar{A} = 0,04 \sigma'_3$ , com  $\sigma'_3$  em  $\text{Kgf/cm}^2$ . Mostra nítida tendência à compressão na ruptura. Em primeira análise, o valor de  $\bar{A}$  traz enorme preocupação para a segurança das barragens, porém ressalta-se que a trajetória real de tensões efetivas no protótipo é bastante diferenciada daquela imposta em laboratório. As condições encontradas no campo são bem menos rigorosas, sugerindo-se uma condição de carregamento mais lento. Ademais, associada à boa condição de drenagem, retratada pelo seu coeficiente de adensamento da ordem de  $2,5 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ , tudo indica que deva ocorrer uma solicitação menos severa durante a construção, longe de instabilizar os maciços das barragens.

O solo em apreço apresenta um índice de compressão da ordem de 0,30, isto é um valor intermediário entre aqueles obtidos para o solo de empréstimo compactado, de valor menor, e para o coluvião, de valor maior. Localmente, pode ser colapsível com a inundação, sob pressão normal de aproximadamente  $300 \text{ kN/m}^2$ . Para grau de saturação por volta de 70%, revela um recalque imediato da ordem de 75% do recalque total sob pressão normal de  $640 \text{ kN/m}^2$  e da ordem de 65% mesmo para pressão normal de  $1.960 \text{ kN/m}^2$ . Quanto à deformabilidade, sob ruptura lenta e drenada, as curvas tensão-deformação revelam dois comportamentos distintos: - no primeiro (P-106), uma grande deformação específica axial para pequenas tensões e

## UHE BELO MONTE

depois um acréscimo de tensão axial gradativo até atingir a ruptura por volta de 15% de deformação específica axial, e no segundo, acréscimo de tensão axial praticamente linear até deformações específicas axiais da ordem de 6%, onde se inicia a plastificação do solo, ocorrendo a ruptura em torno de 15% de deformação. Essa diferença pode ser atribuída tanto à forma de ocorrência da laterização, como à porosidade heterogeneamente distribuída no SAMg. Para pressão confinante de  $980 \text{ kN/m}^2$  seu módulo de deformabilidade,  $E_{50\%}$ , é da ordem de  $40.000 \text{ kN/m}^2$ , isto supostamente para o trecho mais laterizado; e, em média, da ordem de  $18.000 \text{ kN/m}^2$ , no trecho menos laterizado, com tendência a diminuir até cerca de  $13.000 \text{ kN/m}^2$ .

### Solo Residual de Milonito (RSMI)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0037)

O solo residual de milonito apresenta uma granulação bastante fina, sendo constituído por cerca de 31% de argila, 66% de silte e apenas 3% de areia. (ver Tabela A1.6.3). Embora tenha índice de vazios maior que o SAMg, com valores da ordem de 0,90, não se revelou colapsível nos ensaios. Associa-se, a isto o fato de que o RSM1 possui um peso específico aparente seco maior que 90% do peso específico aparente seco máximo e apresenta uma umidade natural cerca de 4% acima da umidade ótima de compactação, mesmo em amostras retiradas na época da seca. Igualmente ao SAMg, o seu grau de saturação menor que 85%, não sugere a geração de pressões neutras durante a construção a ponto de condicionar a estabilidade das barragens.

O coeficiente de permeabilidade é sempre inferior a  $6 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ , independente do nível de tensões, não havendo quaisquer restrições a respeito deste parâmetro.

Sua envoltória de resistência é ligeiramente inferior aquela definida para o SAMg, na condição parcialmente saturada, podendo ser expressa através da equação  $\tau = 10 + \sigma' \text{tg } 29^\circ \text{ (kN/m}^2\text{)}$ . Para a condição totalmente saturada, é presumível que ocorra perda parcial da coesão.

Os parâmetros de pressão neutra apresentam comportamento idêntico ao SAMg, sendo portanto válidos todos os comentários já feitos para aquele solo.

O solo em questão revela um índice de compressão ligeiramente menor que o SAMg, sendo da ordem de 0,25. Apresenta recalques imediatos de aproximadamente 55% do recalque total, dentro dos níveis de tensões compreendido entre  $1.280$  e  $1.960 \text{ kN/m}^2$ . Sua curva tensão-deformação, obtida sob ruptura lenta e drenada, mostra que o acréscimo de tensão axial é relativamente gradual com o aumento da deformação específica axial, até atingir a ruptura por volta de 15% de deformação. Nestas condições, o módulo de deformabilidade, obtido,  $E_{50\%}$ , é da ordem de  $25.000 \text{ kN/m}^2$ , sob pressão confinante de  $980 \text{ kN/m}^2$ .

### Solos Residuais de Migmatito Cataclasado e de Cataclasito (RSMg Cat/Cat)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0038)

Embora apresente granulometria e índices físicos bastante diferenciados tanto do SAMg, como do RSMI, os parâmetros geotécnicos de projeto do solo residual de

## UHE BELO MONTE

migmatito cataclasado podem ser, em parte, associados aos parâmetros obtidos para aqueles solos, valendo, via de regra, os seguintes comentários:

- coeficiente de permeabilidade, parâmetros de compressibilidade e parâmetros de pressão neutra adotados iguais aos do SAMg;
- envoltória de resistência e comportamento tensão-deformação adotados iguais aos do RSML.

Apenas o módulo de deformabilidade,  $E_{50\%}$ , não se ajusta em nenhum dos dois solos, sendo da ordem de 28.000 kN/m<sup>2</sup> para tensão confinante de 980 kN/m<sup>2</sup>.

Em geral, trata-se de um solo com granulação extremamente fina, apresentando cerca de 55% de argila, 33% de silte e 12% de areia (ver Tabela A1.6.2). Destaca-se o seu elevado índice de vazios, de cerca de 1,3, bem maior que aqueles determinados para o SAMg e RSML. Apesar disto, o solo não revela características colapsíveis sob tensões baixas. Tal fato pode ser atribuído ao efeito da possível laterização.

### Solos de Alteração de Migmatito Cataclasado e de Cataclasito (SAMgCat/Cat)

O solo de alteração de migmatito cataclasado apresenta cerca de 51% de silte, 31% de areia, 17% de argila e 1% da fração de pedregulho (ver Tabela A1.6.2). É, portanto, mais siltoso que o SAMg em virtude do processo de cataclasamento a que foi submetido.

Quanto aos índices físicos, mostra-se mais poroso e ligeiramente mais saturado que o SAMg, porém longe de condicionar a estabilidade de taludes de barragens.

O coeficiente de permeabilidade é semelhante ao obtido para o SAMg. Em geral, é inferior a  $4 \times 10^{-4}$  cm/s, mesmo sob tensões baixas, chegando a  $1 \times 10^{-4}$  cm/s para tensões normais da ordem de 200 kN/m<sup>2</sup>. Não foi detectada em laboratório, como no SAMg a ocorrência de porções localizadas mais permeáveis.

O grau de saturação parece não interferir na envoltória de resistência, que pode ser definida pela equação  $\tau = \sigma' \text{tg } 29^\circ$ .

Portanto, não há parcela devida à coesão, contrariamente ao verificado para o SAMg.

Um aspecto muito particular a ser destacado nesse solo é com relação ao valor do seu parâmetro  $\bar{A}$ , definido pela expressão  $\bar{A} = 0,09 \sigma'^3$ , com  $\sigma'^3$  em Kgf/cm<sup>2</sup>. Este valor representa praticamente o dobro daquele obtido para o SAMg, aspecto que deve ser melhor investigado nos estudos do Projeto Pré-Executivo. A nível de Projeto Básico, julgam-se válidos os mesmos comentários efetuados para o parâmetro  $\bar{A}$  daquele solo.

Seu índice de compressão é maior que aquele determinado para o SAMg, sendo da ordem de 0,37. Por outro lado seu módulo de deformabilidade, bem menor, sendo de aproximadamente 14.500 kN/m<sup>2</sup>. Sob pressão confinante de 980 kN/m<sup>2</sup>, o comportamento da curva tensão-deformação é semelhante ao do SAMg do P-106, atingindo a ruptura com deformações específicas axiais em torno de 20%.

### Solo de Alteração de Granito-Gnaiss Cataclasado (SAGr-gnCat)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0039)

## UHE BELO MONTE

O solo em apreço apresenta uma curva granulométrica próxima do SAMg, possuindo cerca de 41% de areia, 33% de argila e 25% de silte e ainda 1% da fração de pedregulho (ver Tabela A1.6.2).

Entretanto, os seus índices físicos são mais próximos do SAMgCat/Cat, sobretudo no que se refere à sua porosidade.

Seu coeficiente de permeabilidade é menor que aquele obtido para o SAMgCat/Cat, provavelmente devido à maior ocorrência da fração argilosa na sua composição granulométrica. Em geral, apresenta valor menor que  $8 \times 10^{-5}$  cm/s, mesmo para nível de tensões baixas.

Sua envoltória de resistência, na condição parcialmente saturada, tem como peculiaridade uma coesão elevada e um ângulo de atrito baixo, podendo ser definida pela fórmula  $\tau = 80 + \sigma' \text{tg } 23^\circ$  (kN/m<sup>2</sup>). Porém, na condição totalmente saturada, presume-se que seja obtida uma nova envoltória, tendo como característica marcante uma redução na parcela de resistência devida à coesão.

Quanto aos parâmetros de pressão neutra, os valores determinados são idênticos aos obtidos para o SAMg, sendo, portanto, válidos todos os comentários feitos para os parâmetros daquele solo.

Já os valores dos parâmetros de compressibilidade são semelhantes àqueles determinados para o SAMgCat/Cat. O mesmo pode ser dito em relação ao comportamento tensão-deformação desse solo, porém a ruptura ocorre para deformação específica axial da ordem de 8%. Por outro lado, o valor do módulo de deformabilidade,  $E_{50\%}$ , é da ordem de 2,5 vezes maior que aquele determinado para o SAMgCat/Cat, sendo de aproximadamente 41.000 kN/m<sup>2</sup> sob pressão confinante de 980 kN/m<sup>2</sup>.

### Solo de Alteração de Milonito (SAMI)

(desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0037)

Embora apresente uma profundidade ligeiramente mais fina e seja mais poroso, pode ser conferido a este solo o mesmo comportamento geotécnico observado para o SAMg Cat/Cat, e portanto os seus parâmetros geotécnicos podem ser inferidos a partir daquele solo.

### Aluvião (Al)

Tendo sido prevista a sua remoção integral nos locais em que interferem na fundação das barragens, o aluvião não foi submetido aos ensaios de laboratório.

## 6.3.2 Caracterização Geomecânica das Rochas

O maciço rochoso, da estrutura de geração principal do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte e imediações, é composto por grupos de rochas cristalinas constituindo o fundo dos vales, e rochas sedimentares constituindo as ombreiras em todas as barragens de terra e enrocamento.

Dentre as rochas sedimentares, os arenitos ocorrem somente na ombreira esquerda da Barragem de Santo Antônio, acima da cota 85 m e não apresentam preocupações quanto à resistência e deformabilidade.

## UHE BELO MONTE

Foi, portanto, escolhido para avaliação de parâmetros das rochas sedimentares, o grupo composto de folhelhos e ritmitos, que possuem baixa resistência, estão presentes nas fundações de todas as barragens do Sítio Belo Monte e serão submetidos a elevadas solicitações perante a sua resistência.

Do grupo de rochas cristalinas foram escolhidas feições migmatíticas deformadas, como cataclasitos/milonitos e migmatitos com graus diferenciados de foliação.

De informações bibliográficas pode-se prever diferenciações entre as duas rochas sedimentares; para os folhelhos existiriam anisotropias de deformabilidade, resistência e permeabilidade geradas tão somente pela disposição paralela das partículas argilosas que compõem camadas iguais entre si, sendo que nos ritmitos estas camadas são compostas por materiais diferentes (folhelhos, siltitos e arenitos) que se alternam, aumentando o nível de heterogeneidade nas características geotécnicas.

Como as solicitações serão provenientes de barragens de terra, os ensaios nos ritmitos e folhelhos limitaram-se à caracterização das propriedades de resistência ao cisalhamento e de alterabilidade. Esses ensaios foram feitos ao longo dos planos de acamamento, subhorizontais, e sobre as feições mais fracas (C3/C4), pois estas governam inteiramente o limite inferior de resistência ao cisalhamento.

Os folhelhos e ritmitos existentes no Sítio Belo Monte ocorrem com iguais espessura e importância aos do Sítio Altamira (antigo Babaquara) e com características geológico-geotécnicas semelhantes em termos de observações tátil-visuais como expansão, variações nítidas de coerências, solos semelhantes, etc.

No Sítio Altamira adotou-se o valor de  $\phi$  residual de  $11^\circ$  para os pacotes em ritmitos e folhelhos, para rupturas ao longo do plano de acamamento, pois: 1 - foi observada a presença aleatória de horizontes C4 dentro de pacotes de folhelhos C1/C2, mesmo maciço-a-dentro e sob grande cobertura; 2 - foi admitida sua continuidade por grandes extensões, compatíveis com o comprimento das fundações; 3 - foi observado um pequeno deslocamento necessário para atingir-se a resistência de pico; 4 - foram observados baixos ângulos de atrito na fase pós-ruptura, consistentemente atingindo-se os parâmetros resistentes dos solos. Rejeitou-se a adoção dos valores de pico ainda, devido à elevada dispersão observada. Tal procedimento é aceito nas bibliografias, contanto que sejam revistos os fatores de segurança nos estudos de estabilidade.

Os estudos de estabilidade para o Sítio Belo Monte valeram-se destas informações obtidas, do Sítio Altamira. Quando da conclusão da campanha de sondagens no Sítio Belo Monte, selecionaram-se algumas amostras intactas para os ensaios usuais recomendados pela ISRM. O pequeno número de amostras e de ensaios prendeu-se a pequena disponibilidade de amostras, e ao fato do objetivo dos ensaios ser apenas a comprovação daqueles valores extraídos do local previsto para implantação da UHE Altamira (ver Tabela A1.6.3).

## UHE BELO MONTE

**Tabela A1.6.3 - Parâmetros de Folhelhos e Ritmitos de Belo Monte**

SR	Material	Profundidade (m)	Coe-rência	Peso Específico Seco (tf/m <sup>3</sup> )	Compressão Simples		Tração Método Brasileiro kgf/cm <sup>2</sup>	Cisalhamento Direto			Pressão de Expansão kgf/cm <sup>2</sup>
					C kgf/cm <sup>2</sup>	E (50% c) x10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup>		τPico kgf/cm <sup>2</sup>	τResidual kgf/cm <sup>2</sup>	σn kgf/cm <sup>2</sup>	
71	Folh. Inf.	13,12 - 13,34	C3				2,59*				
71	Folh. Inf.	13,34 - 13,53	C3				0,66*				
71	Rit. Médio	9,60 - 9,64	C3				0,02*				
60	Rit Inf	11,33 - 11,37	C2				12,77				
60	Rit Inf	11,37 - 11,41	C2				12,88				
59	Rit Inf	7,40 - 7,58	C2	2,372	87,1	5,4+					
60	Rit Inf	11,41 - 11,46	C2								2,122
70	Folh. Inf.	11,04 - 11,39	C3	2,031	4,497	0,76					
71	Folh. Inf.	13,12 - 13,34	C3	1,823	1,166	0,47					
71	Folh. Inf.	13,34 - 13,53	C3	1,977	3,239	0,46					
71	Rit. Médio	9,60 - 9,94	C3	1,765	1,373	0,27					
71	Rit. Médio	9,60 - 9,92	C3	1,672	1,570	0,35					
70	Folh. Inf	11,06 - 11,08	C3	2,043				0,489	0,412	1,0	
70	Folh. Inf	11,09 - 11,11	C3	2,050				1,741	1,267	3,0	
70	Folh. Inf	11,12 - 11,14	C3	2,085				1,421	2,133	5,0	
70	Folh. Inf	11,15 - 11,17	C3	2,195				5,758	1,671	4,0	
70	Folh. Inf	11,23 - 11,25	C3	2,142				1,718	1,671	4,0	
70	Folh. Inf	11,18 - 11,19	C3	2,251				0,546 (médio)			
59	Rit. Inf	7,30 - 7,34	C2	2,28				6,295	0,870	1,0	
59	Rit. Inf	7,36 - 7,40	C2	2,28				7,801	2,827	6,0	
60	Rit. Inf	11,51 - 11,55	C2	2,28				3,908	1,181	3,0	
60	Rit. Inf	11,55 - 11,59	C2	2,28				16,749	4,946	12,0	

\* Resultado prejudicado por rupturas não previstas no modelo

+ Calculados com base E40% c

Referências: Relatórios IHX-16v-1049-DT – Março/88

IHX-16v-1050-DT – Março/88

Obs.: 1kgf/cm<sup>2</sup> = 98,1 KN/m<sup>2</sup>.

Os seguintes pontos podem ser considerados como divergentes do esperado, na comparação entre os resultados dos Sítios Altamira e Belo Monte:

- A resistência à compressão simples nos materiais C3 dos folhelhos e ritmitos é mais baixa que o esperado, pois no Sítio Altamira tal parâmetro é da ordem de 10 vezes maior, o mesmo sendo observado quanto a relação entre os módulos de deformabilidade.
- A resistência ao cisalhamento nas amostras ensaiadas nos folhelhos C3/C4 de Belo Monte mostra seu valor residual consistentemente atingindo 22-23°. Este parâmetro situa-se bem acima do valor adotado com base nos valores mínimos observados no Sítio Altamira para esta resistência residual.

---

## UHE BELO MONTE

O mesmo critério de classificação táctil-visual foi usado tanto em Belo Monte como no Sítio Altamira. Isto pode ser confirmado através da igualdade das densidades entre as classes dos dois sítios.

Como recomendação para os estudos do Projeto Pré-Executivo pode-se citar a ampliação do número de ensaios para confirmação dos parâmetros, a comprovação de existência de horizontes C3/C4 dentre folhelhos C1/C2 e a definição de sua geometria como espessura e comprimento, através de trincheiras de inspeção.

As rochas cristalinas estão representadas predominantemente por migmatitos, gnaisses, granitos, granodioritos e cataclasitos.

O Tabela A1.6.4 apresenta os resultados dos ensaios executados em amostras coletadas em sondagens do Sítio Belo Monte.

Nesta tabela, nota-se que os valores de compressão simples, compressão diametral e abrasão Los Angeles são praticamente iguais para os três graus de foliação observados na rocha sã.

UHE BELO MONTE

Tabela A1.6.4 - Ensaios em Rochas Cristalinas

Nº CP Lab	Litologia	Profundidade	Sondagem	Medidas (cm)		Dens. Seca (ton/m³)		Porosidade (%)		Compressão Diametral			Compressão Axial						Umidade (%)		Abrasão los Angeles %	
				Ø	h	Ind.*	Média	Ind.*	Média	Ind.* (MPA)	Tempo Ruptura	Média (MPA)	Ruptura			Mod.Def.Sec (GPA)		Coeficiente Poisson		Ind.*		Média
													Ind.* (MPA)	Tempo Ruptura	Média (MPA)	Ind.*	Média	Ind.*	Média			
01	MIGMATI-TO COM POUCA FOLIAÇÃO	6,54 a 6,75	SR-64	7,56	20,94	2,66		0,33		8,441	03'20"	11,588	177,730	13'04"	147,666	80,214	84,961	0,247	0,237	0,16	0,14	23,64
02		6,75 a 6,79	SR-64	7,56	4,01	2,69		0,35														
03		16,78 a 16,99	SR-59	7,58	20,94	2,68		0,29														
04		16,99 a 17,03	SR-59	7,58	4,03	2,67	2,71	0,24	0,28													
06		26,58 a 26,79 26,79 a 26,83	SR-65 SR-65	7,55 7,55	20,87 4,00	2,77 2,80		0,28 0,16														
07	MIGMATI-TO SEM FOLIAÇÃO	10,48 a 10,69	SR-57	7,56	20,93	2,66		0,16		15,851	06'27"	12,231	194,656	12'15"	176,180	85,515	80,274	0,232	0,235	0,16	-	18,28
08		10,69 a 10,73	SR-57	7,56	4,00	2,67		0,17														
09		16,52 a 16,73	SR-69	7,57	23,90	2,64		0,50														
10		16,81 a 16,85	SR-69	7,57	3,99	2,65	2,66	0,27	0,25													
11		24,16 a 24,37	SR-25	7,57	20,90	2,65		0,22														
12	24,37 a 24,41	SR-25	7,57	4,00	2,66		0,19															
13	MIGMATI-TO COM FOLIAÇÃO	17,12 a 17,33	SR-66	7,58	20,93	2,79		0,18		11,178	04'35"	13,013	139,231	07'02"	139,385	92,420	88,207	0,253	0,285	0,08	0,09	20,70
14		17,33 a 17,37	SR-66	7,58	4,00	2,82		0,14														
15		17,90 a 18,11	SR-56A	7,59	20,88	2,72		0,22														
16		18,11 a 18,15	SR-56A	7,59	4,02	2,73	2,77	0,25	0,18													
16A		18,15 a 18,35	SR-56A	7,59	20,92	2,74		0,26														
17		24,79 a 25,00	SR-60	7,56	20,90	2,80		0,10														
18	25,00 a 25,04	SR-60	7,56	4,01	2,82		0,11															
19	MIGMATI-TO CATA-CLASADO	17,75 a 17,95	SR-25	7,56	20,97	2,50		0,98		8,512	03'15"	9,095	124,592	06'21"	131,540	60,819	70,320	0,226	0,233	0,30	0,16	27,84
20		18,97 a 19,18	SR-60	7,54	21,07	2,61		0,37														
21		20,64 a 20,68	SR-60	7,57	3,70	2,61		0,51	0,54													
22		20,68 a 20,72	SR-60	7,57	4,00	2,63		0,48														
23		20,72 a 20,92	SR-60	7,57	19,30	2,63	2,60	0,57														
24	20,92 a 20,96	SR-60	7,57	4,02	2,63		0,33															
25	MIGMATI-TO ALTE-RADO	8,84 a 9,05	SR-59	7,51	20,86	2,32		11,19		1,614	00'43"	2,546	12,185	03'02"	31,351	4,673	17,203	0,096	0,140	4,91	4,33	
26		9,05 a 9,09	SR-59	7,51	4,01	2,31		11,51														
27		9,09 a 9,13	SR-59	7,50	3,97	2,28		13,15	9,94													
28		9,14 a 9,35	SR-59	7,50	20,89	2,67	2,46	14,70														
29		17,12 a 17,33	SR-65	7,57	20,89	2,69		3,21														
30		17,33 a 17,37	SR-65	7,58	4,05	2,50		5,00														
31	CATACLA-SITO MI-LONITO	28,34 a 28,53	SR-66	7,55	18,30	2,65		0,99		8,638	03'25"	7,688							0,32			
32		28,53 a 28,57	SR-66	7,57	3,99	2,67		0,54														
33		28,57 a 28,61	SR-66	7,56	3,97	2,67		0,61	0,83													
34		28,61 a 28,65	SR-66	7,56	4,00	2,64	2,65	0,48														
35		12,24 a 12,28	SR-67	7,56	4,06	2,62		1,22														
36		12,28 a 12,32	SR-67	7,56	4,06	2,63		1,14														

SEM POSSIBILIDADE DE ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Referência: Relatório TUC-40-6449-RE \* IND. = Individual . OBS.: Estes ensaios foram realizados com amostras coletadas nas sondagens executadas no Sítio Belo Monte.



## UHE BELO MONTE

Os migmatitos cataclasados e cataclasito/milonito indicam valores semelhantes aos de rochas com características geomecânicas boas para seus usos como enrocamento. Os trechos de migmatito alterado que venham a ser encontrados nas escavações devem, entretanto ser analisados, caso a caso, para sua utilização como material natural de construção, em face da dispersão encontrada nos valores de resistência que estão relacionados à porosidade dos corpos de prova.

O maciço de fundação para as estruturas de concreto é em rocha metamórfica e, na sua caracterização geomecânica, além da resistência da rocha, prepondera a influência do fraturamento quanto a sua atitude, quanto a sua natureza e de seu material de preenchimento, se houver.

Os sistemas de fraturamento condicionam integralmente a compartimentação do maciço nos modelos geomecânicos de resistência, deformabilidade e permeabilidade.

O desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0021 mostra os traços das famílias de fraturas no plano montante-jusante para a Tomada d'Água e Casa de Força na proporção detectada pelos furos de sondagem. Os perfis longitudinais do desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0023 mostram os traços das famílias de juntas no sentido longitudinal das estruturas.

A ocorrência disseminada de fraturas em diversas direções, com espaçamento, rugosidade e persistência avaliados como sendo da mesma ordem de grandeza, induz a adoção de um modelo de maciço isotrópico quando se relaciona, ainda, o comprimento das juntas as dimensões das estruturas de concreto.

Para o cálculo dos parâmetros de resistência do maciço rochoso foi adotada a teoria de Hoek, Rankine Lecture (1983), juntamente com a base da classificação proposta por Bieniawsky (CSIR). Usando esta classificação, o maciço de Belo Monte totaliza 60 pontos, correspondentes as seguintes parcelas; 15 pontos por  $\sigma_c \cong 2.000 \text{ kgf/cm}^2$ ; 17 pontos por RQD médio  $\cong 90$ , 10 pontos correspondentes a espaçamento entre fraturas compreendido entre 5 e 30 cm; 20 pontos pode ser a análise para paredes rugosas e 7 pontos por prever-se vazão menor que 25 l/min. Quanto a orientação das descontinuidades adotou-se -9.

Tal pontuação, adotando-se as fórmulas de Hoek dentro a faixa de solitação de 2 a 20  $\text{kgf/cm}^2$ , conduz a envoltória retilínea equivalente de  $\tau = 6 + \sigma' \text{tg } 62^\circ (\text{kgf/cm}^2)$ .

Assumindo-se a possibilidade adversa de conjugação de fraturas com maciço pode-se recomendar uma envoltória inferior como  $\tau = 5 + \sigma' \text{tg } 53^\circ (\text{kgf/cm}^2)$  para o maciço e descontinuidades.

Para deformabilidade foi adotado o módulo de deformação  $E = 35 \text{ GPa}$ , com base na velocidade média de propagação da onda compressiva,  $V_p = 6.000 \text{ m/s}$ , obtida para o maciço através de sísmica de refração. Para coeficiente de Poisson adotou-se o valor de  $\nu = 0,25$ .

A compartimentação do maciço quanto ao fraturamento mostra uma incidência de juntas inclinadas para jusante próximo aos primeiros oito blocos da direita, porém, apenas na zona que será removida nas escavações para a Casa de Força.

## UHE BELO MONTE

O gráfico de permeabilidade apresentado no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0022 mostra os parâmetros de permeabilidade do maciço com relação à profundidade dos furos.

### 6.4. DIQUES

Não fez parte do escopo do Projeto Básico a investigação extensiva das fundações dos diques através de ensaios geotécnicos de laboratório, tendo sido realizados apenas alguns ensaios para aferição/complementação dos parâmetros adotados em função dos dados obtidos para o Sítio Belo Monte.

Os diques do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte serão, na sua grande maioria, implantados em região de rochas cristalinas. Apenas os DIK-03 e DIK-04 estão totalmente localizados em região de rochas sedimentares, e os DIK-6A, DIK-6B, DIK-6C e DIK-7A, parcialmente. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0016, apresenta as investigações efetuadas nos eixos dos diques e o desenhos BEL-B-BM-DE-BTE-100-0005 e a Tabela A1.6.6, além destas informações, mostram também as investigações efetuadas em algumas áreas de empréstimo.

#### 6.4.1 Diques Implantados em Rochas Cristalinas

Os diversos materiais que compõem a fundação dos diques localizados em rochas cristalinas do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte foram classificados pela sua origem e descritos a seguir:

##### Aluvião

Os sedimentos aluvionares, ou simplesmente aluviões, restringem-se às regiões de baixadas dos diques de maior altura. São facilmente identificáveis nas fotografias aéreas devido à cobertura vegetal característica.

Estes sedimentos encontram-se depositados diretamente sobre o solo de alteração de migmatito ou de cataclasitos/milonitos, podendo alcançar espessura de até 4 m e largura de até 150 m.

A identificação tátil-visual mostrou ser o pacote aluvionar constituído, de forma geral, de argila arenosa de baixa consistência, muito porosa, com intercalação de lentes de areia e argila.

Devido a grande heterogeneidade deste material e, portanto, dificuldade de obtenção de amostras representativas, não foi elaborado um programa de ensaios para a obtenção de seus parâmetros de resistência, deformabilidade e permeabilidade.

Desta forma, para a análise de estabilidade dos diques, foram adotados dois conjuntos de dados, definidos da seguinte forma:

- materiais mais argilosos  
 $c' = 0,10 \text{ kgf/cm}^2$  ,  $\phi' = 25^\circ$  e  $\gamma_{\text{nat}} = 1,60 \text{ tf/m}^3$
- materiais mais arenosos  
 $c' = 0 \text{ kgf/cm}^2$  ,  $\phi' = 30^\circ$  e  $\gamma_{\text{nat}} = 1,60 \text{ tf/m}^3$

## UHE BELO MONTE

### Coluvião

O coluvião ocorre sobreposto aos solos residuais e, em alguns casos, diretamente sobre os solos de alteração. Ocorre na superfície, recobrindo o cume dos morrotes e, também, na região central dos diques, onde não há ocorrência de aluviões. Sua espessura, em alguns casos, chega a atingir 3,0 m, mas em geral, é de 1,5 m. É originado do transporte dos solos da própria região, que são resultantes da alteração das rochas locais, tais como o migmatito, o granito porfirítico ou, ainda, os cataclasitos/milonitos.

A análise táctil-visual identificou o material como sendo constituído, de forma geral, por areias, siltes e argilas, misturados em diversas proporções. Em algumas regiões, há a presença de grânulos de quartzo e laterita. Tem compactidade variando de baixa a alta, é normalmente poroso, apresenta um grande número de canaliculos submilimétricos e outros canaliculos maiores, de até 3 mm de diâmetro, de provável origem radicular. Em alguns diques, no contato com o solo residual, foi notada a ocorrência de uma linha de seixos de espessura variável de 10 a 30 cm, composta por uma camada de cascalho com seixos de quartzo e/ou laterita, preenchida ou não por material siltoso.

Em algumas encostas, em superfície, há a ocorrência de blocos de rocha de dimensões de até 3 m, envolvidos parcialmente pelos coluviões.

Os parâmetros adotados para as análises de estabilidade dos diques foram  $c' = 0 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\phi' = 27^\circ$  e  $\gamma_{\text{nat}} = 1,75 \text{ tf/m}^3$ , conforme mostrado no desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0052.

### Solo Residual

Os solos residuais ocorrem, normalmente, sotopostos aos coluviões. São originados das rochas existentes na região, tais como migmatitos, granitos e cataclasitos/milonitos.

Foram identificados táctil-visualmente como siltes areno-argilosos, com maiores e menores proporções de areia ou argila, compactidade variando de muito compacta a medianamente compacta, dependendo, em geral, do grau de laterização.

Há, nos solos residuais, a presença esparsa e localizada de zonas de até 30 cm de diâmetro, constituídas de material siltoso fofo e com grande quantidade de poros.

Os solos residuais apresentam espessuras variando de 1 a 5 m, sendo que a passagem para o solo de alteração ocorre de forma gradativa, não havendo um horizonte claramente definido de separação entre os dois materiais.

A partir dos dados obtidos para o Sítio Belo Monte e do Sítio Bela Vista (antigo Juruá) foram adotados os seguintes parâmetros para projeto, em função da laterização observada:

- solos laterizados  
 $c' = 0,30 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\phi' = 29^\circ$  e  $\gamma_{\text{nat}} = 1,80 \text{ tf/m}^3$
- solos pouco laterizados  
 $c' = 0,20 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\phi' = 28^\circ$  e  $\gamma_{\text{nat}} = 1,80 \text{ tf/m}^3$

## UHE BELO MONTE

### Solos de Alteração

Os solos de alteração, quando sotopostos aos solos residuais, não possuem a interface superior claramente definida, pois a passagem se dá de forma gradual, de um solo mais maduro para um mais jovem. Os solos de alteração capeiam o topo rochoso e originam-se das rochas da região, tais como migmatitos, granitos e cataclasitos/milonitos.

Através de identificação táctil-visual, constatou-se que eles são constituídos, em sua maioria, de siltes arenosos e, em alguns casos, de areias siltosas, pouco argilosas.

A compacidade varia de medianamente compacta a compacta com raros casos de muito compacta, posicionadas na parte superior do pacote, devido à laterização.

Há ocorrência de blocos de rocha de até 1 m de diâmetro, remanescentes de um processo de alteração ainda não totalmente desenvolvido.

Os solos de alteração apresentam espessuras variando de 2 a 5 m. Em alguns casos, há presença de poros de até 2 mm de diâmetro.

A partir de ensaios executados para o Sítio Belo Monte e para o antigo barramento Juruá, foram adotados os seguintes parâmetros para o estudo de estabilidade:  $c' = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\phi = 28^\circ$  e  $\gamma_{\text{nat}} = 1,80 \text{ tf/m}^3$ . Estes valores representam a média das envoltórias para estes solos, que estão apresentadas no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0036.

Devido à presença de canalículos encontrados na região dos diques do antigo barramento do Juruá, aspectos relativos à colapsibilidade, compressibilidade e permeabilidade deverão ser objeto de estudos mais aprofundados nas fases posteriores do projeto.

### 6.4.2 Diques Implantados em Rochas Sedimentares

Para o caso dos DIK-03, DIK-04, DIK-6A, DIK-6B, DIK-6C e DIK-7A, implantados em região de rochas sedimentares, os solos foram classificados pela sua origem e são descritos a seguir:

#### Coluvião

O coluvião ocorre na superfície, recobrindo os cumes dos morrotes e, também, nas regiões dos vales, onde não há ocorrência de aluviões. É resultante do transporte dos solos oriundos da alteração das rochas da própria região.

Nos DIK-03 e DIK-04, o coluvião apresenta espessura de até 2 m e ocorre diretamente sobre os solos residuais de arenitos e folhelhos. Nos DIK-6A e DIK-6B ocorre sobre os solos residuais dos ritmitos e nos DIK-6C e DIK-7A, sobre solos residuais dos arenitos Manacapuru, com espessuras também de até 2 m.

A análise táctil-visual identificou o material como sendo constituído, em sua maioria, por siltes argilosos a areno-siltosos, pouco compactos, com ocorrência, em algumas encostas, de blocos centimétricos de arenitos limonitizados.

Não foi elaborado programa específico para a obtenção de parâmetros de resistência, deformabilidade e permeabilidade para esses colúvios. Desta forma, para a análise de estabilidade foram adotados  $c' = 0,10 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\phi = 29,5^\circ$  e  $\gamma_{\text{nat}} = 1,70 \text{ tf/m}^3$ , com base em dados obtidos para o coluvião do Sítio Belo Monte proveniente do solo

## UHE BELO MONTE

residual de folhelho. Para o colúvio oriundo dos arenitos, os ensaios realizados mostraram valores de  $c' = 0,07 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\phi = 33^\circ$  e  $\gamma_{\text{nat}} = 1,60 \text{ tf/m}^3$ . As envoltórias para estes colúvios são apresentadas nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0030 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0033.

### Solo Residual

O solo residual normalmente encontra-se sotoposto ao colúvio.

Nos DIK-03, DIK-04, DIK-6A e DIK-6B a identificação táctil-visual constatou que os solos são constituídos de argilas siltosas de consistência dura, com poucos canalículos e espessuras máximas de 5 m. Já para os DIK-6C e DIK-7A, verificou-se que são constituídos predominantemente por areia, pouco siltosa, variando de pouco compacta a muito compacta e espessuras de até 15 m.

A partir de ensaios realizados para o Sítio Belo Monte, foram adotados os seguintes parâmetros para o estudo de estabilidade:

- DIK-03, DIK-04, DIK-6A e DIK-6B (solo residual de folhelho/ritmito)

- Resistência Residual

$$c' = 0 \text{ kgf/cm}^2, \phi' = 11^\circ \text{ e } \gamma_{\text{nat}} = 2,01 \text{ tf/m}^3$$

- Resistência de Pico

$$c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2, \phi' = 18^\circ \text{ e } \gamma_{\text{nat}} = 2,01 \text{ tf/m}^3$$

- DIK-6C e DIK-7A (solo residual de arenito)

$$c' = 0 \text{ kgf/cm}^2, \phi' = 35^\circ \text{ e } \gamma_{\text{nat}} = 2,10 \text{ tf/m}^3$$

Para o solo residual do folhelho/ritmito, as envoltórias (residual e pico) são apresentadas no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0031. Para o solo residual de arenito, a envoltória apresentada foi adotada para os cálculos de estabilidade. Posteriormente, com a execução de ensaios, observou-se que os valores adotados foram conservadores (ver desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0034).

## 7. MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO

### 7.1. SÍTIO PIMENTAL

A pesquisa dos materiais naturais de construção para este sítio foi conduzida levando-se em conta os diferentes materiais existentes, suas localizações em relação às obras e os volumes disponíveis. No desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0012 estão indicadas as localizações e estimativas de volumes destas fontes de materiais naturais de construção.

#### 7.1.1 Solo

A pesquisa em solo compreendeu a investigação do solo de alteração de migmatito e areia e argila aluvionares, conforme discriminado a seguir:

## UHE BELO MONTE

### Solo de Alteração de Migmatito

As áreas de empréstimo de solo de alteração de migmatito estão localizadas nas ombreiras e elevações próximas. Das 3 áreas investigadas no sítio, as áreas Ia e Ib localizam-se na margem direita, e a área II na margem esquerda.

As sondagens a trado de diâmetro 4" executadas no solo de alteração de migmatito foram limitadas a profundidades de até 13 m, muito embora sejam estimadas espessuras de até 30 m para este material no alto das elevações e encostas. Sua granulometria é de areia silto-argilosa a silte argilo-arenoso, pouco micáceo, em geral com fragmentos esparsos de quartzo e feldspato pouco alterado de tamanho centimétrico, vermelho e amarelo-esbranquiçado, variegado.

Nas áreas estudadas, eventualmente aparece uma cobertura superficial de coluvião não contínua e com espessura média de 1 m, representado em geral, por uma argila arenosa marrom amarelada, porosa, com muitos fragmentos de quartzo e laterita de tamanho milimétrico a centimétrico. Este material foi englobado na cubagem do solo de alteração de migmatito.

Uma feição marcante no sítio é a ocorrência de blocos de migmatito (matacões) de concentrações aleatoriamente distribuídas ao longo dos morros e baixadas, cuja delimitação é de grande importância nas estimativas dos volumes e na escolha dos equipamentos a serem utilizados na exploração das áreas de empréstimo de solo.

A análise dos dados do mapeamento geológico-geotécnico permitiu a delimitação de áreas com pouca ocorrência de blocos em superfície, denominada Classe I, em relação a áreas com maiores concentrações, Classes II, III e IV. Na estimativa final dos volumes dos solos em cada área do projeto, a utilização das porções mapeadas como Classe I, foi efetuada supondo-se que as feições de subsuperfície, quanto à ocorrência de blocos, sejam semelhantes às de superfície.

Nas amostras de solo de alteração de migmatito, não foram programados ensaios geotécnicos de laboratório, uma vez que na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, os solos de alteração de migmatito identificados nos Sítios Belo Monte, Bela Vista e nas regiões dos diques foram objeto de intensa campanha de ensaios laboratoriais, conforme mostrado nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0036 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0050.

### Solo Argilo Siltoso Aluvionar

Foram estudadas cinco áreas do material aluvionar argiloso presente nas ilhas Marciana, Pimental, do Meio, do Canteiro e do Forno, localizadas imediatamente a montante do eixo de barramento.

Em todos estes locais foram executadas sondagens a trado com diâmetro de 10 cm que atravessaram a camada de solo aluvionar, com espessuras variando de 1,5 a 4,0 m. Em cada furo foram coletadas amostras de solo de metro em metro para análise tátil-visual e classificadas quanto a sua origem geológica.

A cobertura aluvionar presente nas ilhas citadas é constituída, predominantemente, por uma camada superior com espessuras variando entre 1,5 a 2,5 m de argila siltosa, cinza amarelada, sotoposta a camada de areia fina a média, com eventual percentagem de areia grossa, lavada. A utilização prevista é da camada superior que apresentou, no local ensaiado (poço PI-501), LL= 59,5 % e IP= 22,2 %, denotando a

## UHE BELO MONTE

característica de alta plasticidade do material. No ensaio de compactação obteve-se  $\gamma_s$  Max= 1,38 gf/cm<sup>3</sup> e  $w_p$ = 30,5 %. Em bloco indeformado coletado neste solo determinou-se massa específica aparente seca de 1,32 gf/cm<sup>3</sup> indicando o estado relativamente compacto do material em sua condição "in situ". Como as ilhas da calha do rio Xingu sofrem inundação nos períodos de cheias, efetuou-se um acompanhamento da variação da umidade desse solo em período posterior à passagem da cheia (ver Figura A1.7.1), verificando-se que rapidamente são restabelecidas as condições para a sua utilização.

### Areias e Cascalhos

Para o estudo de areias e cascalhos foram investigadas e caracterizadas sete ocorrências existentes no rio Xingu, denominadas de jazidas A a G, localizadas num raio de 4 km em relação ao eixo do barramento.

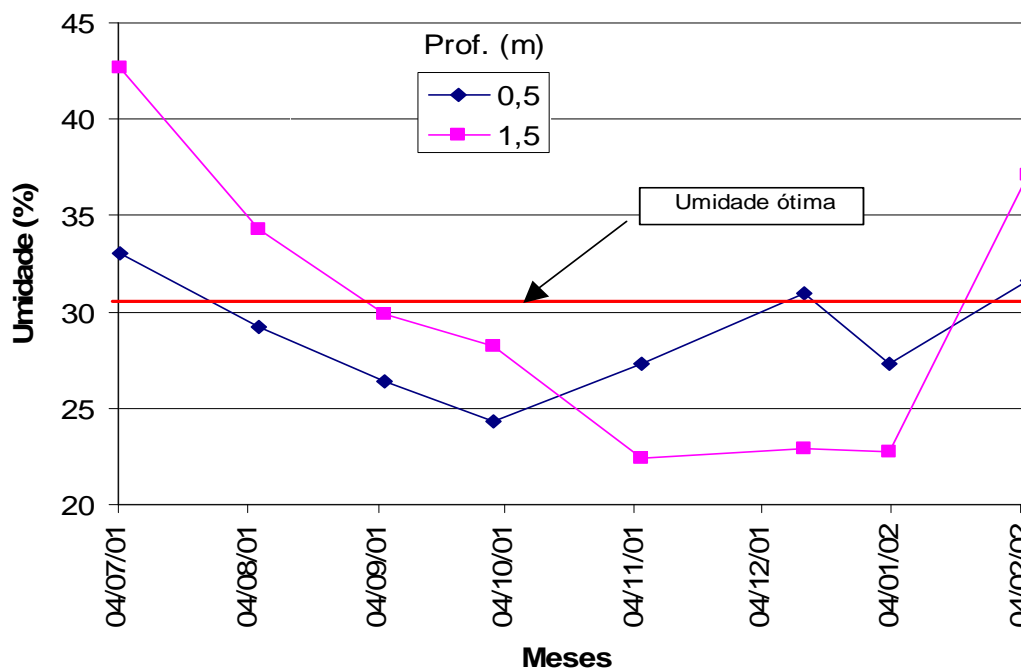
As investigações foram realizadas através de sondagens a percussão de diâmetro de 6", visando determinar suas espessuras e coletar amostras para a execução de ensaios de laboratório.

As amostras representativas dessas jazidas foram ensaiadas quanto à granulometria e permeabilidade, e quanto à sua utilização como agregado miúdo para concreto. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0013 contém os resultados destes ensaios.

Os ensaios visando o uso como agregado para concreto indicam a boa qualidade do material, com baixos níveis de matéria orgânica, material pulverulento e de absorção. Os ensaios para a determinação da reatividade potencial, método químico, indicaram o agregado como inócuos. Os ensaios acelerados (ASTM-C-1260/94) indicaram expansões inferiores a 0,10 % aos 16 dias, porém com valores de aproximadamente 0,20 % aos 23 dias, o que sugere que seja recomendável a utilização de cimentos com adição de pozolana.

Já para a utilização destas areias como filtro e transições para as obras de terra, as mesmas se apresentam com excelente qualidade, com coeficiente de permeabilidade de  $8 \times 10^{-2}$  cm/s quando moldados à compactidade relativa de CR= 60 %, e granulometria predominante de areia média. Não foram observadas ocorrências significativas de cascalho na área do Sítio Pimental.

Figura A1.7.1 - Variação Sazonal de Umidade – PI-501



## 7.1.2 Pedreiras

As áreas indicadas para exploração de pedreiras concentram-se prioritariamente na porção jusante das estruturas de concreto, nas imediações da Ilha do Reinaldo. Desta maneira, a pedra principal, denominada pedra 1, estará situada nesta região e dependendo das necessidades de volume, poderá ser ampliada em áreas adjacentes.

Também foram avaliadas outras quatro áreas, todas a montante do barramento, sendo uma na margem direita (pedreira 2) para a implantação das ensecadeiras do canal direito, a segunda na ilha Pimental/canal do rio Xingu (pedreira 3), para utilização do material rochoso na proteção dos taludes de montante e de jusante (rip-rap) da barragem de terra lateral esquerda, a terceira na porção montante da ilha da Serra (pedreira 4), para a ensecadeira da calha central e a quarta na margem esquerda (pedreira 5) para a construção da ensecadeira do canal da margem esquerda.

Dada a relativa homogeneidade litológica e estrutural das rochas existentes na região, para a caracterização geomecânica das rochas destas pedreiras foram aproveitados os parâmetros dos ensaios executados em testemunhos de sondagens rotativas obtidos nos estudos da 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade no Sítio Belo Monte e Bela Vista (antigo Juruá), conforme resultados apresentados nas Tabelas A1.6.1 e A1.6.5. Para os estudos do Projeto Pré-Executivo recomenda-se a execução de ensaios nestes materiais para aferição dos valores empregados nesta fase.

Todas as áreas indicadas para pedreiras situam-se no domínio dos migmatitos pertencentes ao Complexo Xingu, sendo esperada a obtenção de blocos de tamanhos variados, em função da compartimentação do maciço e do plano de fogo adotado.



## UHE BELO MONTE

Blocos de grandes dimensões, destinados à utilização nas fases críticas do desvio do rio e para proteção de taludes também poderão ser obtidos nas áreas indicadas.

### 7.2. CANAL DE ADUÇÃO

Os materiais terrosos e pétreos a serem utilizados no Canal de Adução serão obtidos das suas escavações obrigatórias. Devido a similaridade geológica e geotécnica destes materiais em relação aos existentes nas demais áreas estudadas durante a 1ª-Etapa dos Estudos de Viabilidade, pode ser conferido a estes materiais, o mesmo comportamento geotécnico adotado anteriormente.

Os materiais granulares (areia) a serem empregados nesta estrutura, localizam-se na calha do rio Xingu em duas áreas denominadas H e I, situadas nas imediações da entrada do canal. Ocupam extensas áreas superficiais e nesta fase não foram investigadas por meio de sondagens mecânicas, sendo os seus volumes apenas estimados. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0012 mostra a localização destas áreas com os seus respectivos volumes.

Recomendam-se, para a fase de Projeto Pré-Executivo, as suas investigações em subsuperfície para a caracterização e cubagem dos materiais ali existentes.

Areias artificiais, obtidas no processo de britagem do migmatito, também poderão ser empregadas no preparo do concreto e como material de filtro e dreno.

Outra fonte de material granular, situada na porção sul do reservatório intermediário, denominada Jazida I, está localizada no leito do rio Xingu, a cerca de 3 km de distância do dique DIK-28, possuindo volume cubado superior a 0,4 milhões de m<sup>3</sup>. Para utilização como material em filtros e transições, a areia ensaiada apresentou coeficientes de permeabilidade adequados, com valores médios de  $2 \times 10^{-2}$  cm/s. Análises realizadas no material pesquisado indicam que, na matriz arenosa e para a curva granulométrica média, cerca de 32% é de areia fina, 48% de areia média e 8% de areia grossa. Os percentuais de cascalho encontrados ficaram na faixa de 12%.

Ainda nesta região situada ao sul do Reservatório Intermediário, foram identificadas quatro áreas potenciais para instalação de pedreiras, todas elas com ocorrência de rochas migmatíticas do Complexo Xingu. Destas, duas estão situadas junto ao trecho final do Travessão 55, e as outras na forma de lajedo, na margem esquerda do rio Xingu. Não foram realizadas sondagens para investigação e cubagem das áreas, sendo que as inspeções de campo sugerem rocha de boa qualidade geomecânica, com volumes seguramente superiores aos necessários para utilização nas diversas estruturas, como material de filtros, transições e enrocamento e agregado graúdo para concreto.

### 7.3. SÍTIO BELO MONTE

A pesquisa de materiais naturais de construção para as obras de Belo Monte foi subsidiada pelo conhecimento das áreas de ocorrência dos materiais terrosos, granulares e pétreos existentes no sítio e levou em conta os volumes disponíveis em cada local e suas distâncias em relação às obras.

Os estudos de solos compreenderam investigação com sondagens a trado (ST) Ø 4", poços e sondagens geofísicas em seis áreas de empréstimo, denominadas de A, B, C,

## UHE BELO MONTE

D, E e F, localizadas dentro de um raio de até 2,0 km em relação aos eixos das barragens.

As sondagens a trado foram limitadas a 12 m de profundidade e dispostas em malha regular com espaçamentos variáveis entre 170 m e 450 m, dependendo do tipo de solo presente, extensão e topografia da área. As sondagens geofísicas foram executadas com a finalidade de se avaliarem as espessuras dos solos abaixo das profundidades investigadas com trado, de forma a se permitir a estimativa do volume total disponível de cada área e a otimização da sua utilização nas obras. Os poços foram limitados a 7,5 m e objetivaram a retirada de amostras indeformadas para ensaios de laboratório, além de servirem à verificação "in situ" de feições de interesse geológico e geotécnico.

Em cada sondagem a trado foram coletadas amostras de 10 kg de solo de metro em metro, que depois de analisadas tátil-visualmente e classificadas geologicamente, foram selecionadas para ensaios de caracterização geotécnica.

Após a caracterização dos solos de cada área, as amostras representativas foram agrupadas para a execução de ensaios especiais com o objetivo de se determinar os parâmetros para dimensionamento das barragens.

O procedimento adotado para o agrupamento de amostras visou à reprodução em laboratório de materiais que virtualmente pudessem ser obtidos em áreas de empréstimo durante a execução das obras de terra. Dessa forma, dentro do contexto geológico local, foi considerada a possibilidade da ocorrência de mistura de materiais de diferentes classificações geológicas. Com isso, coluviões, solos residuais e solos de alteração de mesma área foram, em alguns casos, misturados para formar uma única amostra admitida como sendo típica e representativa daquela, área. Nestas condições, os parâmetros obtidos puderam ser confrontados com aqueles determinados em amostras individualizadas, inclusive de outros Sítios do Aproveitamento, permitindo uma avaliação quanto às possíveis diferenças de comportamento como materiais de empréstimo.

A localização das áreas de empréstimo de solos é apresentada no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0051, as seções geológico-geotécnicas típicas de cada área constam dos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0052 a BEL-B-BM-DE-GER-112-0059 e a caracterização geotécnica dos solos está resumida no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0050.

A pesquisa de areia e cascalho compreendeu investigações nas três maiores ocorrências de areia existentes no rio Xingu, localizadas a uma distância de até 14 km em relação ao local da Casa de Força. As investigações foram realizadas através de sondagens a percussão  $\varnothing$  de 8" em malha regular com espaçamento variável entre 150 m e 450 m em função da extensão de cada jazida, visando determinar suas espessuras e variações granulométricas.

As sondagens foram limitadas à profundidade de 10 m, com amostragem de 10 kg de metro em metro, embora com prosseguimento de algumas sondagens em  $\varnothing$  de 2<sup>1/2</sup>" abaixo desta profundidade (até 30 m), com amostragem suficiente para análise tátil-visual.

As amostras representativas de cada jazida foram ensaiadas quanto à granulometria e permeabilidade e sua utilização como agregado miúdo para concreto.

## UHE BELO MONTE

As localizações e seções típicas das jazidas são apresentadas nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0060 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0061 e os parâmetros obtidos nos ensaios geotécnicos são resumidos no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0062.

No estudo de pedreiras, considerou-se a utilização da rocha proveniente das escavações obrigatórias nas áreas dos Conduitos Forçados, Casa de Força e Canal de Fuga. Considerando os grandes volumes de rocha a serem aplicadas nas bermas de equilíbrio da BSA, BLE e BLD prevê-se um déficit no balanço de material pétreo. Entretanto, estudos mais detalhados a serem desenvolvidos nos materiais sedimentares, na fase do Projeto Pré-Executivo, deverão melhorar os parâmetros destes materiais e conseqüentemente poderá haver diminuição/eliminação das bermas de equilíbrio com conseqüente equilíbrio no balanço de materiais. Deve-se ressaltar que, volumes adicionais de rocha poderão ser obtidos com o aprofundamento do piso do canal de fuga.

Os ensaios para caracterização geomecânica dessa rocha foram realizados em testemunhos de sondagens rotativas, executadas para a investigação da fundação das estruturas, e em blocos de rocha sã coletados na superfície do terreno no mesmo local.

### 7.3.1 Solo

#### Localização e Aspectos Geológicos

Os estudos de áreas de empréstimo de solos abrangeram uma superfície total da ordem de 8 km<sup>2</sup> distribuídos ao longo das seis áreas investigadas.

Os solos que aí ocorrem estão representados por solos residuais e de alteração de migmatito e de milonito/cataclasito, solos residuais e de alteração de diabásio, solos residuais da Formação Alter do Chão, coluviões e, mais localizadamente, solos do terraço aluvionar.

O desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0051 apresenta a localização das áreas de empréstimo e das sondagens a trado executadas, bem como a distribuição dos materiais dentro de cada área.

A Tabela A1.7.1 resume a classificação dos materiais obtidos nas sondagens a trado, com a indicação da cota, profundidade e motivo da paralisação.

## UHE BELO MONTE

**Tabela A1.7.1 - Usina Belo Monte - Sondagens a Trado Executadas nas Áreas de Empréstimo**

Sondagem Número	Local	Cota da Boca (m)	Profundidade (m)	Descrição	Motivo da Paralisação
ST-01	ÁREA A	48,41	10,00	0,00 - 3,00 = CO; 3,00 - 10,00 = SADb	P.P.
ST-02	ÁREA A	58,41	10,00	0,00 - 10,00 = STac	P.P.
ST-03	ÁREA A	22,60	3,70	0,00 - 3,70 = CO	IMP.
ST-04	ÁREA A	18,60	2,50	0,00 - 2,50 = CO	IMP.
ST-05	ÁREA A	4,40	0,00	NÃO EXECUTADA	
ST-06	ÁREA A	21,28	0,00	NÃO EXECUTADA	
ST-07	ÁREA A	42,33	0,00	NÃO EXECUTADA	
ST-08	ÁREA A	68,22	10,00	0,00 - 4,40 = CO; 4,40 - 8,00 = RSDb; 8,00 - 10,00 = SADb	P.P.
ST-09	ÁREA A	48,40	10,00	0,00 - 4,60 = CO; 4,60 - 7,00 = RSDb; 7,00 - 10,00 = SADb	P.P.
ST-10	ÁREA A	41,85	0,00	NÃO EXECUTADA	
ST-11	ÁREA A	79,42	0,00	NÃO EXECUTADA, (roça de feijão)	
ST-12	ÁREA A	77,59	10,00	0,00 - 5,50 = CO; 5,50 - 7,00 = RSDb; 7,00 - 10,00 = SADb	P.P.
ST-13	ÁREA A	61,48	10,00	0,00 - 6,40 = CO; 6,40 - 10,00 = SADb	P.P.
ST-14	ÁREA A	55,90	5,40	0,00 - 3,00 = CO; 3,00 - 5,40 = RSDb	IMP.
ST-15	ÁREA A	19,26	0,00	NÃO EXECUTADA	
ST-16	ÁREA A	68,44	10,00	0,00 - 5,70 = CO; 5,70 - 10,00 = RSDb	P.P.
ST-17	ÁREA A	105,93	10,00	0,00 - 1,20 = CO; 1,20 - 3,30 = STac Ag; 3,30 - 10,00 = Stac (Ar)	P.P.
ST-18	ÁREA A	101,83	10,00	0,00 - 6,60 = CO; 6,60 - 8,40 = RSDb; 8,40 - 10,00 = SADb	P.P.
ST-19	ÁREA A	77,66	10,00	0,00 - 10,00 = CO	P.P.
ST-20	ÁREA A	65,58	10,00	0,00 - 3,10 = CO; 3,10 - 7,00 = RSDb; 7,00 - 10,00 = SADb	P.P.
ST-21	ÁREA A	31,01	0,00	NÃO EXECUTADA	
ST-22	ÁREA A	28,86	0,00	NÃO EXECUTADA (alagado)	
ST-23	ÁREA A	46,97	0,60	0,00 - 0,60 = AL	N.A. = 0,60
ST-24	ÁREA A	75,18	12,00	0,00 - 5,50 = CO; 5,50 - 10,60 = RSDb; 10,60 - 12,00 = SADb	P.P.
ST-25	ÁREA A	76,01	10,00	0,00 - 3,00 = CO; 3,00 - 6,40 = RSDb; 6,40 - 10,00 = SADb	P.P.
ST-26A	ÁREA A	47,50	3,60	0,00 - 3,60 = CO	IMP.
ST-27	ÁREA A	30,01	3,50	0,00 - 2,80 = CO; 2,80 - 3,50 = RSAr	N.A. = 3,50 m
ST-28	ÁREA A	45,65	0,90	0,00 - 0,90 = CO	IMP.
ST-29	ÁREA A	61,59	12,00	0,00 - 3,30 = CO; 3,30 - 5,90 = RSDb; 5,90 - 12,00 = SADb	P.P.
ST-30	ÁREA A	80,29	12,00	0,00 - 3,30 = CO; 3,30 - 7,20 = RSDb; 7,20 - 12,00 = SADb	P.P.
ST-31	ÁREA B	85,43	12,00	0,00 - 4,00 = CO; 4,00 - 5,90 = RSDb; 5,90 - 12,00 = SADb	P.P.
ST-32	ÁREA	54,55	3,60	0,00 - 1,40 = CO; 1,40 - 3,60 = RSFo	N.A. = 3,40 m
ST-32A	ÁREA	32,87	4,00	0,00 - 2,50 = CO; 2,50 - 4,00 = RSAr	IMP.
ST-33	ÁREA	55,01	5,50	0,00 - 4,60 = CO; 4,60 - 5,50 = SADb	IMP.
ST-34	ÁREA	56,57	7,00	0,00 - 5,60 = CO; 5,60 - 7,00 = RSAr	IMP.
ST-35	ÁREA A	112,23	12,00	0,00 - 3,30 = CO; 3,30 - 5,80 = RSDb; 5,80 - 12,00 = SADb	P.P.
ST-36	ÁREA B	110,33	12,00	0,00 - 6,50 = CO; 6,50 - 7,80 = RSDb; 7,80 - 12,00 = SADb	P.P.
ST-37	ÁREA B	108,33	12,00	0,00 - 2,00 = CO; 2,00 - 5,80 = RSDb; 5,80 - 12,00 = SADb	P.P.
ST-38	ÁREA	59,01	2,10	0,00 - 2,10 = CO	N.A. = 1,80m
ST-38A	ÁREA	41,22	3,00	0,00 - 2,70 = CO; 2,70 - 3,00 = RSAr	IMP.
ST-39	ÁREA	78,73	8,50	0,00 - 1,70 = CO; 1,70 - 8,50 = RSAr	IMP.
ST-40	ÁREA B	125,53	12,00	0,00 - 5,50 = CO; 5,50 - 10,30 = STac; 10,30 - 12,00 = SADb	P.P.

# NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato  
CREA-MG 16.918/D  
Diretor de Construção

## UHE BELO MONTE

Sondagem Número	Local	Cota da Boca (m)	Profundidade (m)	Descrição	Motivo da Paralisação
ST-41	ÁREA	76,35	0,80	0,00 - 0,80 = CO	IMP.
ST-42	ÁREA B	129,71	6,50	0,00 - 4,80 = STacAg; 4,80 - 6,50 = STacAr	IMP.
ST-43	ÁREA B	100,90	9,10	0,00 - 4,30 = CO; 4,30 - 5,80 = RSDb; 5,80 - 9,10 = SADb	IMP.
ST-44	ÁREA B	119,23	1,70	0,00 - 1,7 = CO	IMP.
ST-45	ÁREA B	141,31	12,00	0,00 - 10,00 = STacAG; 10,00 - 12,00 = STacAr	P. P.
ST-46	ÁREA	110,18	12,00	0,00 - 4,00 = CO; 4,00 - 9,00 = RSDb; 9,00 - 12,00 = SADb	P. P.
ST-47	ÁREA B	127,73	4,50	0,00 - 1,00 = CO; 1,00 - 4,50 StacAg	IMP.
ST-48	ÁREA B	120,65	3,30	0,00 - 2,70 = CO; 2,70 - 3,30 RSAr	IMP.
ST-49	ÁREA B	122,11	3,50	0,00 - 3,50 = CO	IMP.
ST-50	ÁREA B	127,01	0,40	0,00 - 0,40 = CO	IMP.
ST-51	ÁREA B	131,89	5,60	0,00 - 3,80 = CO; 3,80 - 5,60 Stac	IMP.
ST-52	ÁREA B	127,32	1,00	0,00 - 1,00 = CO	IMP.
ST-53	ÁREA	111,17	0,60	0,00 - 0,60 = CO	IMP.
ST-54	ÁREA B	110,22	4,60	0,00 - 4,60 = CO	IMP.
ST-55	ÁREA B	138,96	11,30	0,00 - 5,70 = Stac(Ag); 5,70 - 11,30 = Stac(Ar)	IMP.
ST-56	ÁREA B	102,76	2,00	0,00 - 2,00 = CO	IMP.
ST-57	ÁREA B	93,57	0,50	0,00 - 0,50 = CO	IMP.
ST-58	ÁREA B	146,89	12,00	0,00 - 4,50 = Stac(Ag); 4,50 - 12,00 = Stac(Ar)	P. P.
ST-59	ÁREA B	145,13	12,00	0,00 - 8,70 = Stac(Ag); 8,70 - 12,00 = Stac(Ar)	P. P.
ST-60	ÁREA B	116,31	0,70	0,00 - 0,70 = CO	IMP.
ST-61	ÁREA B	130,87	9,60	0,00 - 3,00 = CO; 3,00 - 4,40 = Stac; 4,40 - 9,60 RSAr	IMP.
ST-62	ÁREA B	104,91	0,50	0,00 - 0,50 = CO	IMP.
ST-63	ÁREA C	88,23	4,10	0,00 - 2,00 = CO; 2,00 - 4,10 RSrt	IMP.
ST-64	ÁREA C	146,41	9,00	0,00 - 1,50 = CO = 1,50 - 9,00 = Stac(Ar)	IMP.
ST-65	ÁREA C	165,90	9,00	0,00 - 1,70 = CO = 1,70 - 3,50 = Stac(Ag); 350 - 9,00 = Stac(Ar)	IMP.
ST-66	ÁREA C	117,88	1,20	0,00 - 1,20 = CO	IMP.
ST-67	ÁREA C	95,97	3,60	0,00 - 1,20 = CO; 1,20 - 3,60 = RSFo	IMP.
ST-68	ÁREA C	89,69	2,40	0,00 - 2,40 = CO	IMP.
ST-69	ÁREA C	125,02	9,00	0,00 - 3,50 = CO; 3,50 - 9,00 = RSAr	IMP.
ST-70	ÁREA C	113,36	3,00	0,00 - 3,00 = CO	IMP.
ST-71	ÁREA C	87,14	10,00	0,00 - 1,90 = CO; 1,90 - 10,00 = RSrt	P. P.
ST-72	ÁREA D	26,56	4,50	0,00 - 1,00 = CO; 1,00 - 4,50 = SAMg	N. A. = 4,50 m
ST-73	ÁREA D	39,85	10,00	0,00 - 2,00 = CO; 2,00 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-74	ÁREA D	37,43	9,00	0,00 - 3,00 = CO; 3,00 - 9,00 = SAMg	N. A. = 9,00 m
ST-75	ÁREA D	61,76	2,60	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 2,60 = SAMg	IMP.
ST-76	ÁREA D	70,32	9,00	0,00 - 0,60 = CO; 0,60 - 1,50 = RSMg; 1,50 - 9,00 = SAMg	N. A. = 9,00 m
ST-77	ÁREA D	73,00	10,00	0,00 - 0,70 = CO; 0,70 - 2,00 = RSMg; 2,00 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-78	ÁREA D	34,59	8,00	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 1,50 = RSMg; 1,50 - 8,00 = SAMg	IMP.
ST-79	ÁREA D	36,81	10,00	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 2,50 = RSMg; 2,50 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-80	ÁREA D	65,98	2,00	0,00 - 2,00 = CO	IMP.
ST-81	ÁREA D	101,63	9,00	0,00 - 0,70 = CO; 0,70 - 9,00 = RSrt	IMP.
ST-82	ÁREA D	55,60	9,00	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 2,50 = RSMg; 2,50 - 9,00 = SAMg	IMP.
ST-83	ÁREA D	81,70	10,00	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 1,80 = RSCat; 1,80 - 10,00 = SACat	P. P.

# NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato  
CREA-MG 16.918/D  
Diretor de Construção

## UHE BELO MONTE

Sondagem Número	Local	Cota da Boca (m)	Profundidade (m)	Descrição	Motivo da Paralisação
ST-84	ÁREA D	46,50	10,00	0,00 - 0,70 = CO; 0,70 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-85	ÁREA D	58,60	9,00	0,00 - 2,80 = CO; 2,80 - 7,00 = RSMg; 7,00 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-86	ÁREA E	33,00	2,50	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 2,50 = SAMg	IMP.
ST-87	ÁREA E	27,50	7,50	0,00 - 1,00 = CO; 1,00 - 4,50 = RSCat; 4,50 - 7,50 = SAMg	IMP.
ST-88	ÁREA E	42,41	0,50	0,00 - 0,50 = CO	IMP.
ST-89	ÁREA E	49,08	10,00	0,00 - 1,20 = CO; 1,20 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-90	ÁREA E	40,59	8,50	0,00 - 1,50 = CO; 1,50 - 8,50 = SAMg	N. A. = 8,50 m
ST-91	ÁREA E	58,85	10,00	0,00 - 2,50 = CO; 2,50 - 10,00 = SACat	P. P.
ST-92	ÁREA E	67,42	0,00	NÃO EXECUTADA	
ST-93	ÁREA E	79,52	4,50	0,00 - 2,50; 2,50 - 4,50	IMP.
ST-94	ÁREA E	41,91	2,00	0,00 - 2,00 = CO	IMP.
ST-95	ÁREA E	38,01	10,00	0,00 - 0,70 = CO; 0,70 - 10,00 = SACat	N. A. = 10,00 m
ST-96	ÁREA E	73,93	2,20	0,00 - 2,20 = CO	IMP.
ST-97A	ÁREA E	100,10	6,70	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 6,70 = SAMg	IMP.
ST-98	ÁREA E	106,38	2,00	0,00 - 1,50 = CO; 0,80 - 6,70 = SAMg	IMP.
ST-99	ÁREA E	51,16	0,50	0,00 - 0,50 = CO	IMP.
ST-100	ÁREA E	34,74	3,40	0,00 - 1,40 = AL; 1,40 - 3,40 = SAMg	N. A. = 3,20 m
ST-101	ÁREA E	38,71	2,50	0,00 - 2,50 = AL	N. A. = 2,40 m
ST-102	ÁREA E	57,33	2,80	0,00 - 0,60 = CO; 0,60 - 2,80 = SAMg	N. A. = 2,80 m
ST-103	ÁREA E	58,08	4,00	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 4,00 = SAMg	N. A. = 4,00 m
ST-104	ÁREA E	43,39	4,30	0,00 - 1,30 = CO; 1,30 - 2,00 = RSMg; 2,00 - 4,30 = SAMg	N. A. = 4,30 m
ST-105	ÁREA E	37,01	3,00	0,00 - 1,40 = AL; 1,40 - 3,00 = SAMg	N. A. = 3,00 m
ST-106B	ÁREA F	39,60	10,00	0,00 - 0,50 = CO; 0,50 - 2,00 = RSMg; 2,00 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-107	ÁREA F	60,87	8,50	0,00 - 4,50 = CO; 4,50 - 8,50 = RSRt;	N. A. = 8,50 m
ST-108	ÁREA F	73,38	12,00	0,00 - 2,80 = CO; 2,80 - 7,30 = RSMg; 7,30 - 12,00 = SAMg	P. P.
ST-109A	ÁREA F	40,90	10,00	0,00 - 3,50 = 3,50 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-110	ÁREA F	48,96	6,00	0,00 - 2,40 = CO; 2,40 - 4,00 = SACat; 4,00 - 6,00 = SAMg	N. A. = 6,00 m
ST-111	ÁREA D	88,65	6,00	0,00 - 2,00 = CO; 2,00 - 6,00 = SRAr	IMP.
ST-112	ÁREA D	46,77	4,30	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 3,40 = RSRt; 3,40 - 3,70 = SAMg	IMP.
ST-113	ÁREA D	33,80	3,70	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 3,70 = SAMg	IMP.
ST-114	ÁREA D	34,62	5,60	0,00 - 1,00 = CO; 1,00 - 5,50 = RSRt; 5,50 - 5,60 = SAMg	IMP.
ST-115	ÁREA D	7,72	1,10	0,00 - 1,10 = AL	IMP.
ST-116	ÁREA D	14,07	4,00	0,00 - 1,00 = TF; 1,00 - 2,80 = RSMg; 2,80 - 4,00 = SAMg	N. A. = 3,80 m
ST-117C	ÁREA D	23,06	10,00	0,00 - 0,80 = CO; 0,80 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-118B	ÁREA D	10,80	5,00	0,00 - 0,70 = AL; 0,70 - 1,20 = RSMg; 1,20 - 5,00 = SAMg	N. A. = 4,60 m
ST-119	ÁREA D	16,38	10,00	0,00 - 0,50 = CO; 0,50 - 10,00 = SAMg	P. P.
ST-120	ÁREA D	15,04	6,00	0,00 - 4,00 = TF; 4,00 - 6,00 = RSRt	IMP.
ST-121	ÁREA D	17,36	5,30	0,00 - 4,80 = TF; 4,80 - 5,30 = RSRt	IMP.
ST-122	ÁREA D	7,40	4,10	0,00 - 2,10 = AL; 2,10 - 4,10 = RSRt	N. A. = 3,90 m

MOTIVOS DA PARALISAÇÃO: - P. P. PARALISAÇÃO PROGRAMADA;

IMP. IMPENETRÁVEL A SONDAAGEM A TRADO

N. A. ATINGIU O LENÇOL FREÁTICO

NOTAS: 1) As sondagens a trado que não atingiram 5 m de profundidade, foram repetidas até três vezes, sendo indicada na tabela a ST mais profunda.

## UHE BELO MONTE

2) Nos locais das sondagens a trado ST-19, ST-30, ST-42, ST-51, ST-58, ST-83 e ST-117 foram executados poços de inspeção, com a retirada de amostras deformadas para ensaios de laboratório.

A Tabela A1.7.2 apresenta os volumes das áreas de empréstimo por tipo de solo, com a indicação das espessuras médias consideradas.

**Tabela A1.7.2 - Usina Belo Monte - Áreas de Empréstimo**

Área	Litologia	Espessura Média (m)	Área por Litologia (x10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	Volume x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
A	CO	3,0	1.365	4.095
	STac(Ag)	3,0	55	165
	STac(Ar)	6,5	110	715
	RS/SADb	8,5	1.200	10.200
				15.175
B	CO	1,5	930	1.395
	STac(Ag)	4,5	300	1.350
	STac(Ar)	5,5	250	1.375
				4.120
B (divisor-ombreira esquerda da BSA)	CO	1,0	630	630
	STac(Ar)	8,0	450	3.600
				4.230
C	CO	2,5	325	812
	STac(Ag)	9,0	40	360
				1.172
D	CO	1,5	1.580	2.370
	AL	1,5	360	540
	TF	2,0	150	300
	SAMg	6,5	1.580	10.270
				13.480
E	CO	1	1.500	1.500
	AL	1,5	350	525
	SAMgCat (s/ matacão)	7	1.500	10.500
	SAMgCat (c/ matacão)	3	380	1.140
				13.665
F	CO	2,5	440	1.100
	RSAr	8,0	170	1.360
	SAMg	9,0	270	2.430
				4.890
TOTAL		7,1	8.010	56.732

- Área "A"

A área "A" situa-se a jusante da ombreira esquerda da barragem do Santo Antônio (BSA), ocupando uma ampla elevação entre as cotas 40 m e 130 m, desenvolvida na soleira de diabásio existente entre os igarapés Santo Antônio e Santa Helena.

Com uma superfície em torno de 1,3 km<sup>2</sup> caracteriza-se pela ocorrência em quase toda a sua extensão de solo residual e de alteração de diabásio, capeados por

## UHE BELO MONTE

espesso coluvião, apresentando ainda, acima da cota 90 m, solos residuais dos sedimentos da Formação Alter do Chão.

Nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0052 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0053 são apresentadas as seções geológico-geotécnicas típicas da Área "A".

O coluvião (CO) constitui a cobertura superficial de toda área, com espessura variável entre 1 m e 6 m, sendo constituído por argila silto-arenosa, vermelha escura amarronzada, com grãos médios a grossos de quartzo, concreções limoníticas e seixos de quartzito esparsos e, freqüentemente, com um horizonte de seixos e lateritas na base. Nas cotas mais elevadas, apresenta coloração marrom amarelada e granulometria mais arenosa, chegando a uma argila areno-siltosa, devido à maior proximidade com a fonte de material granular dos sedimentos da Formação Alter do Chão.

O solo residual maduro de diabásio (RSDb) que ocorre sob a cobertura coluvionar tem espessura bastante variável, chegando a atingir 4,0 m em algumas sondagens. Sua cor é vermelho escuro, homogêneo, apresentando granulometria semelhante à do coluvião, mas com um pequeno decréscimo na fração argila e aumento em silte. Sua compactidade é também variável ao longo do perfil, podendo apresentar camadas de solo bastante compacto e com torrões subcentimétricos duros.

O RSDb passa transicionalmente, em torno de 6 a 8 m de profundidade, ao solo de alteração (SADb) que difere tátil-visualmente do anterior pela sua coloração variegada nas matizes vermelho, branco, amarelo e roxo. O SADb tem granulometria de silte argilo-arenoso semelhante ao solo residual e foi investigado apenas até a profundidade de 12 m. Entretanto, as sondagens geofísicas realizadas nas seções A2 e A3 revelaram espessuras superiores a 15 m para estes solos, conforme desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0053.

O solo residual da Formação Alter do Chão (STac) ocorre capeando os solos de diabásio, restringindo às porções mais elevadas da área, acima da cota 90 m. Este solo atinge cerca de 12 m de espessura e apresenta, basicamente, duas constituições granulométricas diversas. Na porção central da área é constituído por areia argilo-siltosa, vermelho amarelada (STac Ar) e na porção limítrofe com a Área "B" é constituído de argila areno-siltosa vermelha, marrom e amarela, variegada (STac Ag).

Nas bordas da Área "A", em torno das cotas mais baixas, os solos de diabásio fazem contato com os solos residuais das rochas sedimentares, representadas pelos ritmitos da Formação Trombetas na vertente do igarapé Santo Antônio e por arenitos da Formação Maecuru na vertente do igarapé Santa Helena. Esses solos não foram considerados para utilização como material de empréstimo por existirem outros solos de melhores características geotécnicas, em quantidade suficiente.

- Áreas "B" e "C"

As áreas "B" e "C" situam-se próximas da Barragem do Santo Antônio, a Área "B" com uma superfície de 930.000 m<sup>2</sup> abrangendo todo o platô que se eleva em torno da cota 140 m ao longo do divisor esquerdo, e a área "C" no alto da ombreira direita da mesma barragem, ocupando uma superfície de 325.000 m<sup>2</sup>.



## UHE BELO MONTE

Nessas áreas ocorrem solos residuais dos sedimentos da Formação Alter do Chão e coluviões, que se posicionam estratigraficamente sobre os arenitos da Formação Maecuru.

Nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0054, BEL-B-BM-DE-GER-112-0055 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0056 são apresentadas as seções geológico-geotécnicas típicas das Áreas "B" e "C".

Os coluviões constituem os solos de cobertura dessas áreas, com uma espessura variável entre 0,5 m e 4,5 m. Na Área "B" apresentam granulometria de argila areno-siltosa a areia argilo-siltosa dependendo de sua posição em relação ao material fonte, solos dos sedimentos da Formação Alter do Chão argilosos ou arenosos, respectivamente.

Apresentam em geral concreções limoníticas e/ou de fragmentos de arenito ferruginoso na base, passando ao solo residual da Formação Alter do Chão, muitas vezes, sem qualquer variação na granulometria.

Na Área "C", o coluvião apresenta espessura da ordem de 1 m a 3 m; é constituído por argila areno-siltosa marrom, com fragmentos de laterita dispersos, onde capeia os ritmitos da Formação Trombetas, ou por areia argilo-siltosa marrom acinzentada na área dos solos residuais dos sedimentos arenosos da Formação Alter do Chão e dos arenitos da Formação Maecuru.

O solo residual da Formação Alter do Chão apresenta, similarmente à Área "A", duas granulometrias distintas que parecem representar camadas diferenciadas dentro desta unidade. Nas cotas superiores, ocorrem com uma espessura de até 10 m os solos denominados de STac(Ag) constituídos de argila areno-siltosa a silto-arenosa, marrom avermelhada a vermelho rosada e, sob estes, os solos STac(Ar), representados por areias argilo-siltosas vermelhas com intercalações de granulometria mais grosseira, até conglomerática, em leitos de espessuras decimétricas.

- Área "D"

A Área "D" situa-se entre os morros que constituem as ombreiras das barragens laterais esquerda (BLE) e direita (BLD) prolongando-se para jusante ao longo de todo o canal de fuga. Tem uma superfície de aproximadamente 2 km<sup>2</sup>, onde ocorrem coluviões, solos residuais maduros e de alteração de migmatito e, subordinadamente, solos aluvionares e terraços cujos volumes estimados estão indicados na Tabela A1.7.2. Os solos residuais de ritmitos que ocorrem sobre os solos de migmatito não foram estudados como material de empréstimo, por existirem outros solos de melhores características geotécnicas.

Nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0057, BEL-B-BM-DE-GER-112-0058 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0059 são apresentadas as seções geológico-geotécnicas típicas da Área "D".

Os coluviões (CO) ocorrem com espessura variável entre 0,5 e 3 m; são constituídos, em geral, por areia argilo-siltosa marrom, com fragmentos de laterita esparsos, localmente concentrados nas proximidades das ocorrências de ritmitos.

O solo residual maduro de migmatito (RSMg) apresenta espessura de até 3,5 m estando ausente em muitos locais. Sua granulometria varia de argila silto-arenosa a silte argilo-arenoso vermelho amarelado, com concreções limoníticas esparsas

## UHE BELO MONTE

e, localmente, fragmentos centimétricos de quartzo. Na área adjacente às ocorrências de ritmitos, apresenta-se parcialmente laterizado, formando torrões compactos.

O solo de alteração de migmatito (SAMg) apresenta granulometria de silte-areno argiloso a areia silto-argilosa, em geral micáceo, com cores vermelha, roxa e amarela esbranquiçada, variegadas. Para a estimativa do volume deste solo, conforme Tabela A1.7.2, utilizou-se espessura média de 6,5 m, correspondente à profundidade média das sondagens a trado, entretanto, as investigações geofísicas realizadas revelaram espessuras bem maiores, atingindo 30 m acima do N.A. ao longo da seção D-1.

Os aluviões (A1) e terraços fluviais (TF) restringem-se basicamente à porção da área situada entre a rodovia Transamazônica e o rio Xingu. Constituem sedimentos de deposição fluvial, sendo os terraços os depósitos mais antigos, localizados topograficamente nas cotas mais altas. Ambos são representados por argilas areno-siltosas intercaladas com areias argilo-siltosas, por vezes com seixos de quartzo, cinza avermelhadas, variegadas. Suas espessuras médias estão em torno de 1,5 m, embora os terraços apresentem espessuras de até 5 m em alguns locais.

Em função da grande extensão superficial ocupada pela Área "D", e devido o fato da mesma atravessar as estruturas de concreto e as barragens BLD e BLE, no estudo do emprego dos materiais, estimando-se a origem e destino, esta Área "D" foi subdividida em Áreas "D", "D1" e "D2". A Área "D" corresponde a porção sul da região e praticamente a jusante das estruturas de concreto; a Área "D1" imediatamente a montante da Tomada d'Água, próxima a BLE e a Área "D2" mais ao norte da área.

- Área "E"

A Área "E" abrange praticamente toda a elevação localizada imediatamente a montante da ombreira direita da Barragem do Santo Antônio, envolvendo uma superfície de aproximadamente 2,2 km<sup>2</sup>.

Na área ocorrem solos de alteração de migmatito e de milonito/cataclasito, coluviões e aluviões, cujos volumes estimados estão indicados na Tabela A1.7.2.

As seções geológico-geotécnicas representativas da Área "E" são apresentadas nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0063 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0064.

Os solos de alteração de migmatito (SAMg) apresentam variações granulométricas entre silte areno-argiloso e areia silto-argilosa e cores variegadas similarmente às Áreas "D". Suas espessuras são, igualmente, superiores a 10 m, embora as investigações com trado tenham se limitado, de um modo geral, a menores profundidades, devido à grande ocorrência de matacões. Ao lado dos resultados das sondagens a trado, foram mapeadas áreas com grande concentração de blocos em superfície, conforme indicado no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0064, que oferecerão maiores dificuldades na exploração do solo.

Os solos de alteração de milonito/cataclasito (SACat) ocupam uma faixa de 200 m a 300 m de largura orientada a WNW, com espessura média investigada de 9 m, caracterizada por silte argilo-arenoso vermelho amarelado a rosado, variegado, às vezes intercalado com zonas quartzosas grosseiras. De um modo geral, apresenta

## UHE BELO MONTE

uma porção superior homogênea (RSCat) com cerca de 2 m a 4 m de espessura, com a mesma granulometria do solo variegado.

Os coluviões apresentam, em média, espessura de 1 m e capeiam quase toda a área. São constituídos de areia argilosa ou argila arenosa marrom amarelada com fragmentos de quartzo e lateritas esparsos.

Os aluviões estão confinados na extensa baixada existente na porção nordeste da área; sua investigação limitou-se a 3,5 m devido à presença do lençol freático. Apresentam granulometria de areia argilosa com intercalações de argila arenosa cinza.

- Área "F"

A Área "F" localiza-se ao norte da Área "D2" e adjacente à Área "E", em topografia de inclinação suave. Tem uma superfície de 440.000 m<sup>2</sup> apresentando solos de alteração de migmatito, solos residuais de sedimentos paleozóicos e coluviões, cujos volumes estimados constam na Tabela A1.7.2. As seções geológico-geotécnicas típicas da Área "F" são apresentadas no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0065.

Os coluviões (CO) apresentam espessura variável entre 0,5 m e 5,5 m e são bastante diferenciados ao longo da área. Onde capeiam os sedimentos arenosos paleozóicos, têm granulometria de areia fina a grossa, pouco argilosa, marrom amarelada, com grãos de laterita e elevada concentração de blocos de arenito e siltito ferruginosos na base.

Na área dos solos de migmatito, tendem a uma argila areno-siltosa, marrom avermelhada, com concentrações locais de lateritas centimétricas.

Os solo residual maduro de migmatito (RSMg) tem espessura média de 1,5 m e o solo de alteração (SAMg) foi investigado até a profundidade de 10 m, ambos apresentando características tátil-visuais semelhantes aos mesmos solos encontrados nas Áreas "D1", "D2" e "E".

O solo residual dos sedimentos paleozóicos apresenta espessura variável entre 3 e 4 m e caracteriza-se por areia fina siltosa, rósea e amarela arroxeadada, variegada, com fragmentos dispersos de arenito ferruginoso. Este solo não foi considerado como material de empréstimo.

### Parâmetros Geotécnicos

A investigação nas áreas de empréstimo resultou na caracterização geotécnica de diversos materiais representativos dessas áreas totalizando nove tipos de amostras, conforme apresentado no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0050 e na Tabela A1.7.3.

# NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela A1.7.3 - Usina Belo Monte - Características dos Solos das Áreas de Empréstimo

Material	Área	Granulometria %				LP %	h <sub>nat</sub> %	Compactação			LP- hót (%)	h <sub>nat</sub> -hót (%)	Coeficiente de Permeabilidade Ka cm/s	Resistência ao Cisalhamento τ kN/m <sup>2</sup>	Parâmetros $\bar{A}$ e $\bar{B}$ (GC-100% e Δh=0)	Compressibilidade			Deformabilidade E 50% kN/m <sup>2</sup>	
		Argila	Silte	Areia	Pedregulho			$\gamma_{sm\acute{a}x}$ (gf/cm <sup>3</sup> )	hót (%)	S %						C <sub>c</sub>	C <sub>v</sub> cm <sup>2</sup> /s	$\rho_i$ %		
CO	A	57	26	10	7	44,4	28,4	1,500	30,0	90,0	14,4	-1,6	<1,5x10 <sup>-7</sup>	τ=29,4+ σ tg 30°	$\bar{B}$ = 0,20 $\bar{A}$ < 0,20 p/ σ < 600kN/m <sup>2</sup>	0,19	1x10 <sup>-2</sup>	65 a 30	34.300 (980)	
RS/ SADb	A	44	45	11	1	42,7	34,0	1,457	29,0	86,4	13,7	+5,0	<8x10 <sup>-7</sup>	τ=78,4+ σ tg 23°	$\bar{B}$ =0,09 $\bar{A}$ < 0,10 p/ σ < 600kN/m <sup>2</sup>	0,25	2x10 <sup>-2</sup>	65 a 35	25.100 (980)	
CO/Stac (Ag)	B	57	15	28	-	34,9	24,2	1,560	23,8	86,6	11,1	+0,4	<5,2x10 <sup>-8</sup>	τ=22,5+ σ tg 28,2°	$\bar{B}$ =0,12 $\bar{A}$ < 0,20 p/ σ < 600kN/m <sup>2</sup>	0,10	2x10 <sup>-2</sup>	65 a 30	45.400 (980)	
CO/Stac (Ar)	B/C	22	10	68	-	16,7	11,6	1,933	11,5	78,3	5,2	+0,1	<4x10 <sup>-7</sup>	τ=24,5+ σ tg 32,1°	$\bar{B}$ =0,10 $\bar{A}$ < 0,0 p/ σ < 600kN/m <sup>2</sup>	0,04	-	-	157.200 (980)	
CO/RS/S AGr-gr	D	37	37	24	2	45,5	25,5	1,508	24,6	81,4	20,9	+0,9	<9,5x10 <sup>-7</sup>	τ=39,2+ σ tg 26°	$\bar{B}$ =0,09 $\bar{A}$ < 0,10 p/ σ < 600kN/m <sup>2</sup>	0,22a 0,26	2x10 <sup>-2</sup>	70 a 45	20.900 (98) 29.000 (980)	
CO/ SAGr	R	34	30	33	3	33,1	23,6	1,596	22,0	85,6	16,1	+1,6	<5,7x10 <sup>-7</sup>	τ=9,8+ σ tg 28° Δτ ≤ 50kN/m <sup>2</sup> para σ < 700kN/m <sup>2</sup>	$\bar{B}$ =0,07 $\bar{A}$ < 0,10 p/ σ < 600kN/m <sup>2</sup>	0,14	3x10 <sup>-2</sup>	75 a 55	51.400 (980)	
RS/ SACat	E	18	65	16	1	31,5	26,3	1,541	22,4	78,2	9,1	+4,4	<2,5x10 <sup>-6</sup>	τ=19,6+ σ tg 30° Δτ ≤ 50kN/m <sup>2</sup> para σ < 700kN/m <sup>2</sup>	$\bar{B}$ =0,08 $\bar{A}$ < 0,04 p/ σ < 600kN/m <sup>2</sup>	0,18a 0,21	4x10 <sup>-2</sup>	80 a 60	36,200 (980)	
SAGr-gn	F	36	33	30	1	39,5	25,7	1,551	22,8	80,7	16,7	+2,9	<1,3x10 <sup>-6</sup>	τ=39,2+ σ tg 26° Δτ ≤ 70kN/m <sup>2</sup> para σ < 900kN/m <sup>2</sup>	$\bar{B}$ =0,09 $\bar{A}$ < 0,08 p/ σ < 600kN/m <sup>2</sup>	0,20	3x10 <sup>-2</sup>	70 a 50	33,400 (980)	
TF	D	38	23	35	4	20,5	-	1,726	17,4	83,7	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## UHE BELO MONTE

Considerando suas características geotécnicas, esses solos podem ser reunidos em 5 grupos principais.

- solos de alteração provenientes de rochas cristalinas, mais o colúvio superior, ambos das Áreas "D1", "D2", "E" e "F" (CO + RS + SAGr-gn, SAGr e RS + SACat);
- solos residuais da Formação Alter do Chão, mais o colúvio superior, ambos das áreas "B" e "C" (CO + STac);
- colúvio que capeia o solo residual do diabásio da área "A" (CO);
- solo residual / alteração do diabásio da área "A" (RS + SADb);
- terraço fluvial da área "D" (TF).

Entretanto, numa análise sumária, verifica-se que as diferenças tanto numéricas, como de comportamento, observadas entre os parâmetros de permeabilidade e de compressibilidade para efeito de cálculos, são insignificantes. Afora o CO + STac(Ag) que mostra ligeira tendência à queda de resistência após ruptura de pico, os demais solos não apresentam ruptura brusca, e têm como característica favorável o fato das suas pressões neutras revelarem pequena diminuição após atingido o valor máximo por volta de até 8% de deformação específica. Todos os solos investigados, se corretamente zoneados nas seções das barragens, podem ser utilizados na execução de aterros compactados. A presença do CO misturado com solos de alteração não proporcionou mudanças sensíveis nas características geotécnicas médias das amostras agrupadas. Os 5 grupos principais em que esses solos estão reunidos são descritos a seguir:

- solos de alteração provenientes de rochas cristalinas, mais o colúvio superior, ambos das áreas "D2", "E" e "F" (CO + RS + SAGr-gn, SAGr e RS + SACat);

Os solos provenientes da alteração de granito-gnaiss e o colúvio superficial sobrejacente a eles apresentam, em média, uma distribuição granulométrica bem graduada, com cerca de 30 a 35% de cada uma das frações de areia, silte e argila. É muito pequena a ocorrência da fração de pedregulho na composição desses solos. Já o RS + SACat apresenta uma fração predominantemente siltosa que corresponde a cerca de 65% do total do material, enquanto as frações de areia e de argila são praticamente as mesmas e iguais a 16%. Neste solo também a presença da fração de pedregulho é insignificante, conforme desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0050.

Os valores do peso específico aparente seco máximo,  $\gamma_{sm\acute{a}x}$ , em princípio baixos para estes tipos de solos, variam de 1,50 tf/m<sup>3</sup> a 1,60 tf/m<sup>3</sup>; os valores da umidade ótima,  $h_{ót}$ , são da ordem de 22% a 25%. Nestas condições de compactação, esses solos apresentam valores do grau de saturação entre 78% e 85%. O desvio de umidade obtido para o solo coletado na época da seca, em áreas cobertas com vegetação, varia aproximadamente de +1,0% a +4,5%, o que não deverá representar problema para a compactação quando se iniciar com o desmatamento das áreas e, a seguir, com as escavações, serão proporcionadas melhores condições de evaporação e drenabilidade para águas que ocorrem nos poros dos solos, reduzindo a umidade para valores abaixo da umidade ótima. As formas das curvas de compactação desses solos podem ser tanto simétricas, como ligeiramente assimétricas no lado seco, porém em geral são bastante abertas,

## UHE BELO MONTE

permitindo que para um grau de compactação acima de 95%, a umidade de compactação varie, no mínimo, entre 16% e 26%. Com a exceção do RS/SACat, os demais solos apresentam valores de limite de plasticidade, LP, bem acima das umidades ótimas, cuja diferença pode alcançar até 20%, conforme desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0050, possibilitando, dessa forma, uma ampla faixa de trabalhabilidade.

Esses solos possuem propriedades geotécnicas adequadas como material de vedação, apresentando valores do coeficiente de permeabilidade,  $K_v$ , sempre inferiores a  $2,5 \times 10^{-6}$  cm/s, independente da classificação geológica e do nível de tensões. Para pressões normais elevadas, nota-se uma leve diminuição nos valores de  $K_v$ , conforme desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0066 a BEL-B-BM-DE-GER-112-0068.

A envoltória de resistência apresenta coesão variável de aproximadamente  $20 \text{ kN/m}^2$  a  $40 \text{ kN/m}^2$  e ângulo de atrito entre  $26^\circ$  e  $30^\circ$ . Para tensões normais inferiores a  $600 \text{ kN/m}^2$  pode ser considerado um ganho de resistência de até  $70 \text{ kN/m}^2$  em decorrência do efeito da compactação.

Os parâmetros de pressão neutra são bastante baixos e consistentes entre si, sendo  $\bar{B}$  da ordem de 0,09 e  $\bar{A}$  sempre inferior a 0,10, nas condições ótimas de compactação. Para condições de moldagem acima da umidade ótima há uma tendência para o aumento nos valores destes parâmetros, porém na faixa rotineiramente utilizada não se presumem valores demasiadamente elevados que possam conduzir instabilização do maciço compactado.

Esses solos apresentam parâmetros de compressibilidade e deformabilidade muito semelhantes aos do SAMg das áreas de empréstimo do Bela Vista (antigo Juruá), sugerindo dessa forma que devam apresentar comportamentos similares àqueles solos quanto a esses aspectos. Isto significa que os recalques imediatos observados são elevados, podendo atingir valores de até 70% do recalque total, para tensões baixas, com leve tendência à diminuição à medida que as tensões aumentam. Os valores de  $C_c$  e  $C_v$  são da ordem de 0,15 a 0,25 e de  $1 \times 10^{-2}$  a  $4 \times 10^{-2}$   $\text{cm}^2/\text{s}$ , respectivamente. Igualmente ao SAMg, estudados anteriormente no Sítio Bela Vista (antigo Juruá), os solos em apreço apresentam valores do módulo de deformabilidade,  $\bar{E}_{(50\%)}$ , crescentes com o nível de tensões.

- solos da Formação Alter do Chão, mais o coluvião superior, ambos das áreas "B" e "C" (CO + STac)

Os solos dos sedimentos da Formação Alter do Chão apresentam dois tipos bem característicos: o arenoso mais o colúvio superficial, CO + STac(Ar), revela, em média, cerca de 68% de areia, 22% de argila e 10% de silte; e o argiloso mais o colúvio superficial, CO + STac(Ag), apresenta em torno de 57% de argila, 28% de areia e 15% de silte. Nenhum dos dois tipos revela a ocorrência da fração pedregulho.

Os parâmetros de compactação nos dois solos são bastante distintos, em decorrência da composição granulométrica dos mesmos. O CO + STac(Ar) apresenta um peso específico aparente seco máximo,  $\gamma_{sm\acute{a}x}$ , da ordem de  $1,93 \text{ tf/m}^3$  e umidade ótima,  $h_{\acute{o}t}$ , de aproximadamente 11,5%. Em contrapartida, os

valores de  $\gamma_{sm\acute{a}x}$  e  $h_{ot}$  do CO + STac(Ag) sendo característicos de um solo argiloso, são da ordem de 1,56 tf/ m<sup>3</sup> e 23,8%, respectivamente. Nestas condições de compactação, os valores do grau de saturação se ajustam na faixa de 78% a 87%, independentemente do tipo de solo. Os desvios de umidade avaliados para os solos coletados na época da seca, em áreas cobertas por vegetação, variam entre +0,1% e +0,4%, mostrando com isso, que esses solos não deverão exigir correções na umidade por secagem antes do lançamento na praça de compactação. As formas das curvas de compactação são simétricas, porém aparentemente fechadas; daí, para o grau de compactação acima de 95%, a faixa de variação da umidade no caso do CO + STac(Ar) está compreendida entre 10% e 15% e para o CO + STac(Ag), entre 22% a 27%. Entretanto, a faixa de trabalhabilidade do CO + STac(Ag) bastante ampla, Cerca de 2 vezes maior que a faixa do CO + STac(Ar), apresentando valores de limite de plasticidade em torno de 11% acima da umidade ótima.

Os valores do coeficiente de permeabilidade,  $K_v$ , são extremamente baixos, sendo inferiores a  $4 \times 10^{-7}$  cm/s para o CO + STac(Ar), com ligeira tendência à diminuição com o aumento do nível de tensões. No caso do CO + STac(Ag), os valores de  $K_v$  são cerca de 10 vezes ainda menores, revelando excelentes propriedades geotécnicas como material impermeabilizante. Em geral, apresentam coeficientes de permeabilidade inferiores aos dos solos de alteração de rochas cristalinas, conforme desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0069.

A envoltória de resistência do CO + STac(Ag) bastante semelhante àquelas avaliadas para os solos de alteração de origem migmatítica, porém não se observa um ganho de resistência para níveis de tensões baixas, conforme constatado para aqueles solos. Por seu lado, o CO + STac(Ar) apresenta, nitidamente, uma envoltória de resistência maior, com uma coesão de aproximadamente 24,5 kN/m<sup>2</sup> e um ângulo de atrito de 32°. Igualmente ao CO + STac(Ag), não apresenta indícios de ganho resistência para nível de tensões baixas.

Entretanto, com relação aos parâmetros de pressão neutra verifica-se que os valores de  $\bar{B}$ , tanto no solo arenoso como no argiloso, são semelhantes aos dos solos de alteração de rochas migmatíticas, sendo portanto da ordem de 0,08. O mesmo não ocorre para o parâmetro  $\bar{A}$ , que no caso do solo argiloso é cerca de 2 vezes maior que no SAGr-gn, porém aparentemente ainda longe de condicionar a estabilidade de taludes de barragens, sendo praticamente igual a zero no solo arenoso.

Os parâmetros de compressibilidade e de deformabilidade do CO + STac(Ag) são bastante próximos do SAGr-gn. Já o CO + STac(Ar) revela-se não só muito pouco compressível como também muito pouco deformável, dentro dos mesmos níveis de tensões, apresentando módulos de deformabilidade de cerca de 3 vezes maiores.

- coluvião que capeia o solo residual do diabásio da Área "A" (CO)

O coluvião da Área "A", existente sobre o RSDb, apresenta uma composição granulométrica bastante fina, constituída por 57% de argila, 26% de silte e apenas 10% de areia. Diferentemente dos demais solos investigados neste sítio, o CO revela uma percentagem maior da fração pedregulho que da ordem de 7%, basicamente constituída pelas lateritas.

## UHE BELO MONTE

Os valores de  $\gamma_{sm\acute{a}x}$  e  $h\acute{o}t$  são aproximadamente iguais a  $1,50 \text{ tf/m}^3$  e 30,0%, respectivamente, conduzindo a elevado grau de saturação de quase 100%, e, nestas condições de compactação, pode ocorrer a geração de pressões neutras condicionantes para a estabilidade de barragens durante o período construtivo. Por outro lado, a umidade natural deste solo, obtida em materiais coletados no período de seca, apresenta valores em torno de 2% abaixo da umidade ótima de compactação, sugerindo que nessas condições de umidade a mobilização de pressões neutras possa ser menor que aquela constatada para a umidade ótima. A curva de compactação apresenta uma forma ligeiramente assimétrica e menos aberta que aquelas observadas para o SAGr-gn, permitindo que as umidades variem apenas no intervalo de 25% a 33%, para grau de compactação acima de 95%. Os valores do limite de plasticidade são cerca de 15% acima da umidade ótima, conforme desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0070.

O solo em apreço apresenta valores de coeficiente de permeabilidade,  $K_v$ , em torno de  $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  que se mantém praticamente constante com o aumento do nível de tensões de até  $300 \text{ kN/m}^2$ .

A envoltória de resistência efetiva, para a condição quase saturada, é muito próxima daquelas obtidas para o SAGr-gn, apresentando coesão de aproximadamente  $30 \text{ kN/m}^2$  e ângulo de atrito em torno de  $30^\circ$  bem definidos dentro dos níveis de tensões estudados.

Dentre os solos investigados neste Sítio, este solo é aquele que apresenta maior propensão à geração de pressões neutras sob carregamento rápido. Nas condições ótimas de compactação, o valor de  $\bar{B}$  é aproximadamente 0,20 para os níveis de tensões de até  $980 \text{ kN/m}^2$  podendo praticamente dobrar com o acréscimo de cerca de 2,5% na umidade de compactação. Para o mesmo nível de tensões, o parâmetro  $\bar{A}$  pode atingir valores de até 0,20 na umidade ótima podendo também dobrar quando se efetuar o mesmo acréscimo de 2,5% na umidade.

Os parâmetros de compressibilidade e de deformabilidade são bastante semelhantes àqueles obtidos para o SAGr-gn, ou sejam, recalques imediatos elevados, até da ordem de 65%, para tensões baixas, com tendência à diminuição à medida que o nível de tensões aumenta. Igualmente ao SAGr-gn, os valores de  $C_c$  e  $C_v$  são respectivamente da ordem de 0,20 e  $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ . O valor de  $E_{50\%}$ , em amostra moldada na umidade ótima e cerca de  $35.000 \text{ kN/m}^2$  para pressão confinante de  $980 \text{ kN/m}^2$ .

- solo residual / alteração do diabásio da área "A" (RS + SADb)

O solo de alteração de diabásio mais o solo residual maduro subjacente, RS + SADb, constituem um solo extremamente fino que contém cerca de 44% de argila, 35% de silte e apenas 11% de areia. Como a maior parte dos solos já descritos não registra a ocorrência da fração pedregulho.

Essa granulometria confere a esses solos um peso específico aparente seco máximo,  $\gamma_{sm\acute{a}x}$ , significativamente baixo, de aproximadamente  $1,45 \text{ tf/m}^3$  e uma umidade ótima,  $h\acute{o}t$ , de cerca de 29%. O grau de saturação nessas condições de compactação não vai além dos 87%. Entretanto, os valores da umidade natural,



## UHE BELO MONTE

de cerca de 5% acima da umidade ótima, obtidos em amostras retiradas no período de seca, sugerem a eventual necessidade de efetuar uma correção na umidade por secagem, antes do lançamento desses solos na praça de compactação. Para um grau de compactação acima de 95%, a faixa de umidade correspondente ampla, estando compreendida entre 18% e 37%, conforme desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0050. A forma da curva de compactação é aberta e simétrica. Da mesma forma, a faixa de trabalhabilidade bastante ampla, sendo os valores do limite de plasticidade, LP, da ordem de 14% acima da umidade ótima.

Esses solos apresentam valores dos coeficientes de permeabilidade, Kv, sempre inferiores a  $8 \times 10^{-7}$  cm/s, porém suas reduções com o aumento do nível de tensões são bastante pequenas, mantendo-se praticamente constantes para tensões inferiores a  $300 \text{ kN/m}^2$ , conforme no desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0071.

Quanto à envoltória de resistência efetiva, constituem-se como os solos de menor ângulo de atrito dentre todos aqueles investigados neste Sítio, sendo da ordem de  $23^\circ$ . Porém, apresentam uma coesão bem mais elevada que aquelas obtidas nos demais solos, sendo de aproximadamente  $78 \text{ kN/m}^2$  para tensões inferiores a  $980 \text{ kN/m}^2$ . Não se observa, em princípio, o efeito da compactação na envoltória de resistência, nem mesmo no trecho de tensões baixas.

Nas condições ótimas de compactação, os parâmetros  $\bar{A}$  e  $\bar{B}$  são bastante próximos daqueles observados para o SAGr-gn, não ultrapassando a casa dos 0,10 isto, para nível de tensões inferior a  $980 \text{ kN/m}^2$ . Entretanto, para umidades de compactação de cerca de 4% acima da ótima, verifica-se um nítido aumento nos parâmetros de pressão neutra, da ordem de uma vez e meia para o  $\bar{B}$  e quase de 2 vezes para  $\bar{A}$ .

Por fim, nota-se que os parâmetros de compressibilidade e de deformabilidade são semelhantes àqueles obtidos para o coluvião sobrejacente, não só no que se referem aos valores de Cc e cv, mas também quanto aos valores de recalques imediatos.

- terraço fluvial da Área "D" (TF)

O solo do terraço fluvial, TF, apresenta cerca de 38% de argila, 23% de silte e 35% de areia, apresentando, ainda, uma pequena fração de pedregulho, da ordem de 4%.

O peso específico aparente seco máximo,  $\gamma_{sm\acute{a}x}$ , e a umidade ótima de compactação,  $w_{opt}$  são da ordem de  $1,726 \text{ tf/m}^3$  e 17,4%, respectivamente, conferindo ao solo, nestas condições de compactação, um grau de saturação de 83,7%, fato que não deve conduzir à geração de pressões neutras elevadas que condicionem a estabilidade de taludes de barragens. A curva de compactação revela uma forma simétrica, sendo ligeiramente fechada em relação aos demais solos de empréstimo investigados. Com isso, para um grau de compactação acima de 95%, a faixa de umidade correspondente muito restrita e varia aproximadamente entre 14% e 20%. Também a faixa de trabalhabilidade é muito limitada, sendo o valor do limite de plasticidade, LP, da ordem de 3% acima da umidade ótima.

## UHE BELO MONTE

### 7.3.2 Areia e Cascalho

#### Localização e Aspectos Geológicos

As três áreas investigadas como fonte de material granular, denominadas de jazida I, II e III, localizam-se no rio Xingu a distâncias de 6 km, 1,5 km e 14 km, respectivamente, em relação à posição da Casa de Força, conforme desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0060 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0061.

Dessas áreas, a mais extensa é a Jazida III com cerca de 2,5 km de comprimento por 1 km de largura, seguida pela Jazida I com 1,3 km x 0,5 km, sendo a Jazida II a menor, com cerca de 600 m x 300 m. Estas extensões de areia encontram-se emersas no período de estiagem, no qual ainda sofrem inundação parcial diária devido à influencia de maré.

As jazidas I e III são as que apresentam também maiores espessuras, registrando-se até 22 m para a Jazida I e espessuras superiores a 30 m para a Jazida III. Nesses locais, predominam no trecho amostrado areias médias e finas, havendo uma tendência para profundidades abaixo de 10 m, de predominância da fração fina, incluindo pequeno teor de matéria orgânica.

Já a Jazida II, localizada junto à margem, na saída do Canal de Fuga, apresenta espessura inferior a 10 m e granulometria invariavelmente fina.

Os desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0060 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0061 apresentam as seções típicas das jazidas e a indicação em planta das áreas emersa e submersa por ocasião das investigações.

Na Tabela A1.7.4, são apresentados os volumes estimados para cada jazida com indicação das espessuras médias consideradas.

**Tabela A1.7.4 - Usina Belo Monte - Volumes Disponíveis nas Jazidas de Areia**

Jazida	Espessura (m)	Volume (x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
I	11,5	5.000
II	7,0	1.600
III	11,5	21.800
TOTAL	-	28.400

#### Parâmetros Geotécnicos

Os materiais das 3 jazidas investigadas têm em comum o fato de não apresentarem nas suas composições granulométricas, a fração pedregulho, conforme desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0061. Entretanto, as frações de areia são características de cada jazida. Assim, o material da Jazida I apresenta cerca de 40% de areia fina, 53% de areia média e apenas 7% de areia grossa, de acordo com a classificação da ABNT. Já, o material da Jazida II extremamente fino, apresentando cerca de 95% de areia fina e apenas 5% de areia média. Por fim, o material da Jazida III apresenta em torno

## UHE BELO MONTE

de 50% de areia fina e quase 50% de areia média, com a fração grossa não ultrapassando a 2%.

Como materiais para filtros de barragens podem, em princípio, ser utilizadas as areias das jazidas I e III que apresentam coeficientes de permeabilidade da ordem de  $2 \times 10^{-2}$  cm/s, ficando afastada a utilização da areia da Jazida II. Porém, por não possuírem nas suas composições granulométricas a fração grossa em quantidade desejada e por serem bastante uniformes, o uso exclusivo das areias das jazidas I e III em barragens de enrocamento com núcleo de argila, pode requerer 2 camadas de transições entre a própria areia e o enrocamento. Como alternativa pode-se proceder à correção granulométrica com a mistura de fração grossa obtida artificialmente da britagem das rochas.

Como agregado miúdo para concreto, não se dispendo da fração grossa, as areias das jazidas I e III devem sofrer correções granulométricas, ficando também eliminada a possibilidade de utilização de areia da Jazida II.

### 7.3.3 Rocha

Considerando o grande volume de rocha a ser extraído das escavações obrigatórias para a implantação das estruturas da Casa de Força e do Canal de Fuga, da ordem de 14,5 milhões de m<sup>3</sup>, não foi necessário o estudo de outra fonte de material pétreo para as obras do Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte.

No local das escavações obrigatórias, a rocha migmatítica ocorre a cerca de 10 a 15 m de profundidade, sob uma cobertura de solo de alteração e/ou ritmitos pouco coerentes e apresenta-se sã e, em geral, pouco fraturada.

Algumas sondagens revelaram em locais restritos, rochas mais fraturadas associadas ou não a estreitas faixas miloníticas/cataclásticas que cortam as estruturas diagonalmente. Entretanto, esse maior grau de fraturamento apesar de reduzir os tamanhos dos blocos, não apresenta minerais de preenchimento ou de alteração que comprometam a qualidade da rocha para utilização como agregado graúdo.

Lâminas petrográficas executadas em amostras representativas dos vários litotipos constituintes dos migmatitos e dos milonitos/cataclasitos, não revelaram a ocorrência de minerais deletérios potencialmente reativos com o cimento.

### 7.4. DIQUES

Os estudos referentes à pesquisa de materiais naturais de construção para os diques foram dirigidos para a investigação de áreas de empréstimo de solos e as escavações obrigatórias advindas dos estudos da alternativa canal, contemplada na fase do Projeto Básico (ver desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0051), seleção de locais favoráveis para a implantação de pedreiras e, ainda, localização de depósitos de materiais granulares.

Durante as investigações de campo realizadas entre janeiro e março de 1987 para os diques da região do sítio Belo Monte, foi efetuado reconhecimento geológico de campo que permitiu a localização de pontos favoráveis para a implantação de pedreiras, apresentados no desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0051. Esses locais deverão ser investigados através de sondagens geofísicas e rotativas, na fase de estudos do Projeto Pré-Executivo, para a caracterização física e tecnológica das rochas.

## UHE BELO MONTE

No reconhecimento geológico de campo, constatou-se também a inexistência, próximo aos diques, de depósitos de materiais granulares exploráveis. Prevê-se, nesta fase, a utilização dos depósitos pesquisados para as obras do Sítio Belo Monte e a jazida localizada ao sul do Reservatório Intermediário.

As áreas de empréstimo de solo foram delimitadas nas encostas dos morros próximos aos locais de implantação de diques, tanto a montante quanto a jusante, tendo sido investigadas através de sondagens a trado espaçadas de 200 m a 400 m, distribuídas em malha aproximadamente regular, complementando-se com mapeamento geológico de superfície. As sondagens a trado foram programadas para atingir profundidade máxima de 10 m, sendo paralisadas antes dessa profundidade, em razão da ocorrência de solos impenetráveis ao trado ou presença de lençol freático.

Nessas sondagens foram coletadas, a cada metro perfurado, amostras de 10 kg de material para a realização de ensaios de caracterização e compactação. O material amostrado foi classificado como pertencente a um dos 3 seguintes horizontes geológico-geotécnicos: colúvio, solo residual e solo de alteração.

Em razão da grande quantidade de amostras coletadas de metro em metro nas sondagens, foi efetuada uma seleção dos materiais a serem ensaiados, buscando-se obter amostras típicas representativas dos horizontes ocorrentes em cada área de empréstimo. Essas amostras típicas foram constituídas pelo material coletado em 3 m consecutivos de uma determinada sondagem, pertencendo ao mesmo horizonte geológico-geotécnico, e de caracterização tátil-visual semelhante.

Nas amostras típicas foram executados, no laboratório de solos da ELETRONORTE, em Altamira, ensaios de caracterização, compactação e determinação de umidade natural.

A caracterização dessas amostras típicas foi obtida através de ensaios de granulometria com sedimentação, limites de liquidez e de plasticidade e determinação da densidade real dos grãos. Esses ensaios foram realizados separadamente, nos 1º e 3º metros que constituíam a amostra típica, visando aferir a representatividade das amostras selecionadas para os ensaios.

Os ensaios de compactação, sem reuso e sem secagem prévia, foram efetuados no material resultante da mistura e homogeneização do 1º e 3º metros de cada amostra típica. Quando, para um determinado material, não ficavam bem definidas a umidade ótima e a densidade seca máxima, o ensaio era refeito, com reuso e secagem da amostra. Esse procedimento também foi adotado quando as amostras não apresentavam volume suficiente para a execução de ensaios sem reuso e sem secagem.

Foram ainda executados no laboratório de solos da ELETRONORTE, ensaios de determinação de umidade natural em todas as amostras coletadas especialmente para esse fim. Essa amostragem foi realizada em todas as sondagens, nas metragens ímpares de cada furo.

Os resultados individualizados para cada amostra típica são apresentados nos relatórios específicos de projeto, citados como referência no final deste volume.

## UHE BELO MONTE

### 7.4.1 Diques do Reservatório Intermediário

Os levantamentos geológicos de campo mostraram que as áreas de empréstimo de solo estudadas para os diques do Reservatório Intermediário estão situadas em duas regiões geologicamente distintas.

Na região, compreendida entre os diques DIK-3 e DIK-4, predominam as rochas sedimentares, onde foram investigados colúvios e solos residuais de arenitos inconsolidados da Formação Alter do Chão, de arenitos friáveis da Formação Maecuru e de folhelhos/ritmitos da Formação Trombetas.

Nas áreas que envolvem os diques DIK-6 A, DIK-6B, DIK-6C e DIK-7A, ocorre a presença de rochas sedimentares, conforme descritas acima, somente nas ombreiras e na maioria das vezes, representadas por uma cobertura superficial sobre o solo de alteração do migmatito.

Na região que se estende dos diques DIK-7B ao DIK-29, ocorrem as rochas do embasamento cristalino onde foram pesquisados colúvios, solos residuais e de alteração de migmatitos, de granitos porfíricos, e em menor escala, de cataclasitos e granitos equigranulares.

Nos desenhos BEL-B-DQ-DE-GER-112-0054 a BEL-B-DQ-DE-GER-112-0058 são apresentadas a planta e seção das áreas de empréstimo investigadas e ainda, um quadro com os volumes e espessuras médias dos materiais aproveitáveis. Destaca-se que as zonas aluvionares foram excluídas da área explorável dos empréstimos. Ressalta-se, também, que as zonas de ocorrência de blocos, levantadas durante o reconhecimento geológico de campo, foram descontadas na quantificação dos volumes. Complementando as informações básicas relativas às investigações realizadas, nos desenhos BEL-B-DQ-DE-GER-112-0050, BEL-B-DQ-DE-GER-112-0051 e BEL-B-BM-DE-BTE-100-0005 são apresentadas a amarração topográfica, a espessura dos horizontes amostrados e a profundidade do nível d'água das sondagens a trado executadas.

Na Tabela A1.7.5 estão apresentados os volumes disponíveis em cada área de empréstimo, os volumes necessários à construção dos diques, bem como a quantidade de ensaios executados.

# NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato  
CREA-MG 16.918/D  
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Tabela A1.7.5 - Diques do Reservatório Intermediário - Volumes Disponíveis - Ensaios Executados nas Áreas de Empréstimo

Dique	Volume dos Diques (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Área de Empréstimo	Volume das Áreas de Empréstimo (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )				Nº de Amostras Típicas Seleccionadas	Quantidade de Ensaios Executados								
			Total	Colúvio	Solo Residual	Solo de Alteração		Colúvio		Solo Residual		Solo de Alteração		Total		
								Carac-terização	Compac-tação	Carac-terização	Compac-tação	Carac-terização	Compac-tação	Carac-terização	Compac-tação	
DIK-01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DIK-02	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DIK-03	0,08	A/3	0,35	0,10	0,25	-	03	-	-	06	02	-	-	06	02	
		B/3	0,38	0,19	0,19	-	02	02	01	02	01	-	-	04	01	
		C/3	0,51	0,23	0,12	0,16	01	-	-	-	-	03	01	02	01	
DIK-04	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DIK-06A	1,03	A/7	2,79	0,86	0,99	0,94	07	04	02	04	01	06	03	14	06	
DIK-06B	0,26	B/7	1,93	0,22	0,86	0,85	05	-	-	04	02	06	03	10	05	
DIK-06C	4,75	A/8	1,88	0,17	1,09	0,63	07	-	-	08	04	06	03	14	07	
DIK-07A	2,47	B/8	1,13	0,10	9,58	0,45	05	-	-	06	03	04	02	10	05	
DIK-07B	1,78	C/8	2,73		1,91	0,82	05	-	-	06	03	04	02	10	05	
DIK-07C	0,01	D/8	4,91	1,77	2,12	1,02	10	06	03	10	05	04	02	20	10	
DIK-07D	0,01	E/8	1,76	0,03	1,05	0,68	07	-	-	08	04	06	03	14	07	
DIK-10A	0,25	A/10A	0,50	0,09	0,27	0,14	05	02	01	04	02	04	02	10	05	
DIK-11	0,10	A/11	0,80	0,08	0,50	0,22	03	-	-	04	02	02	01	06	03	
DIK-13	6,95	A/13	2,80	0,02	1,17	1,61	06	-	-	04	02	08	04	12	06	
		B/13	3,65	0,32	1,51	1,76	10	02	01	08	04	10	05	20	10	
		C/13	2,95	0,29	1,19	1,47	08	02	01	06	03	02	01	08	04	
		D/13	1,31	0,12	0,70	0,49	04	-	-	06	03	02	01	08	04	
		E/13	1,70	0,11	0,81	0,79	07	-	-	06	03	08	04	14	07	
DIK-14A	0,42	A/14A	2,13	0,28	0,74	1,11	04	-	-	04	02	04	02	08	04	
DIK-14B	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DIK-14C	3,01	A/14C	2,38	0,17	1,02	1,19	07	-	-	06	03	08	04	14	07	
		B/14C	0,16		0,07	0,09	01	-	-			02	01	02	01	
		C/14C	2,85	0,24	1,79	1,23	04	02	01	02	01	04	05	08	07	
DIK-14D	0,71	A/14D	1,86	0,18	0,74	0,94	05	-	-	04	02	06	03	10	05	
		B/14D	1,42	0,14	0,63	0,65	04	02	01	02	01	10	02	14	04	
DIK-14E	0,31	A/14E	1,94	0,25	0,54	1,15	06	-	-	04	02	08	04	12	06	
DIK-18	0,12	A/18	0,60	0,04	0,71	0,25	04	-	-	06	03	02	01	08	04	
DIK-19	3,16	A/19	2,29	0,52	1,03	0,74	05	02	01	06	03	02	01	10	05	
		B/19	2,55	0,35	0,83	1,37	07	02	01	04	02	08	04	14	07	
		C/19	4,07	0,31	1,84	1,92	10	02	01	10	05	08	04	20	10	
DIK-20	0,06	A/20	0,29	0,2	0,15	0,12	03			04	02	02	01	06	03	
TOTAL			25,54	54,62	7,26	24,58	22,79	155	28	14	144	70	138	69	310	153

## UHE BELO MONTE

Os colúvios representam cerca de 10% do volume total disponível nas áreas de empréstimo situadas na região das rochas migmatíticas e graníticas. Nas sondagens a trado executadas, esse material apresentou espessuras de até 2 m, estando ausente em alguns furos.

A espessura média determinada para esse horizonte oscila entre 0,5 a 1,0 m, já descontada a remoção de 0,5 m de espessura prevista para a limpeza superficial dos empréstimos. Nas áreas A/10A e A/19, esse material tem espessura média pouco mais desenvolvida, representando de 20 a 25% do volume total disponível nesses empréstimos. Durante a limpeza superficial, o colúvio existente nas áreas de empréstimos C/8, E/8, A/13 e B/14D serão quase que totalmente removidos.

Nas áreas A/7 e D/8, situadas nas zonas de contato entre o arenito Maecuru e os migmatitos, e na área A/3, investigada sobre o arenito Alter do Chão, o colúvio representa 30% do volume total disponível, com espessura média variando de 1,7 a 2,0 m. Nas sondagens a trado executadas nessas áreas, o colúvio, originário desses arenitos, apresenta espessuras de 1,0 a 4,0 m.

Nas áreas B/3 e C/3, implantadas sobre folhelhos e migmatitos, o colúvio representa de 40 a 50% do volume total disponível nesses empréstimos, com espessura média oscilando de 1,6 a 2,0 m.

Os solos residuais, que representam entre 35 a 50% do volume total disponível de cada empréstimo, apresentaram espessuras variáveis de 2 a 5 m nas sondagens a trado executadas. A espessura média determinada para esse material oscila entre 2,3 a 3,6 m. Em algumas áreas, esse horizonte é mais significativo, chegando a representar entre 60 a 70% do volume total disponível nos empréstimos, com espessuras médias de até 4,0 m.

Os solos de alteração, responsáveis por 30 a 55% do volume total disponível em cada empréstimo, apresentaram maior variação de espessura nas sondagens a trado executadas, em razão da presença do lençol freático e impenetrabilidade ao trado. A espessura média determinada para esse horizonte oscila entre 1,5 a 5,0 m.

Partindo-se da premissa de que todos os materiais investigados são utilizáveis, destaca-se, pelos volumes apresentados na Tabela A1.7.5, que os empréstimos estudados para os menores diques (volume de aterro de até  $0,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) podem ser otimizados, pesquisando-se áreas menores onde ocorram os materiais mais adequados à construção dessas obras.

Para os diques maiores (volume de aterro acima de  $2,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) o estudo de materiais de empréstimo também poderá ser otimizado, selecionando-se áreas ou trechos de áreas onde ocorram solos geotecnicaamente mais adequados, e que apresentem condições mais favoráveis para exploração em termos de distância de transporte e possível inundação com o fechamento do dique.

As escavações obrigatórias a serem realizadas nos Canais de Adução também poderão constituir as fontes preferenciais para a obtenção de solo (e também de rocha) para os diques.

A interpretação dos resultados dos ensaios, apresentada a seguir, está baseada no horizonte geológico-geotécnico em que cada amostra foi classificada, nos valores dos limites de liquidez e de plasticidade, nos parâmetros das curvas de compactação e ainda, na semelhança das curvas granulométricas.

---

## UHE BELO MONTE

Os solos residuais e de alteração, ocorrentes na região do embasamento cristalino, foram analisados independentemente dos tipos litológicos (migmatitos e granitos) dos quais se originaram, uma vez que não foi possível correlacionar esse tipo de informação com os resultados dos ensaios.

Dessa forma, para os três horizontes geológico-geotécnicos pesquisados, foram identificados 12 tipos principais de materiais ocorrentes nas áreas de empréstimo, abrangendo 85% do total de amostras ensaiadas. Nos desenhos BEL-B-DQ-DE-GER-112-0059 e BEL-B-DQ-DE-GER-112-0060 e na Tabela A1.7.6 são apresentados os valores médios característicos para esses materiais. Os resultados individuais dos ensaios são apresentados no desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0061 para o colúvio, desenhos BEL-B-DQ-DE-GER-112-0062 e BEL-B-DQ-DE-GER-112-0063 para o solo residual e desenhos BEL-B-DQ-DE-GER-112-0064 e BEL-B-DQ-DE-GER-112-0065 para o solo de alteração.



# NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato  
CREA-MG 16.918/D  
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Tabela A1.7.6 - Diques do Reservatório Intermediário - Características Geotécnicas Médias dos Solos das Áreas de Empréstimo

Material	Horizonte Geológico-Geotécnico	Número de Ensaios	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Densidade dos Grãos (gf/cm <sup>3</sup> )	Granulometria (MIT)							γ <sub>s</sub> max. (gf/cm <sup>3</sup> )	hót (%)	hnat (%)	hnat-hót (%)	hót-LP (%)	Classificação Unificada	
							Argila (%)	Silte (%)			Areia (%)									Pedregulho (%)
								Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa							
01	Colúvio		44,4* 4,9**	27,9 3,2	16,5 2,4	2,67 0,04	35,5 10,6	3,1 1,6	2,4 1,8	6,6 2,4	16,1 3,7	15,5 6,6	13,6 6,8	7,3 7,2	1,712 0,072	18,0 2,4	22,6 5,2	4,6 3,9	-9,9 3,2	ML
02			64,1 8,6	38,9 4,1	25,3 5,3	2,71 0,06	56,9 7,9	2,5 0,9	2,3 2,3	4,8 1,3	9,5 2,8	8,8 2,0	11,1 5,1	4,1 4,5	1,530 0,091	24,5 3,9	29,3 5,0	4,8 6,4	-14,4 4,4	MH
03			30,5 4,9	19,8 2,3	10,8 2,8	2,69 0,07	22,4 5,8	1,9 0,7	1,4 1,0	4,3 1,1	25,4 9,1	34,8 9,4	7,6 2,6	2,1 5,2	1,936 0,059	11,4 1,6	12,6 3,5	1,2 2,5	-7,6 1,3	SE
04			60,2 0,2	33,4 1,8	26,8 1,6	2,81 0,01	37,9 0,1	5,2 3,2	9,0 2,8	9,0 1,4	12,5 6,4	2,5 1,4	5,5 2,8	18,5 9,2	1,698 -	22,1 -	21,6 -	-0,5 -	-11,4 1,8	MH
05	Solo Residual		66,2 6,4	39,5 3,6	26,7 3,8	2,71 0,04	31,8 7,3	9,5 3,8	8,2 3,9	6,4 2,4	9,1 3,3	8,4 2,4	15,7 6,0	10,9 6,9	1,565 0,039	23,0 1,5	23,2 4,2	0,1 3,9	-16,1 4,7	MH
06			56,3 6,9	34,6 4,8	21,7 3,2	2,69 0,02	20,9 6,4	10,7 4,3	8,3 3,7	6,8 1,7	10,1 4,0	12,5 3,7	22,9 7,8	7,8 5,7	1,655 0,046	19,4 1,1	19,2 4,5	-0,2 4,5	-15,2 4,8	SC
07			NP -	NP -	NP -	2,68 0,01	9,3 6,1	9,6 6,1	3,4 2,6	6,2 5,4	32,1 6,9	36,6 18,2	3,0 1,1	0,8 0,9	1,880 0,065	13,1 2,8	12,7 7,5	3,5 7,0	- -	SM
08			NP -	NP -	NP -	2,67 0,01	9,6 5,8	9,6 5,8	1,6 1,1	4,1 1,0	24,3 6,4	45,5 8,7	10,1 9,1	2,3 2,5	1,966 0,020	9,9 0,4	10,4 3,8	1,8 3,3	- -	SM
09	Solo de Alteração		60,0 6,3	35,7 3,4	24,4 4,4	2,69 0,03	17,9 5,2	17,9 5,2	11,7 4,0	7,2 2,8	8,3 2,8	9,0 2,8	21,5 0,7	11,8 5,9	1,621 0,031	20,1 1,2	23,1 4,9	3,0 4,7	-15,5 3,3	MH
10			52,7 8,3	32,8 3,9	19,9 5,1	2,68 0,02	13,5 6,9	13,5 6,9	10,3 3,9	7,8 2,2	9,1 4,7	12,7 2,7	28,8 7,9	7,9 4,1	1,685 0,059	17,9 1,9	21,5 4,3	3,7 4,0	-15,0 2,9	SP
11			64,3 5,6	38,6 2,8	25,7 3,2	2,73 0,04	20,5 3,1	20,5 5,1	15,2 4,6	9,6 3,0	9,4 3,8	8,2 1,9	15,0 5,8	7,8 4,9	1,521 0,041	24,4 2,1	27,9 6,9	3,5 5,9	-14,3 3,6	MH
12			67,7 8,1	40,4 4,8	27,3 3,9	2,82 0,11	27,3 4,8	27,3 4,8	17,1 3,1	10,5 3,1	14,3 4,7	6,7 4,4	4,2 5,0	1,9 2,7	1,489 0,049	27,5 3,1	29,9 5,4	2,4 3,8	-12,8 4,6	MH

\* Média

\*\* Desvio Padrão

Intertechne

ENGEVIX

**E**PCE  
Projetos e Consultorias de Engenharia

Anexo 1-168/178

Lourenço J. N. Babá  
CREA RJ-36084/D

## UHE BELO MONTE

Na tabela citado observa-se que os solos coluvionares foram caracterizados em 4 grupos distintos, denominados como materiais 1, 2, 3 e 4. Os dois primeiros são provenientes das áreas de empréstimo situadas na região do embasamento cristalino e os outros dois, de áreas de empréstimo investigadas na região das rochas sedimentares, associados à litologias típicas.

O material 1, coletado nas áreas de empréstimo D/8, B/13, C/14C, A/19 e B/19, é constituído por areia argilosa, pouco siltosa, com pouco pedregulho, de baixa plasticidade. A sua densidade seca máxima e de media para alta ( $1,71 \text{ gf/cm}^3$ ) apresentando umidade natural 4,6% acima da umidade ótima (18,0%).

O material 2, coletado nas áreas de empréstimo A/10A, B/14D, C/13 e C/19, constituído por argila arenosa, pouco siltosa, de média plasticidade. A sua densidade seca máxima e baixa ( $1,53 \text{ gf/cm}^3$ ), apresentando umidade natural 4,8% acima da umidade ótima (24,5%).

Os 2 tipos de colúvios estão presentes, em menor volume, nas demais áreas pesquisadas na região do embasamento cristalino, porém não foram selecionadas amostras típicas para a execução de ensaios.

O material 3, amostrado nas áreas de empréstimo A/7 e D/8, constituído por uma areia média a fina, argilosa, de baixa plasticidade. A sua densidade seca máxima é alta ( $1,94 \text{ gf/cm}^3$ ) apresentando umidade natural 1,2% acima da umidade ótima (11,4%).

O material 4, coletado na área de empréstimo B/3, constituído por argila silto-arenosa, com pedregulho, de média plasticidade. A sua densidade seca máxima é de média para alta ( $1,70 \text{ gf/cm}^3$ ), apresentando umidade natural, 0,5% abaixo da umidade ótima (22,1%).

O material 5 é o principal representante dos solos residuais, tendo sido amostrado em quase todas as áreas de empréstimo situadas na região do embasamento cristalino. É constituído por argila silto-arenosa, com pedregulho, de média plasticidade. A sua densidade seca máxima é de baixa a média ( $1,57 \text{ gf/cm}^3$ ) apresentando umidade natural 0,2% acima da umidade ótima (23,0%).

O material 6 é o segundo representante dos solos residuais do embasamento cristalino, ocorrendo nas áreas de empréstimo D/8, E/8, A/13, C/13, E/13 e A/20. É constituído por areia silto-argilosa, com pedregulho, de baixa a média plasticidade. A sua densidade seca máxima é média ( $1,66 \text{ gf/cm}^3$ ), apresentando umidade natural 0,2% abaixo da umidade ótima (19,4%).

O material 7, coletado na área de empréstimo A/3, de origem sedimentar, é constituído por areia média a fina, siltosa, pouco argilosa, não plástica. A sua densidade seca máxima é alta ( $1,88 \text{ gf/cm}^3$ ) apresentando umidade natural 0,3% abaixo da umidade ótima (13,0%).

O material 8, existente nas áreas de empréstimo A/7, A/8 e D/8, também de origem sedimentar, constituído por areia média a fina, pouco argilo-siltosa, não plástica. A sua densidade seca máxima é alta ( $1,97 \text{ gf/cm}^3$ ) apresentando umidade natural 0,5% acima da umidade ótima (9,9%).

Dentro das amostras classificadas como solo residual, foram identificados mais 4 materiais, de pouca representatividade, estando 3 deles presentes, nos empréstimos

## UHE BELO MONTE

situados na região do embasamento cristalino, e outro, em empréstimo da região das rochas sedimentares.

Para o solo de alteração foram caracterizados 4 materiais, numerados de 9 a 12, ocorrentes nos empréstimos situados na região do embasamento cristalino.

O material 9, presente na maioria desses empréstimos constituído de areia silto-argilosa, com pedregulho, de média plasticidade. A sua densidade seca máxima e de baixa a média ( $1,62 \text{ gf/cm}^3$ ) apresentando umidade natural 3,0% acima da umidade ótima (20,1%).

O material 10, coletado nas áreas de empréstimo A/10A, A/11, A/13, E/13, B/14D e A/14E, é constituído por areia siltosa, pouco argilosa, com pedregulho, de baixa a média plasticidade. A sua densidade seca máxima é média ( $1,68 \text{ gf/cm}^3$ ) apresentando umidade natural 3,6% acima da umidade ótima (17,9%).

O material 11, amostrado nas áreas de empréstimo A/8, B/8, B/13, A/14C, A/14D e A/14E, é constituído por silte areno-argiloso, com pedregulho, de média plasticidade. A sua densidade seca máxima é baixa ( $1,52 \text{ gf/cm}^3$ ) apresentando umidade natural 3,5% acima da umidade ótima (24,4%).

O material 12, coletado nas áreas de empréstimo A/7, B/7, A/8, A/14A, A/19 e B/19, constituído por silte argilo-arenoso, de média plasticidade. A sua densidade seca máxima é baixa ( $1,49 \text{ gf/cm}^3$ ), apresentando umidade natural 2,4% acima da umidade ótima (27,5%).

Nas amostras classificadas como solo de alteração, foi possível caracterizar, ainda, outros 3 materiais, de ocorrência mais restrita indicando certa heterogeneidade em função do bandejamento das rochas matrizes desse solo.

Destaca-se aqui que os materiais 3, 7 e 8, arenosos, não plásticos, e oriundos dos sedimentos das formações Alter do Chão e Maecuru, não apresentam boas características de permeabilidade e deformabilidade para utilização em barragens de terra. Dessa forma, recomenda-se que esses aspectos sejam melhor avaliados na fase seguinte de projeto, uma vez que esse tipo de material é predominante na região de rochas sedimentares, afetando significativamente, em termos volumétricos, algumas áreas de empréstimo estudadas para os DIK-3 e DIK-4. Esses solos merecem também um estudo mais detalhado para utilização em eventual proteção com solo-cimento e, ainda, para utilização no sistema de drenagem interna.

Na região onde serão implantados os diques da porção sul da área do reservatório intermediário, denominados DIK-19B, DIK-19C, DIK-19D, DIK-19E, DIK-27, DIK-28 e DIK-29, ocorrem as rochas do embasamento cristalino. Nos diques DIK-27, DIK-28 e DIK-29, foram realizadas investigações geológico-geotécnicas para pesquisa de material terroso. Para os demais diques, concebidos nesta etapa do projeto com a eliminação do Vertedouro Complementar do sítio Bela Vista, as suas áreas de empréstimo de material terroso deverão ser investigadas durante os estudos do Projeto Básico Consolidado.

A caracterização geotécnica destes solos está resumida no desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0072, os quais são provenientes das áreas de empréstimos estudadas durante a 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade do Sítio Bela Vista (antigo Juruá).

Para o dique DIK28 e eventualmente o DIK29, foi investigada uma área de empréstimo, através de três sondagens a trado (ST-652, 653 e 654). Neste local,

## UHE BELO MONTE

ocorre superficialmente um colúvio silte argilo-arenoso, com espessura média de 1,5 m. Abaixo, até a profundidade de 5,5 m (limitação adotada para a investigação), ocorre o solo de alteração de migmatito silte areno-argiloso. Foi estimado um volume de 1.600.000 m<sup>3</sup> para esta área de empréstimo.

Para a pesquisa de areias e cascalhos foi selecionada a jazida "I" estudada na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade. A localização e seções típicas desta jazida e a curva granulométrica deste material estão apresentados no desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0066.

As investigações para instalação de pedreiras, baseada somente em mapeamento geológico de superfície, concentraram-se nas áreas próximas à margem esquerda do rio Xingu. O local escolhido foi denominado pedreira "I". Além disso, outras três áreas foram identificadas, conforme mostrado no desenho BEL-B-BM-DE-BTE-100-0005.

### 7.4.2 Diques do Sítio Pimental

Os prováveis pontos de fuga pertencentes ao Sítio Pimental estão situados em terrenos constituídos superficialmente por colúvio/solo de alteração de migmatito. Nesta fase de estudos não foi programada nenhuma investigação além de algumas sondagens a trado, recomendando-se, portanto, a realização de um adequado estudo de caracterização destes materiais, na Fase de Projeto Pré-Executivo. Ressalta-se que os volumes destes pontos de fuga serão reduzidos e poderão ser obtidos em áreas próximas aos mesmos, e posicionadas em porções a serem ocupadas pelo reservatório.

## 8. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- 1 ELETRONORTE/CNEC. Análises Mineralógicas em Amostras de Folhelho - IHX-10V-1175-DT. Brasília, novembro 1985.
- 2 ----- Aproveitamento de Babaquara - Caracterização Geomecânica das Rochas de Fundação - Testemunhos de Sondagens na Área do Vertedouro e Casa de Força - DG-14 GT/09-DT (Tucuruí). Brasília, janeiro 1987.
- 3 ----- Aproveitamento de Babaquara - Geologia da Faixa Montante - IHX-10V-1185-RE. Brasília, novembro 1986.
- 4 ----- Aproveitamento de Babaquara - Mapeamento Geológico do Reservatório. s.n.t.
- 5 ----- Aproveitamento de Babaquara e Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Amostras de Areia e Cascalho: Depósito IV - Babaquara; Depósitos I e III - Sítio KRO; Depósitos II, III, IV e V - Sítio JUR - IHX-10V-1164-DT (Tucuruí). Brasília, setembro 1985.
- 6 ----- Aproveitamento de Kararaô - Diques de Juruá 2 a 12 - Investigações Geofísicas - DG-11 IHX-16V-1003-RE. Brasília, julho 1987.
- 7 ----- Aproveitamento de Kararaô - Diques de Kararaô 3 a 22 - Investigações Geofísicas - DG-01 IHX-16V-1008-RE. Brasília, julho 1987. 2 v.

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

- 8 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios de Bombeamento na Área das Estruturas de Concreto de Kararaô - DG-26 IHX-16V-1022-RE. Brasília, outubro 1987.
- 9 ELETRONORTE/CNEC. Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos - IHX-10V-1150-DT (IPT). Brasília, novembro 1985.
- 10 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório (Sítio JUR) - Amostras de Areia e Cascalho Depósitos I, II, III e IV - IHX-10V-1128-DT (Tucuruí). Brasília, setembro 1983.
- 11 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Amostras de Areia - Depósito 1 - Sítio JUR - IHX-10V-1139-DT (Tucuruí). Brasília, maio 1984.
- 12 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Amostras Deformadas das Áreas de Empréstimo B e C - IHX-10V-1120-DT (Tucuruí). Brasília, julho 1983.
- 13 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Amostras Deformadas das Áreas de Empréstimo D, E e F - IHX-10V-1126-DT (Tucuruí). Brasília, agosto 1983.
- 14 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Amostras Deformadas do Solo de Fundação - Sítio KRO - IHX-10V-1138-DT (Tucuruí). Brasília, maio 1984.
- 15 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Amostras Deformadas do Solo de Fundação - IHX-10V-1121-DT (Tucuruí). Brasília, agosto 1983.
- 16 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Sítio dos Canais de Adução - Amostras Deformadas e Indeformadas da Fundação - IHX-10V-1112-RE. Brasília, março 1983.
- 17 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Sítio KRO - Amostras de Areia e Cascalho dos Depósitos I (complementação) e II - IHX-10V-1157-DT. Brasília, fevereiro 1985.
- 18 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Sítio KRO - Amostras Deformadas da Área de Empréstimo A - IHX-10V-1100-RE. Brasília, outubro 1982.
- 19 ELETRONORTE/CNEC. Aproveitamento de Kararaô Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Sítio KRO - Amostras Deformadas das Áreas de Empréstimo A, B, B/C, D e E - IHX-10V-1169-RE. Brasília, outubro 1985.
- 20 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Sítio JUR - Amostras Deformadas das Áreas de Empréstimo A, B, C, D, E, F, G e H - IHX-10V-1142-DT (Tucuruí). Brasília, julho 1984.

# NORTE ENERGIA - NESA

## UHE BELO MONTE

- 21 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Sítio KRO - Amostras Deformadas da Área de Empréstimo D - (Complementação) - IHX-10V-1141-DT (Tucuruí). Brasília, julho 1984.
- 22 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Sítio KRO - Amostras Deformadas das Áreas de Empréstimo D, E e F - IHX-10V-1130-RE. Brasília, dezembro 1983.
- 23 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Sítio JUR - Amostras Deformadas da Fundação - IHX-10V-1140-DT (Tucuruí). Brasília, julho 1984.
- 24 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório Sítio KRO - Amostras Deformadas de Áreas de Empréstimo Áreas B, C, D, E e F - IHX-10V-1111-RE. Brasília, março 1983.
- 25 ----- Aproveitamento de kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Sítio KRO - Amostras Indeformadas da Fundação - IHX-10V-1158-RE. Brasília, maio 1985.
- 26 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Sítio KRO - Amostras Indeformadas da Fundação - IHX-10V-1110-RE. Brasília, março 1983.
- 27 ----- Aproveitamento de Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Sítios KRO e JUR - Amostras Retiradas em Sondagens Rotativas - IHX-10V-1173-RE. Brasília, novembro 1985.
- 28 ----- Aproveitamento de Kararaô - Fontes de Materiais Argilosos da Região de Altamira para Fins Pozolânicos - IG-04.01 IHX-16V-1002-NT. Brasília, julho 1987.
- 29 ----- Aproveitamento de Kararaô - Fotointerpretação Geológica dos Sítios Kararaô e Juruá. Brasília, novembro 1986.
- 30 ----- Aproveitamento de Kararaô - Geologia Local do Sítio Juruá - RG-02 IHX-16V-1021-RE. Brasília, outubro 1987.
- 31 ----- Aproveitamento de Kararaô - Geologia Local do Sítio Kararaô - RG-10 IHX-16V-1033-RE. Brasília, outubro 1987.
- 32 ----- Aproveitamento de Kararaô - Geologia Preliminar dos Diques do Reservatório IHX-10V-1114-RE. Brasília, março 1983.
- 33 ----- Aproveitamento de kararaô - Investigações Geofísicas Complementares no Sítio da Usina de Kararaô - IHX-10V-1136-RE. Brasília, fevereiro 1984. 2 v.
- 34 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geofísicas nas Áreas de Empréstimo A, B, E e F do Sítio Kararaô - DG-28 - IHX-16V-1041-RE. Brasília, novembro 1987.
- 35 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geofísicas na Barragem Lateral Esquerda e na Ombreira Direita da Barragem do Canal Direito - Sítio Juruá - DG-16 IHX-16V-1012-RE. Brasília, julho 1987.

## UHE BELO MONTE

- 36 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geofísicas nas Áreas de Pedreira do Sítio Juruá - DG-12 IHX-16V-1006. Brasília, maio 1987.
- 37 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geofísicas no Canal de Adução - Alternativa H1 - IHX-10V-1134-RE. Brasília, janeiro 1984.
- 38 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geofísicas no Canal de Adução ao Kararaô - Relatório Final - IHX-10V-1070-DT. Brasília, dezembro 1981.
- 39 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geofísicas no Sítio da Usina de Kararaô - Diques - Sondagens Geofísicas Complementares - IHX-10V-1085-DT. 2 v.
- 40 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geofísicas no Sítio da Usina de Kararaô - Relatório Final - IHX-10V-1084-DT. 2 v.
- 41 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geofísicas no Sítio Juruá - IHX-10V-1137-RE. Brasília, março 1984. 2 v.
- 42 ----- Aproveitamento de Kararaô - Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas no Período de Outubro 1981 e Abril 1984 - IHX-10V-1146-RE. Brasília, setembro 1984. 6 t.
- 43 ----- Aproveitamento de Kararaô - Mapeamento Geológico nos Divisores do Reservatório - IHX-10V-1041-RE. Brasília, outubro 1981.
- 44 ----- Aproveitamento de Kararaô - Mapeamento Preliminar nos Canais de Adução - IHX-10V-1066-RE. Brasília, fevereiro 1982.
- 45 ----- Aproveitamento de Kararaô - Pesquisa de Ouro no Sítio Juruá e Bacajá - IHX-10V-1106-NT. Brasília, dezembro 1982.
- 46 ----- Complexo Hidrelétrico de Altamira - Aproveitamentos Hidrelétricos de Babaquara, Sítio Bab I e Kararaô, Sítio Juruá - IHX-10V-1135-DT (Tucuruí). Brasília, maio 1984.
- 47 ----- Complexo Hidrelétrico de Altamira - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Sítio JUR Amostras de Solo - Áreas de Empréstimo E, I, J e K - IHX-10V-1152-DT (Tucuruí). Brasília, novembro 1984.
- 48 ----- Complexo Hidrelétrico de Altamira - Ensaios Geotécnicos de Laboratório - Sítios KRO e JUR - Amostras de Areia e Cascalho - Depósitos I e III - KRO e Depósitos V e VI - JUR - IHX-10V-1153-DT (Tucuruí). Brasília, novembro 1984.
- 49 ----- CPRM - Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, escala 1:1.000.000, folha SA 22 - Belém, 2004.
- 50 ----- Descrições de Lâminas Petrográficas de Rochas da Região de Kararaô e Juruá - DG-29 IHX-16V-1044-RE. Brasília, dezembro 1987.
- 51 ELETORNORTE/CNEC. Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu. Brasília, janeiro 1980.

## UHE BELO MONTE

- 52 ----- Estudos Xingu - Complexo Hidrelétrico de Altamira In: REUNIÃO DA JUNTA DE CONSULTORES, 1 - IHX-10V-0081-RE. Brasília, agosto 1983.
- 53 ----- Estudos Xingu - Complexo Hidrelétrico de Altamira - In: REUNIÃO DA JUNTA DE CONSULTORES, 5 - IHX-10V-0054-RE. Brasília, agosto 1982.
- 54 ----- DALL'AGNOL, R. et. Al. Estado Atual do Conhecimento Sobre as Rochas Granitóides da Porção Sul da Amazônia Oriental.
- 55 ----- Ensaio com Sonda Hidráulica Multiteste e com o Obturador de Impressão no Sítio Kararaô, Rio Xingu - IHX-16V-1014-DT - DG-04; outubro 1987. 3 v.
- 56 ----- Ensaio Laboratoriais em Testemunhos de Sondagem Provenientes da Fundação do Aproveitamento de Babaquara. DG-01 GT/015-DT (IPT). Brasília, fevereiro 1987.
- 57 ----- HIRATA, W.K. et. Al. Geologia Regional da Província Mineral do Carajás. In.: Simpósio de Geologia da Amazônia I. Belém, 1982. Atlas. Belém, SBG, v.1, 100-110.
- 58 ----- Estudos Sismológicos; Complementação do relatório 4.0 6 - IHX-10V-1155-DT. Brasília, setembro 1984.
- 59 ----- Ocorrência de Blocos nas Áreas de Empréstimo do Sítio Juruá - NG-01 IHX-16V-1009-NT. Brasília, julho 1987.
- 60 ----- Recursos Minerais em Áreas de Projetos Hidrelétricos - PPM-004-84. Brasília, novembro 1984.
- 61 ----- UHE Kararaô - Caracterização Tecnológica de Rochas de Fundação - Sítio Juruá - DG-10 IHX-16V-1023-DT. Brasília, outubro 1987.
- 62 ----- UHE Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Área de Empréstimo B/C - Amostra Deformada Proveniente de Sondagens a Trado - DG-03 GT/025-RR. Brasília, outubro 1987.
- 63 ----- UHE Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Áreas de Empréstimo de Kararaô - Amostras Deformadas Provenientes das Sondagens a Trado Executadas nas Áreas B, C, D, E e F - DG-09 GT/014-RR. Brasília, abril 1987.
- 64 ----- UHE Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Barragens do Santo Antonio e do Aturiá - Amostras Indeformadas dos Solos das Fundações - DG-07 GT/027-RR. Brasília, novembro 1987.
- 65 ----- UHE Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório - Fundação Juruá - Amostras Indeformadas de Solo da BCD, BCC, DIK-21 e DIJ-01 - DG-14 GT/111-RR. Brasília, abril 1987.
- 66 ----- UHE Kararaô - Ensaio Químicos em Amostras de Solos das Fundações - DG-27 IHX-16V-1039-DT. Brasília, novembro 1987.
- 67 ----- UHE Kararaô - Geologia do Reservatório - RG-01 IHX-16V-1031-RE. Brasília, outubro 1987.



## UHE BELO MONTE

- 68 ----- UHE Kararaô - Geologia dos Diques - RG-11 IHX-16V-1030-RE. Brasília, outubro 1987.
- 69 ----- UHE Kararaô - Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas no Período de julho 1986 a julho 1987 - DG-23 IHX-16V-1032-RE. Brasília, outubro 1987. 4 t.
- 70 ----- UHE Kararaô - Materiais Naturais de Construção - RG-04 IHX-10V-1025-RE. Brasília, outubro 1987.
- 71 ----- UHE Kararaô - Condições de Fundação das Obras - RG-03 IHX-16V-1026-RE. Brasília, outubro 1987. 2 v.
- 72 ----- UHE Kararaô - Ensaio Geotécnicos de Laboratório Áreas de Empréstimos de Juruá - Amostras Deformadas de Solo das Áreas A, B, C, D, E, F, G, H, I, J E K - DG-13 GT-13-RR. Brasília, março 1987.
- 73 ----- UHE Kararaô - Tomada d'Água - Casa de Força - Investigações Geofísicas - DG-25 IHX-10V-1013-RE. Brasília, setembro 1987.
- 74 ----- Viabilidade do Complexo Hidrelétrico de Altamira - Recursos Minerais - Situação Legal das Áreas e Anexo - IHX-10V-1194-RE. Brasília, julho 1986.
- 75 ELETRONORTE/CNEC – AHE Kararaô. Estudos de Viabilidade – Relatório final (1989), Apêndice 3, Tomos I e II.
- 76 UNB – Observatório Sismológico – Sismicidade da região da futura UHE de Belo Monte/PA (contrato FUB/ELETRONORTE), janeiro 2001.
- 77 ELETRONORTE – Mapeamento geológico-geotécnico dos Sítios Pimental, Bela Vista e Canais de Derivação Esquerdo e Direito, Relatório BEL-V-10-190-0157 RE, janeiro 2001.
- 78 SERGIO BRITO CONSULTORIA – Relatório de Viagem a Belo Monte, março 2001.
- 79 ELETRONORTE – Ensaio em materiais da UHE Belo Monte: areia aluvionar – Relatório PTC-USG-99-0305, Lab. de Materiais de Construção – Concreto da UHE Tucuruí, maio 2001.
- 80 ELETRONORTE – Relatório de ensaios geotécnicos – empréstimo de solos, jazidas e solos de fundação – Relatório PTC-USG-99-0346, Lab. de Materiais de Construção – Solos/Concreto da UHE Tucuruí, junho 2001.
- 81 GEOTEC – Levantamento sísmico por refração para investigação das fundações da UHE Belo Monte(PA) – Relatórios nº 001/01/março 2001 e 004/01/abril 2001.
- 82 PROGEO Engenharia/GEOWORK Estudos Ambientais – Levantamento sísmico de reflexão e batimetria na área do Sítio Pimental e do Sítio Ilha da Fazenda no rio Xingu – Estado do Pará, outubro 2001.
- 83 PROGEO Engenharia – Relatórios de sondagens RPS-056/01 e RPS-060/01, outubro 2001.

## UHE BELO MONTE

- 84 GEOTEC – Serviços de sondagens sísmicas por refração, referente ao estudo de Viabilidade da UHE Belo Monte – Altamira(PA) – Relatório nº 013/01/novembro 2001.
- 85 PROGEO Engenharia – Relatórios de sondagens RPS-051/09 e RPS-051A/09, junho 2009.
- 86 ALTA RESOLUÇÃO – Levantamento geofísico por sísmica de refração para subsídio aos estudos de investigações geológico-geotécnicas complementares da UHE Belo Monte – Trecho do Canal da Junção – Rel. R09/junho 2009.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. PROBLEMAS GEOMORFOLÓGICOS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA. IN: ATAS DO Simpósio sobre a Biota Amazônica, Geociências. Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Pesquisas, p. 35-67, 1967.
- ADAMY, A. Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais. Folha SC. 20 Porto Velho. Porto Velho, DNPM/CPRM, 1984.
- ALMEIDA, F.F.M. de et alii. Províncias Estruturais Brasileiras. In.: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977.
- ALMEIDA, F.F.M. de et alii. Brazilian Structural Provinces; an introduction. Amsterdam, 1981.
- ASSUMPÇÃO, M. e BURTON, P. W. Atenuação das intensidades macrossísmicas no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais... Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, 1982.
- BERROCAL, J., ASSUNÇÃO, M., ANTEZANA, R., DIAS NETO, C.M., ORTEGA, R., FRANÇA, H., VELOSO, J.A.V., - Sismicidade do Brasil, 1984.
- BOLT, B. A. Earthquakes, New York (W.H.Freeman), 1988.
- BRAUN, O.P.G. Projetos Básicos de Geologia na Região Amazônica. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, Belém, 1972. Anais... São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1972.
- CORDANI, U.G. et alii. Evolução Tectônica da Amazônia com Base nos Dados Geocronológicos. In.: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 2, Arica, 1979. Actas ... Arica, s.n.t.
- COWARD, M.P. Shear Zones in Precambrian Crust of Southern Africa. 1980. In.: Journal of Structural Geology, v.2.
- HASUI, Y. et alii. Elementos Geofísicos e Geológicos da Região Amazônica; Subsídio para o Modelo Geodinâmico. In.: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 2, Manaus, 1984. Anais ... Manaus, DNPM /CNPq, 1984.
- HOEK, E. & DIEDRICHS, M. Dips, version 2.0 – Users manual-Advanced Version. Rock Engineering Group, Department of Civil Engineering, University of Toronto, 1989.
- ISSLER, R. S. et alii. Geologia. In.: BRASIL. DNPM. Projeto RADAM. Folha SA.22. Belém. Rio de Janeiro, 1974.
- IUGS - Subcomission on the Systematics of Igneous Rocks. Plutonic Rocks. In.: Geotimes. American Geologic Institute. 18(2) il. P. 26-30. Washington, 1974.

---

## UHE BELO MONTE

LESTRA, A. D. & NARDI, J. 1. S. O Ouro da Amazônia Oriental; O Mito e a Realidade. Belém, Gráfica, 1984.

LIMA, M.I.C et al. Geologia. In.: Brasil, Departamento Nacional da Produção Mineral - Levantamento de Recursos Naturais, 6. Folha NA/NB.22 Macapá. Rio de Janeiro, 1974.

LIMA, M. I. C. Compartimentação Lito-Estrutural do Cráton Amazônico (Brasil) e suas Potencialidades Metalogenéticas. In.: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, Belém, 1985. Anais ... Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 1985.

MACAMBIRA, E. M. B. et alii. Projeto Sulfetos de Altamira - Itaituba; Relatório Final. Belém, DNPM/CPRM, 1977.

MARTINS, R. C. & ARAÚJO, O. J. B. Projeto Integração Geológico-Geofísica, Sul do Pará; Relatório Final. Belém, DNPM/CPRM, 1979. 6v.

MEHNERT, K.R. Migmatites and the Origin of Granitic Rocks. Amsterdam, 1968. Elsevier.

MELO, A.F.F. de et al. Aspectos Geológicos da Região dos Rios Piranha e Tocantins - Setor sudoeste do Estado do Pará. In.: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, Belém, 1985. Anais. P 165-181. Belém, 1985.

SADOWSKI, G. R. Sobre a Geologia Estrutural de Cinturões de Cisalhamento Continentais. São Paulo, 1983.

SANTOS, D. B. dos et alii. Geologia. In.: BRASIL. DNPM. Projeto RADAM. Folha SB.21 Tapajós. Rio de Janeiro, 1975.

SANTOS, M. V. dos. Fotointerpretação Geológica dos Sítios Kararaô e Juruá. Brasília, 1983.

SANTOS, M. V. dos. Planejamento de Trabalhos Geológicos na Amazônia para Fins de Estudos Hidroenergéticos. São Paulo, 1986.

SEDERHOLM, J. J. Granites and Migmatites. Edinburg, London, Olivier & Boyd, 1967.

SILVA, G. G. et alii. Geologia. In.: BRASIL. DNPM. Projeto RADAM. Folha SB.22 Araguaia e parte da SC 22. Tocantins. Rio de Janeiro, 1974.

STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. Earth-Science Reviews, 12 (1976), 1-133.