

APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE SÃO FÉLIX USINA CANA-BRAVA

ESTUDOS DE VIABILIDADE

RELATÓRIO FINAL

RIL - 002

VOLUME I

TEXTO

DART.T	
RELATÓRIO	
N. 8680	CÓPIA 3
Volume (s)	1



DEZ 1987

DISPOSIÇÃO GERAL DO PROJETO SELECIONADO **11**

ESTUDOS DO MEIO AMBIENTE **12**

ÁREA DO RESERVATÓRIO **13**

ESTIMATIVA DE CUSTOS **14**

ASPECTOS ENERGÉTICO-ECONÔMICOS **15**

ADENDO

INVESTIGAÇÕES E ESTUDOS SOBRE CONCRETO **16**
COMPACTADO A ROLO RICO EM PASTA

17

18

19

20

RIL-002
RO
DEZ87



CAPÍTULO 1

APRESENTAÇÃO, SUMÁRIO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. APRESENTAÇÃO, SUMÁRIO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apresenta-se nas páginas seguintes, o relatório final dos Estudos de Viabilidade da Usina Hidroelétrica Cana-Brava que complementará juntamente com a UHE Serra da Mesa, atualmente em construção, o Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix na alta bacia do rio Tocantins. O relatório mostra a usina Cana-Brava, com detalhes suficientes para atender os requisitos de FURNAS, em acordo com o plano de trabalho de serviços de engenharia definido no Contrato nº 8064, entre FURNAS - Centrais Elétricas S.A. e a IESA - Internacional de Engenharia S.A., firmado em 06 de novembro de 1986.

A área do projeto durante o processo executivo do trabalho, foi prospectada, visitada e estudada por pessoal técnico de FURNAS e da IESA, os quais obtiveram, coletaram e analisaram todos os dados e informações pertinentes de engenharia, meio ambiente e econômico-financeiros. A equipe de trabalho da IESA elaborou especificações e programações para investigações de campo, as quais foram executadas por FURNAS e acompanhadas pela IESA.

Assim que se tornaram disponíveis os primeiros resultados de investigações de campo adicionais, programadas logo no início dos trabalhos, foram iniciados novos estudos de alternativas, arranjos gerais e de estimativas de custos e de benefícios, integrando um processo progressivo de avaliação e aprofundamento que avançou na medida em que novos dados e informações foram sendo incorporadas ao conhecimento.

O projeto Cana-Brava, resultou da revisão cuidadosa de seleção de divisão de queda no Alto Tocantins, nela considerados os primitivos estudos iniciados pela CELG - Centrais Elétricas de Goiás na década de 60 sobre o aproveitamento de cabeceira de São Félix e o desenvolvimento que se seguiu com os estudos da CIVAT - Comissão Interestadual dos Vales do Araguaia e Tocantins, ENERAM - Comitê Coordenador dos Recursos Energéticos da Amazônia, ELETROBRÁS e ELETRONORTE.

O esquema final selecionado da partição de queda, dentre 36 esquemas diferentes de combinação de barragens, na área de concessão de FURNAS, incluiu Cana-Brava como complemento da usina Serra da Mesa, imediatamente a montante, sendo essas duas usinas um desdobramento do primitivo aproveitamento de São Félix. Esta solução, conforme comprovado no Capítulo 11 do relatório RBU-002 - Inventário Final - Alto Tocantins - Curso Principal do Rio, que apresenta além dos resultados do inventário final o aprofundamento das investigações de campo e dos estudos em Cana-Brava de seleção do eixo de barragem, constituiu-se em ponto-chave de planejamento, proporcionando uma economia da ordem de US\$ 85 x 10⁶ (oitenta e cinco milhões de dólares) porque permite a realização de obras de controle

e desvio do rio em Cana-Brava reduzidas, para atender apenas à descarga incremental, durante a fase de enchimento do reservatório de Serra da Mesa.

A determinação do N.A. Máx. Normal do reservatório e, portanto, da altura da barragem em Cana-Brava e de Peixe a jusante, resultaram de estudos de arranjos gerais e de custos, com simulação de operação energético-econômica da usina integrada ao sistema interligado.

Os estudos conclusivos de arranjos gerais e de custos, seja para a seleção de alternativa, como para a alternativa selecionada, sucederam aos trabalhos de levantamento e mapeamento topográfico do local da obra, em escala 1:2.000 com curvas de nível a cada metro. A topografia preliminar, utilizada na fase antecedente de inventário final não se mostrou suficiente para os propósitos do projeto de viabilidade.

Ênfase especial foi dada aos estudos do meio ambiente físico, biológico e sócio-econômico e cultural, objetivando a compatibilização com a implantação da hidroelétrica.

A usina Cana-Brava situa-se em um trecho onde o rio Tocantins forma um meandro de 15 km. O início do meandro a montante está caracterizado por uma brusca mudança de 180° na direção do escoamento fluvial, onde o curso do rio é desviado do norte para o sul, retomando a seguir a sua direção primitiva, contornando um corpo de rochas básicas e ultra-básicas. Esse alinhamento configura uma garganta bastante aberta que poderia ter sido o curso natural do rio. Na garganta existem dois talwegues com drenagem para montante (início do meandro) e para jusante (término do meandro), separados por linha de cumeada que constitui uma sela topográfica, cuja cota está aproximadamente na El. 315,00 m, portanto abaixo do N.A. Máx. Normal na El. 333,00 m.

A peculiaridade fisiográfica singular, topográfica e geológica do meandro permitiram as concepções de alternativas de projeto considerando no leito principal do rio uma barragem principal e no talvegue de jusante uma barragem secundária ou um dique no topo da sela topográfica. Para a definição de seleção de alternativa de projeto, determinados o local e o eixo da barragem e com base nas investigações geológicas e geotécnicas de campo e de laboratório e de pesquisas sobre materiais de construção e de custos, foi incluído estudo sobre o tipo de barragem, sendo comparadas alternativas de barragens de terra e de concreto compactado a rolo, rico em pasta. As barragens foram associadas às estruturas permanentes, conforme as alternativas estudadas que se seguem:

● Alternativas em Barragens de Terra:

- Alternativa "A" - Túnel para desvio reduzido e usina geradora na ombreira esquerda da barragem principal e vertedouro no lado direito da barragem secundária;

- Alternativa "B" - Túnel para desvio reduzido na ombreira esquerda da barragem principal - usina geradora e vertedouro no lado direito da barragem secundária;
- Alternativa "C" - Usina geradora e vertedouro na margem direita e dique na sela topográfica.
- Alternativa em Barragem de Concreto Compactado a Rolo, Rico em Pasta
- Alternativa "D" - Barragem principal de concreto compactado rico em pasta com usina geradora e adufas para desvio reduzido na margem direita, vertedouro no leito do rio e dique na sela topográfica.

Embora as análises de custo mostrem uma menor estimativa de custo, da ordem de 4,3%, favorecendo a barragem de concreto compactado a rolo, rico em pasta, foi selecionada como projeto de viabilidade, a alternativa de barragem de terra - Alternativa A - considerando-se o que se segue:

- O tempo disponível durante os estudos de viabilidade não foi suficiente para completar as pesquisas em escala de laboratório e em pista experimental da solução em concreto compactado, que comprovasse os parâmetros de projeto e de custo.
- A necessidade da melhor comprovação dos custos tendo em vista o envolvimento de uma solução ainda inédita no Brasil, na área de Construção de Barragens.
- A necessidade de se estudar em maior profundidade o esquema de abastecimento de escória de alto forno, único material disponível à dosagem do concreto.

Dessa forma, foi adotada a solução da Alternativa A recomendando-se, ainda, a continuação dos estudos do concreto compactado, no sentido de melhorar o conhecimento, esclarecendo as questões apresentadas acima e que levaram à não adoção da solução em concreto compactado.

O relatório de viabilidade está apresentado em dez volumes, conforme segue-se:

- Volume I - Texto
- Volume II - Desenhos
- Volume III - Meio Ambiente
- Volume III-A - Meio Ambiente - Desenhos
- Volume III-B - Meio Ambiente - Anexos
- Volume IV - Estudos Energético-Econômicos
- Volume V - Estudos Geológico-Geotécnicos

RIL-002
RO
DEZ/87



- Volume VI - Logs
- Volume VII - Fotos de Testemunhos

O Quadro 1.1 mostra em resumo os principais dados técnicos e características da UHE Cana-Brava.

ESTUDOS DE VIABILIDADE

EMPRESA: FURNAS - CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

PROJETO: USINA HIDROELÉTRICA DE CIMA-BRAVA

BARRAGEM DE TERRA

FICHA RESUMO

1 - LOCALIZAÇÃO (VCM)

RIO	SUB-BACIA:	BACIA:	UNID. FED.
TOCANTINS	TOCANTINS	TOCANTINS	GO
LAIT. 13°24' S	DIST. DA POZ 1730 km	MUNICÍPIO M. DIR.4 CAVALEIRATE	
LONG. 48°09' W		MUNICÍPIO M. ESQ.: MINAÇÃO, TOCANTINS	
POST. FLUV. COD.: 210050000	NODE: SÃO FELIX	RIO PARANALTA	AR. 57062 km ²
DE REFER. COD.:	NODE: FAZENDA REBÃO	RIO PARANALTA	AR. 51389 km ²

2 - DADOS HIDROELETROELÉTRICOS

ÁREA DE DRENAGEM	57.777 km ²	VAZÃO FIRMES (95%)	200 m ³ /s
PREC. MÉD. ANUAL (BACIA)	1.460 mm	VAZÃO MÁX. REGISTRADA	9684 m ³ /s
PREC. MÉD. ANUAL (ZONA RESERV.)	1.120 mm	VAZÃO MÁX. REGISTRADA	84 m ³ /s
EVAP. MÉD. ANUAL (ZONA RESERV.)	903,9 mm	VAZÃO DE EFICIENTE (EXP. AMORT. 7761 m ³ /s)	7761 m ³ /s
VAZÃO MÍN. PERÍODO CRÍTICO	820 m ³ /s	VAZÃO DE DESVIO (TR: 25 anos)	1200 m ³ /s
VAZÃO MÉDIA PERÍODO CRÍTICO	716 m ³ /s	VAZÃO REGULARIZADA	460 m ³ /s
VAZÕES MÍNIMAS MENSUAIS (m ³ /s)	536 554 692 554 317 212 170 122 100 110 176 403		
EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSUAL (mm)	51,1 41,3 50,0 51,1 72,0 73,5 106,7 135,5 127,0 87,5 59,8 48,4		

3 - RESERVAÇÃO E ENERGIA

N.A.S. DE MONTANTE:

MÁX. MÁXIMORIM	334,67 m	INUNDADA (N.A. MÁX. MÁXIMORIM)	149,2 km ²
MÁX. NORMAL	333,00 m	NO N.A. MÁX. NORMAL	138,7 km ²
MÉDIO	333,00 m	NO N.A. MÍN. NORMAL	120,0 km ²
MÍN. NORMAL	330,00 m	VOLUMES:	
N.A.S. DE JUSANTE:		NO N.A. MÁX. NORMAL	2,3 10 ⁹ m ³
MÁX. EXERCICIONAL	305,8 m	ÓTIL.	- 10 ⁹ m ³
MÉDIO	287,8 m	ÓTIL. À MONTANTE	43,25 10 ⁹ m ³
NORMAL	287,0 m	MORNO	2,3 10 ⁹ m ³
MÍNIMO	286,3 m	VIDA ÓTIL. RESERVAÇÃO	2020 anos
QUEDAS:		VAZÃO REG. LÍQ. PER. CRT. (JUN/52/NOV/56)	850 m ³ /s
BRUTA MÁX.	46,0 m	COEFICIENTE DE REGULARIZAÇÃO	103,7 %
LÍQUIDA MÁX.	45,1 m	ENERGIA FIRMES	291 MW médio

4 - BARRAGENS E DIÇES

TIPO: TERRA	ESCAVAÇÃO COMUM	2.089.470 m ³
COMP. TOTAL CRISTA	ENFOCAMENTO	2.282.000 m ³
ALTURA MÁX.	SOLO AREILHOSO	4.522.000 m ³
OTA CRISTA	RANDOM	-
E.L.: 336,00 m	FILTROS E TRANSIÇÕES	686.000 m ³

5 - DESVIO

TIPO: TÚNEL REVESTIDO NA MARGEM ESQUERDA

VAZÃO FIRMES (TR: 10 anos)

836 m³/s

ESCAVAÇÃO COMUM

988.066 m³

TÚNEIS/CONDUITOS/CONDUITOS FORÇADOS

1 unid

ESCAVAÇÃO ROCHA

641.170 m³

SEÇÃO

119 m²

CONCRETO

8.900 m³

COMP.

324 m

ENSCADEIRAS: Incorporada na barragem principal

6 - SISTEMA EXTRAVASOR

TIPO: VEREDOR DE SUPERFÍCIE

VAZÃO DE PROJETO

17.500 m³/s

COMPORTE TIPO SENOR

COXA DA SOLEIRA

314 m

LARGURA

15 m

COMP. TOTAL

208 m

LARG. TOTAL

111 m

NÚMERO DE VÃOS

6 unid

ACONCHAMENTO HIDRÁULICO

DISSIPAÇÃO DE ENERGIA SALTO DE ESCUT (FLIP-BUCKER)

ESCAVAÇÃO COMUM

1.454.610 m³

CONCRETO

128.300 m³

ESCAVAÇÃO ROCHA

1.404.990 m³

7 - SISTEMA ADUTOR

TIPO: SISTEMA ADUTOR

CONDUITO DE ADUÇÃO

300 m

NORMA D'ÁGUA TIPO GRAVIDADE

CONCRETO

3 unid

LARGURA

70 m

ALTURA

26 m

ESCAVAÇÃO COMUM

383.410 m³

LARGURA

81 m

ESCAVAÇÃO ROCHA

673.750 m³

CONCRETAS TIPO VAZÃO

CONDUITOS FORÇADOS

3 unid

LARGURA

8 m

DÍAMETRO INTERNO

10 m

ALTURA

11 m

OPERAMENTO MÉDIO

45 m

ACONCHAMENTO HIDRÁULICO

PESO TOTAL

705 t

ESCAVAÇÃO COMUM

51.190 m³

ESCAVAÇÃO ROCHA

342.360 m³

CONCRETO

77.480 m³

ESCAVAÇÃO COMUM: Incluído na t. d'água

ESCAVAÇÃO ROCHA: Incluído na t. d'água

CONCRETO: Incluído na t. d'água

8 - CASA DE MÁQUINAS

TIPO: ABERTADA

CONCRETO TOTAL

35,7 m³

Nº UNID. GERADORES

3 unid

ESCAVAÇÃO COMUM

330.070 m³

LARGURA DOS BLOCOS DAS UNIDADES

27 m

ESCAVAÇÃO ROCHA

304.400 m³

LARGURA DO BLOCO DE SERVIÇO

54 m

CONCRETO

83.590 m³

9 - TURBINAS

TIPO: FRANCIS

ROTAÇÃO SÍNCRONA

85,71 rpm

NÚMERO UNIDADES

3 unid

VAZÃO MÁX. UNID. Queda de PROJ.

422 m³/s

POTÊNCIA UNID. (NOMINAL)

165 MW

RENDIMENTO MÁXIMO

93 %

POTÊNCIA UNID. (MÁXIMA)

165 MW

PERDA HIDRÁULICA

0,9 m

QUEDA DE PROJETO

42,0 m

10 - GERADORES

POTÊNCIA UNID. (NOMINAL)

168 MVA

RENDIMENTO MÁXIMO

98,5%

POTÊNCIA UNID. (MÁXIMA)

168 MVA

PROR DE POTÊNCIA

0,95

ROTAÇÃO

85,71 rpm

11 - CUSTOS

DATA DE REFERÊNCIA (MÊS/ANO) JUN/87

TAXA DE CâMBIO: US\$ 1,00 a C\$ 39,90

11.1 - RESUMO POR ÍTEM DE SERVIÇO

QUADRO 1.1

DISCRIMINAÇÃO	VALORES EM 10 ³ C\$ BQ			
	BSN	BSI	TOTAL	%
AQUISIÇÃO DE TERRAS E BENEFÍCIOS	422.301		2,79	2,14
RELOCAÇÕES	554.602		3,67	2,81
OBRAS CIVIS DA USINA	6.717.701		44,44	34,06
EQUIPAMENTOS PERMANENTES	5.388.129		35,65	27,32
OUTROS CUSTOS	294.843		1,95	1,49
EVENTUAIS	1.737.230		11,49	8,81
CD = CUSTO DIRETO	15.114.806		100,00	76,63
CANTEIRO E ACOMODAMENTO	1.103.198		7,30	5,59
ENGENHARIA	981.933		6,50	4,98
ADMINISTRAÇÃO	1.923.452		12,73	9,75
EVENTUAIS	601.287		3,98	3,05
CI = CUSTO INDIRETO	4.609.870		30,50	23,37
CT = CUSTO TOTAL	19.724.676		130,50	100,00
JUROS DIANTE A CONSTRUÇÃO	4.814.222		31,85	24,41
TOTAL	24.538.898		162,35	124,41

11.2 - RESUMO POR CONTA

CONTA	TOTAL	COMPOSIÇÃO
	10 ³ C\$ BQ	CD CT
.10	1.157.141	7,66 5,87
.11	1.486.918	9,84 7,54
.12	7.129.094	47,17 36,14
.13	4.885.972	32,33 24,77
.14	392.279	2,60 1,99
.15	63.403	0,42 0,32
.16	-	- -
CD	15.114.806	100,00 76,63
CI	4.609.870	30,50 23,37
CT	19.724.676	130,50 100,00
JUROS	4.814.222	31,85 24,41
TOTAL	24.538.898	162,35 124,41

11.4 - CRONOGRAMA DE INVESTIMENTOS

CUSTO TOTAL	PREVISÃO		
ANO	10 ³ C\$	% ANUAL	% ACUMULADA
1990	4.601.611	18,752	18,752
1991	6.669.663	27,180	45,932
1992	9.579.038	39,036	84,968
1993	2.799.763	11,410	96,378
1994	888.823	3,622	100,00
TOTAL	24.538.898	100,00	

11.3 - CUSTOS UNITÁRIOS US\$ 615.010

DISCRIMINAÇÃO	US\$/M ³
DA UHE	1,281
INCREMENTAL DE PROVISÃO	-
INCREMENTAL DE MÁQUINAS	-
INCREMENTAL DE PONTA	-

CAPÍTULO 2

INTRODUÇÃO

ÍNDICE

	Página nº
1. OBJETIVO	2.1
2. ESCOPO	2.1
3. AUTORIZAÇÃO	2.3
4. JUSTIFICATIVA DOS ESTUDOS	2.4
5. ORGANIZAÇÃO DOS ESTUDOS	2.4
5.1 Bases do Planejamento dos Estudos	2.4
5.2 Condicionantes Metodológicos	2.5

2. INTRODUÇÃO

1. OBJETIVO

Este relatório expõe os resultados do esforço conjunto em investigações e estudos conduzidos por FURNAS - Centrais Elétricas S.A. e IESA - Internacional de Engenharia S.A. para a UHE Cana-Brava. O objetivo próprio do relatório é o de apresentar os estudos de viabilidade técnica e econômica do projeto, que com a UHE Serra da Mesa, atualmente em construção, complementará o Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix. Dentro deste objetivo, portanto, considerou-se a precedência das decisões para partição de queda na seleção do local, com vistas ao aproveitamento ótimo do potencial hidroenergético do Alto Tocantins, que culminou pelo desdobramento do Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix nas Usinas Serra da Mesa e Cana-Brava.

2. ESCOPO

O escopo de trabalho inicialmente definido na proposta de serviços da IESA, convertido em contrato, em resumo inclui:

- Programações de Investigações e Trabalhos de Campo e de Laboratório
- Topografia e Batimetria Complementares - análises de mapeamento topográfico e batimétrico existente, objetivando as necessidades de execução de serviços topográficos de campo e batimetria adicionais ao nível dos estudos de viabilidade.
- Geologia e Geotecnia - programações e especificações para investigações de campo e de laboratório para condições de fundação relativas à barragem principal no leito do rio Tocantins e barragem secundária ou dique na sela topográfica de jusante, com respectivas estruturas associadas; programações e especificações para investigações de materiais de construção, incluindo-se áreas de empréstimos de solos argilosos nas duas margens do rio Tocantins e agregados para concreto considerando-se jazidas de areia e cascalho no leito do rio e pedreiras em ambas as margens; programações e especificações para exploração e reconhecimentos de campo relativos à estabilidade e estanqueidade do reservatório.
- Hidrometria e Hidrologia - coleta e análise de dados hidrométricos objetivando a programação de aquisição de novas informações para a determinação com maior precisão de curvas-chave no local e perfis de nível d'água.

- Acompanhamento, Avaliações e Análises de Resultados de Investigações Geológico-Geotécnicas e de Trabalhos de Campo

Incluíram-se nesses trabalhos a classificação de testemunhos de sondagens mistas e rotativas, reconhecimentos e explorações de campo para determinação de áreas de empréstimos e jazidas de materiais de construção, classificação de perfis de poços em áreas de empréstimos e de materiais para agregados de concreto em pedreiras e jazidas; execução de perfis de furos de sondagens, poços e seções geológicas; estudos de perfis geotécnicos de fundações de barragens e estruturas de concreto e de terra; execução de perfis e seções geotécnicas para escavações de taludes em solos de capeamento e no maciço rochoso, análises de resultados das investigações de campo e de ensaios em laboratório.

- Estudos de Seleção do Tipo de Barragem e de Arranjo Geral
 - Programações e especificações para ensaios tecnológicos de campo e de laboratório, de agregados para concreto, objetivando estruturas de concreto convencional e de concreto compactado rico em pasta.
 - Estudos de alternativas de projeto e de arranjo geral - objetivando a seleção do tipo de barragem e de arranjo das estruturas para barragens de terra, barragem mista de terra e de concreto convencional e de barragem de concreto compactado rico em pasta; associação de arranjos em eixos selecionados no rio Tocantins para barragem principal e na área topográfica de jusante para a barragem secundária ou dique.
- Ajustamento em Curvas de Descargas em Canal de Fuga, Incluindo Estudos de Remanso
- Elaboração de Estudos de Hidrologia
 - Atualização de dados hidrológicos consistidos com o projeto de Serra da Mesa.
 - Estudos de onda e borda livre.
 - Estudos de enchimento e assoreamento do reservatório.
- Avaliações de Potências e Preparo de Dados para Simulação de Operação no Sistema de FURNAS e Sistemas Elétricos Interligados
- Avaliações de Estudos Econômico-Energéticos Elaborados por FURNAS
- Estudos de Desvio do Rio e Etapas de Construção
- Pré-Dimensionamento das Estruturas Principais

- Elaboração Final do Arranjo Geral com Base nos Dados Definitivos da Viabilidade
- Estudo Preliminar e Disposição do Canteiro de Serviço
- Estudo Preliminar de Localização do Pátio de Manobras
- Estudos sobre Estabilidade de Encostas e Estanqueidade do Reservatório
- Estudos sobre Sismicidade
- Especificações Técnicas de Equipamentos Permanentes
- Diagrama Unifilar
- Estimativas de Custos
- Estudos do Meio Ambiente Físico, Biológico e Sócio-Econômico e Cultural
- Plano de Levantamento - constando de coleta de dados e pesquisas de campo e bibliografia a fim de caracterizar o meio ambiente físico, biológico, sócio-econômico e cultural da área de influência da hidroelétrica.
- Plano de Controle Ambiental - consistindo nos estudos das alterações, que ocorrerão nos 3 (três) meios ambientes e respectivos programas de manejo ambiental.
- Plano de Utilização - definindo as diretrizes para a exploração adequada do potencial representado pelo reservatório.
- Plano de Desapropriação - constando dos estudos da área a desapropriar e das recomendações para a condução desse processo.
- Relatórios Mensais de Andamento
- Relatório Final de Viabilidade

3. AUTORIZAÇÃO

Os estudos foram autorizados através do contrato nº 8064 entre FURNAS - Centrais Elétricas S.A. e IESA - Internacional de Engenharia S.A., em 06 de novembro de 1986, com vigência a partir desta data.

4. JUSTIFICATIVA DOS ESTUDOS

Os estudos da UHE Cana-Brava encontram plena justificativa a partir do desdobramento do Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix, primitivamente previsto nos planos de construção de Usinas da ELETROBRÁS, nas usinas Serra da Mesa e Cana-Brava. A integração de Serra da Mesa e Cana-Brava em um único aproveitamento é de importância capital para o alcance de máxima economia nestas realizações, estimando-se somente em relação ao desvio do rio em Cana-Brava uma economia da ordem de US\$ 85 milhões (oitenta e cinco milhões de dólares), como ficou demonstrado no relatório RBU-002 - Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Inventário Final - fevereiro de 1984. Neste caso o desvio do rio em Cana-Brava deve coincidir com o fechamento do reservatório de Serra da Mesa, para permitir a construção da barragem no leito do rio em Cana-Brava durante o processo de enchimento do reservatório de Serra da Mesa.

Serra da Mesa está com as obras de desvio do rio em construção adiantada, prevendo-se o início das obras das estruturas principais para março de 1988. O cronograma conjunto das duas obras prevê o desvio do rio em Cana-Brava coincidente com o fechamento para enchimento do reservatório de Serra da Mesa em 01 de setembro de 1991, o que implica na necessidade do início do projeto básico de Cana-Brava no início de 1988.

Tendo em consideração as perspectivas do plano decenal, as condições de atendimento do mercado de energia elétrica caracterizam-se por um progressivo crescimento da insuficiência de oferta. Particularmente o primeiro quinquênio da década de 90, para o qual estão programadas as UHE Cana-Brava e UHE Serra da Mesa, apresenta níveis de risco de não atendimento elevado, que conferem à instalação da UHE Cana-Brava em 1º de abril de 1994, seqüencialmente a Serra da Mesa, condição fundamental para o atendimento da carga. A realização do presente estudo de viabilidade, em consequência das colocações precedentes, encontra plena justificativa, tendo em vista as datas críticas inseridas no planejamento da obra para construção e montagem, e os prazos necessários envolvidos para a realização dos projetos básico e executivo.

5. ORGANIZAÇÃO DOS ESTUDOS

5.1 Bases do Planejamento dos Estudos

A organização dos estudos foi definida a partir dos resultados do inventário final e do aprofundamento realizado nessa fase sobre as peculiaridades locais e sobre o planejamento da obra de Cana-Brava, conforme constante do Relatório RBU-002 - Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Inventário Final - fevereiro de 1984. Como consequência dos trabalhos de inventário

final, foi possível traçar-se uma diretriz rigorosa de planejamento para os estudos de viabilidade, inclusive porque em decorrência ficou bem definido, em particular, quais os aspectos mais importantes e que localizações físicas mereciam investigações particulares.

Por outro lado a integração da usina Cana-Brava com a usina Serra da Mesa imediatamente em um único aproveitamento - São Félix - permitiu a fixação de parâmetros de projeto, tendo em vista os estudos avançados em nível de projeto básico e início do projeto executivo para Serra da Mesa, na época do início dos estudos de viabilidade de Cana-Brava, em novembro de 1986.

5.2 Condicionantes Metodológicos

Os estudos foram elaborados de modo a permitir o desenvolvimento progressivo de aquisição de conhecimento para integração das diferentes áreas e disciplinas envolvidas, objetivando a análise e comprovação de todos os fatores técnicos e econômicos do empreendimento. Por outro lado, os trabalhos foram organizados e executados de modo a sempre obter o máximo de rendimento no avanço e aprofundamento do conhecimento, utilizando-se com propriedade os recursos financeiros disponíveis para execução das tarefas, evitando-se a elaboração de trabalhos prematuramente à obtenção de resultados efetivos, não desperdiçando-se seja recursos materiais, seja recursos humanos.

Logo na fase inicial foram elaboradas todas as programações de investigações e de levantamentos de campo e de ensaios de laboratório adicionais, considerando-se o tempo requerido normalmente para a execução desses trabalhos e prazo otimista estabelecido no planejamento para a realização dos estudos de viabilidade em somente 12 (doze) meses.

As necessidades relativas a um novo levantamento topográfico e os condicionantes de novos dados de investigações geológico-geotécnicas, face às dificuldades inerentes à execução no campo para a sua obtenção, determinaram uma maior concentração dos esforços nos últimos meses dos estudos, face ao prazo crítico para complementação do projeto de viabilidade.

A partir de outubro de 1987, sendo disponíveis o levantamento topográfico e complementadas as investigações de subsuperfície, foram desenvolvidos estudos específicos sobre alternativas de arranjos gerais e seus custos que permitiram uma consolidação de resultados e de concepção e o refinamento dos estudos de seleção da alternativa escolhida a ser evidenciada como projeto de viabilidade.

CAPÍTULO 3

ESTUDOS ANTECEDENTES E DADOS UTILIZADOS

ÍNDICE

	Página nº
1. ESTUDOS ANTECEDENTES	3.1
1.1 Geral	3.1
1.2 Estudos Hidrometeorológicos e Energéticos	3.3
1.3 Estudos Geológicos Regionais	3.6
1.4 Estudos Geológicos e Geotécnicos Locais	3.6
2. DADOS UTILIZADOS	3.7
2.1 Dados Disponíveis no Início dos Estudos	3.7
2.1.1 Dados Fornecidos por FURNAS	3.7
2.1.2 Dados Coletados pela IESA	3.10
2.2 Dados Obtidos no Decurso dos Estudos	3.11
2.2.1 Cartografia	3.11
2.2.2 Geologia	3.13
2.2.3 Geotecnia	3.13
2.2.4 Hidrologia	3.14
2.2.5 Meio Ambiente	3.14

3. ESTUDOS ANTECEDENTES E DADOS UTILIZADOS

1. ESTUDOS ANTECEDENTES

1.1 Geral

Os primeiros estudos orientados para o aproveitamento do potencial hidroelétrico do Alto Tocantins foram desenvolvidos pela CELG - Centrais Elétricas de Goiás, e se concentraram na definição do aproveitamento denominado de São Félix, próximo à foz do ribeirão São Félix que lhe deu o nome, afluente do rio Tocantins pela margem direita. Neste local, foi definido um projeto constituído basicamente de uma barragem de concreto de abóbadas múltiplas e uma usina com uma capacidade de 400 MW sob 90,00 m de queda bruta. O projeto desenvolveu-se até o nível de execução de ensaios em modelo hidráulico reduzido, na Universidade de São Paulo, sendo posteriormente desativado ao final da década de 60.

Na mesma época em 1964, foram contratados com o "Bureau of Reclamation - U.S. Department of the Interior", através da "Agency for International Development - United States Department of State", estudos de levantamento das potencialidades para fins de aproveitamento múltiplo das bacias dos rios Araguaia e Tocantins, sob a supervisão da CIVAT - Comissão Interestadual dos Vales do Araguaia e Tocantins. Nestes estudos foi incluído um inventário dos recursos hidroenergéticos das duas bacias, sendo considerado no mesmo, o aproveitamento de São Félix, como definido pela CELG.

Em 1972, após a extinção da CIVAT, a ELETROBRÁS iniciou o levantamento sistemático, a nível de inventário dos mesmos hidroenergéticos de toda a bacia do rio Tocantins, em seqüência a estudos e de acordo com as recomendações contidas no relatório final preparado pelo ENERAM - Comitê Coordenador dos Recursos Energéticos da Amazônia, posteriores àquelas da CIVAT.

Com a criação da ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, subsidiária da ELETROBRÁS, em 1973, esta empresa ficou encarregada do desenvolvimento dos estudos em nível de inventário, e em seqüência, para os aproveitamentos hidroelétricos hierarquisados mais em evidência, o aprofundamento dos estudos a nível de viabilidade. Nestes estudos de viabilidade, foi incluído o primitivo aproveitamento de São Félix da CELG com queda bruta aumentada de 90,00 m para 139,70 m e potências instaladas respectivas de 400 MW para 1.300 MW. No arranjo geral de projeto da ELETRONORTE foi considerada uma barragem de enrocamento, sendo emitido em 1975 sobre a nova concepção um relatório de viabilidade.

Em outubro de 1979, o Ministério de Minas e Energia outorgou a FURNAS a responsabilidade do estudo dos aproveitamentos da bacia ao sul do paralelo 12°S, que incluía o rio principal a montante do local denominado Peixe. Em 6 de maio de 1981, a área de responsabilidade de FURNAS foi estendida para incluir também os tributários, que abrange o rio Paranã.

Ao assumir os trabalhos, FURNAS colocou em concorrência através da EP-2323, intitulada "Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Especificação para Estudos de Viabilidade" - 19 de maio de 1980.

Nas especificações para esses estudos, FURNAS determinou que fosse verificado o local de aproveitamento proposto para São Félix, cerca de 20 km a montante da cidade de Minaçu, cujas condições geológicas exigiriam maiores investigações de qualidade de fundação das obras, devendo ser comparado com outros locais alternativos. Nesses locais alternativos deveriam também, ser consideradas as novas compatibilidades para o aproveitamento previsto a montante da cidade de Peixe, visando a utilização total da queda existente nesse trecho do rio.

A possibilidade de existência de anomalias uraníferas importantes no vale do rio Preto, afluente da margem direita do Tocantins, se colocou como outro condicionante que determinou a procura de alternativas, de modo a não permitir a inundação desse vale, que se tornou uma das considerações para localização do aproveitamento de São Félix.

As localizações das anomalias uraníferas no vale do rio Preto, foram confirmadas e a procura de alternativas para São Félix, passou também a ser estudada em função de interferência com jazidas potencialmente exploráveis de minério de urânio.

Na proposta da IESA - Internacional de Engenharia S.A., convertida no Contrato 5574 de FURNAS, em 03 de fevereiro de 1981, foi dentre outras possibilidades, para "Estudo de Locais Alternativos", pela primeira vez incluído o local de Cana-Brava no estudo global de partição de queda do Alto Tocantins. Estes estudos concluíram pelo desdobramento do aproveitamento hidroelétrico de São Félix em duas usinas Serra da Mesa 50 km a montante e Cana-Brava 43 km a jusante do primitivo local proposto de São Félix pela ELETRONORTE, cujos resultados constam de numerosa documentação técnica, sendo o essencial mostrado nos relatórios:

- RAF-008 - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Estudo de Viabilidade - Fase I - Estudo de Locais Alternativos - Relatório Final - IESA, Abril de 1982.
- RAF-014 - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Local Serra da Mesa - Estudo de Viabilidade - Relatório Final, IESA - Novembro de 1982.

Os resultados extremamente favoráveis, conduzidos por FURNAS e IESA, para a partição de queda no Alto Tocantins, com a seleção de local para o Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix, determinaram a extensão dos serviços em dois contratos, a seguir, discriminados para aprofundamento e consolidação de conclusões alcançadas:

- Contrato nº 6549 de FURNAS - Prestação de Serviços relativos ao Inventário de Recursos Hidroelétricos da Bacia do Alto Tocantins, sub-bacia do curso principal do rio Tocantins, de 25 de janeiro de 1983.
- Aditamento nº 1 do Contrato nº 6549 de FURNAS - Fase II - Divisão dos Trabalhos de Campo e dos Estudos de Escritório Item I - Aproveitamento de Peixe em Fazenda Santa Cruz, de 23 de Novembro de 1983.

O escopo detalhado para a execução dos serviços consta da proposta da IESA de outubro de 1982 intitulada Bacia do Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Estudo de Inventário. No Contrato nº 6549 de 25 de janeiro de 1983 foram incluídos os serviços propostos como Fase I - Aprofundamento das Investigações de Campo e dos Estudos em Cana-Brava, os quais foram aditados ao Contrato 6549 de 23 de novembro de 1983 para introdução de uma melhoria no nível dos serviços da Fase I, pela inclusão do item da Fase II - Revisão dos Trabalhos de Campo e dos Estudos de Escritório, referente ao aproveitamento de Peixe em Fazenda Santa Cruz.

Os resultados dos trabalhos para o aprofundamento das investigações de campo e dos estudos em Cana-Brava estão apresentados nos relatórios:

- RBU-001 - Inventário da Bacia do Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Fase I - Aprofundamento das Investigações de Campo e dos Estudos em Cana-Brava - Seleção do Eixo da Barragem - IESA, Agosto, 1983.
- RBU-002 - Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Inventário Final - IESA, Fevereiro, 1984.

No relatório RBU-002, Capítulo - 12 - Programação para Prosseguimento dos Estudos, foi previsto o planejamento dos aspectos fundamentais sobre levantamentos e investigações de campo para a atual etapa de viabilidade.

1.2 Estudos Hidrometeorológicos e Energéticos

Os principais estudos hidrológicos na bacia do rio Tocantins foram executados a partir da década de 60 e orientados no sentido de levantamento dos recursos hídricos em locais isolados, conforme os realizados pelas Centrais Elétricas de Goiás - CELG para o Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix. Os estudos hidrológicos efetuados foram bastante empíricos e

voltados para uma avaliação dos recursos hídricos, tendo em vista a escassez de dados hidrometeorológicos. Naquela época, a bacia do rio Tocantins (incluindo a do Araguaia), só dispunha de três estações fluviométricas em Porto Nacional, Conceição do Araguaia e Tocantinópolis, tendo as duas primeiras iniciado sua operação sistemática e confiável a partir de 1949 e a terceira a partir de 1955. O mesmo fato ocorria com as estações pluviométricas e meteorológicas, existindo em toda a bacia dos rios Tocantins, Araguaia e áreas limítrofes, cerca de 20 estações de cada, mesmo assim com operação muito deficiente. Estes estudos trouxeram como consequência a instalação da estação fluviométrica de São Félix, em setembro de 1961.

Em 1964, iniciou-se sob a responsabilidade da CIVAT - Comissão Interestadual dos Vales do Araguaia-Tocantins, o primeiro estudo global da bacia contratado com o Bureau of Reclamation (U.S.A.). Os estudos hidrológicos realizados constaram principalmente no levantamento das estações fluviométricas, pluviométricas e meteorológicas existentes, com vistas à elaboração de um programa de implantação de novas estações e melhoramentos das existentes. Estes estudos tiveram o mérito de provocar o início da implantação de inúmeras estações fluviométricas, pluviométricas e meteorológicas a partir de 1964.

Os estudos hidrológicos executados a partir de 1972 pela ELETROBRÁS quando a mesma iniciou diretamente os estudos do potencial hidroelétrico da bacia do rio Tocantins, tendo prosseguido com a ELETRONORTE, a partir de sua fundação em 1973, podem ser considerados os mais abrangentes e aprofundados até então realizados na bacia, com a definição de seus recursos hídricos. Estes estudos constaram de:

- Inspeção de estações fluviométricas, pluviométricas e meteorológicas;
- Definição da rede fluviométrica, base e recomendação de implantação de novas estações fluviométricas, pluviométricas e meteorológicas;
- Investigações hidrométricas de campo;
- Coleta e análise de consistência de dados hidrometeorológicos;
- Estudos meteorológicos com objetivo de caracterizar clima, regimes de precipitação, evaporação, temperatura, etc.;
- Estudos hidrológicos, compreendendo a manipulação de dados básicos; curvas-chave; curvas de capacidade; preenchimento de falhas e extensões de séries por correlação no período 1949-73; derivação de série de descargas médias mensais para os locais de aproveitamentos; estudo de frequência e regionalização de cheias e estudos de regularização de descargas;

- Estudos energéticos preliminares segundo a metodologia da ELETROBRÁS;
- Recomendações para investigações hidrométricas e estudos a serem executados nas etapas subseqüentes de estudos na bacia.

Os estudos citados foram ampliados em 1975 de modo que alguns aproveitamentos fossem estudados a nível de viabilidade, e entre eles o local de São Félix. Neste local os estudos hidrológicos constituíram-se basicamente no aprofundamento dos estudos anteriores, tendo sido realizados os seguintes estudos:

- Revisão da curva-chave da estação fluviométrica de São Félix e levantamento da curva-chave no Eixo "A" determinado pela ELETRONORTE;
- Revisão de série de descargas médias mensais no período 1949-1973;
- Revisão de estudos de freqüência de cheias e determinações de hidrogramas do projeto;
- Revisão de estudo de regularização e manipulação de dados básicos;
- Estudos energéticos aprofundados através do uso de modelo matemático de simulação em computador. (Este modelo foi desenvolvido pela ELETRONORTE e executa a operação mensal de reservatório isolado, baseado na curva regra estabelecida).

Em 1980, FURNAS iniciou estudos para a escolha do local do Aproveitamento de São Félix e sua compatibilização na divisão de queda para o aproveitamento do potencial hidroelétrico disponível no trecho do alto rio Tocantins ao sul do paralelo 12°S. Estes estudos foram executados em duas fases distintas: a primeira, denominada Fase I - Estudo de Locais Alternativos, apresentada no relatório RAF-008 de abril de 1982, e a segunda, denominada Fase II - Viabilidade do Local Serra da Mesa, apresentada no relatório RAF-014 de novembro de 1982. Durante estas duas fases foram desenvolvidos estudos hidrológicos e energéticos, tendo sido incorporados todos os dados disponíveis até as datas consideradas.

Após o término da viabilidade de Serra da Mesa, prosseguiram as investigações hidrométricas em Serra da Mesa e Cana-Brava, com vistas ao Projeto Básico de São Félix - Local Serra da Mesa e Inventário Final da Bacia do Alto Tocantins. Em agosto de 1983 foi apresentado o relatório RBU-001 - Fase I - Inventário da Bacia do Alto Tocantins - Curso Principal do Rio, onde os novos dados hidroelétricos levantados por FURNAS até março de 1983 foram incorporados para determinação de parâmetros do projeto de Cana-Brava. Em fevereiro de 1984, foi apresentado o relatório RBU-002, contendo uma atualização de dados levantados por FURNAS até setembro de 1983 e de resultados de estudos hidrometeorológicos mais completos.

1.3 Estudos Geológicos Regionais

Os estudos geológicos antecedentes de âmbito regional, foram conduzidos por meio de interpretação fotogeológica e uma vasta pesquisa bibliográfica, os quais permitiram um conhecimento geral das principais características geológicas da região.

A fotointerpretação foi feita utilizando-se pares de fotografias aéreas em escalas 1:25.000 e 1:60.000, através da qual foram identificadas algumas feições estruturais e litológicas que ocorrem regionalmente.

A pesquisa bibliográfica empreendida revelou a existência de inúmeros trabalhos sobre a geologia da região de Cana-Brava, destacando-se entre eles o Projeto Brasília (Barbosa et. al. 1969), que cobre a porção do estado de Goiás entre os paralelos 12°00'S e 15°00'S em escala 1:250.000 e o Projeto Cana-Brava - Porto Real (1979), desenvolvido pelo D.N.P.M. na porção centro-leste do estado de Goiás, em escala 1:50.000.

O resultado destes estudos estão indicados, com detalhes nos relatórios RAF-008 - "Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Fase I - Estudo de Locais Alternativos - Relatório Final" - Vol. I - Texto - ABR82 e RBU-002 "Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Inventário Final" Vol. I - Texto, FEV84.

No Capítulo 7 - Estudos Geológico-Geotécnicos, deste relatório, é apresentado um resumo da geologia regional na área de implantação do Aproveitamento Hidroelétrico de Cana-Brava. A descrição detalhada encontra-se no Vol. V - Relatório Geológico-Geotécnico.

1.4 Estudos Geológicos e Geotécnicos Locais

Os estudos geológico-geotécnicos no local do aproveitamento de Cana-Brava, anteriores à fase de viabilidade, consistiram de um reconhecimento geral da área, para caracterização superficial dos tipos e condições de ocorrência das litologias e do capeamento de solo e a execução de 15 sondagens rotativas, 64 sondagens geolétricas, 1 sondagem à percussão e 30 poços manuais, distribuídas nas áreas de fundação das barragens principal e secundária, que permitiram uma primeira interpretação do maciço rochoso em subsuperfície. Os estudos geotécnicos sobre condições de fundação foram procedidos com base nas investigações descritas para as alternativas estudadas, abrangendo a barragem principal no leito do rio Tocantins e barragem secundária no talvegue de jusante, na margem esquerda.

As análises dos resultados dos estudos geológico-geotécnicos antecedentes, encontram-se nos relatórios RAF-005 "Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Fase I - Estudo de Locais Alternativos - Relatório Geológico-Geotécnico" e RBU-002.

Os estudos sobre materiais de construção antecedentes ao presente estudo de viabilidade, consistiram em abertura de 2 (dois) poços manuais em áreas de empréstimos de solos argilosos na margem esquerda, reconhecimentos de superfície em ambas as margens do rio Tocantins e estudos fotogeológicos.

2. DADOS UTILIZADOS

2.1 Dados Disponíveis no Início dos Estudos

2.1.1 Dados Fornecidos por FURNAS

- Cartografia

- Coberturas Fotográficas

- . Fotos aéreas, na escala aproximada de 1:40.000 encobrendo parcialmente o reservatório de Cana-Brava, constantes de fotoíndice na escala aproximada de 1:200.000, ambos pertencentes ao voo GEO 184-C realizado pela Geofoto S.A., para as Centrais Elétricas do Brasil, em 1974.

- . Fotos aéreas, na escala aproximada de 1:8.000, encobrendo o trecho do eixo "A", proposto pela ELETRONORTE, constantes de fotoíndice na escala aproximada de 1:40.000, ambos pertencentes ao voo GEO-184A realizado pela Geofoto S.A, para as Centrais Elétricas Brasileiras S.A, em 1975.

- Restituição Aerofotogramétrica

- . Estudos hidroenergéticos da bacia do rio Tocantins - rio Tocantins.

- . Restituição aerofotogramétrica executada na escala 1:25.000 com equidistância vertical de 10,00 m e apoio de campo a nível barométrico, realizada pela Geofoto S.A. em 1975 e complementada em 1981, nº EE-TO-006, a partir de fotografias aéreas na escala aproximada de 1:60.000, tomadas pela turma AST-10 da USAF, em 1966/1968, folhas nºs 80, 81, 81A, 82, 82A e 83.

- . Estudos hidroenergéticos da bacia do rio Tocantins - reservatório de São Félix.

- . Restituição aerofotogramétrica executada na escala de 1:25.000 com equidistância vertical de 5,00 m e apoio de campo a nível geométrico, realizada pela Geofoto S.A. em 1975 e complementada em 1981, nº UHE-SFE-C-002, a partir de fotografias aéreas na escala aproximada de 1:40.000, tomadas pela mesma empresa em 1975, folhas nº 1, 2, 5, 8 e 9.

Convem salientar que quando da execução dos primeiros trabalhos de reconhecimento de campo, foi possível observar, através do transporte de cotas para o local do aproveitamento, que a restituição aerofotogramétrica existente na escala de 1:25.000 apre-

sentou um rebaixamento de cerca de 10,00 m creditado ao baixo nível de precisão do apoio altimétrico à restituição, que foi realizado através de nivelamento barométrico. Por outro lado, uma determinação de perfil de nível d'água com barômetro, executado pela IESA confirmou esta divergência. Sob o ponto de vista planimétrico foi possível verificar translação e rotação da malha de coordenadas U.T.M. das folhas de restituição correspondentes ao serviço "Rio Tocantins" em relação ao serviço "Reservatório de São Félix" no trecho em que há a superposição dos dois trabalhos e o encobrimento do reservatório de Cana-Brava, sendo ainda possível ressaltar a distorção altimétrica entre os mesmos, que foram realizados com apoio altimétrico a nível barométrico e geométrico respectivamente, além de terem sido utilizadas fotografias de escalas e épocas diferentes configurando, no último caso, situações de vazão diferentes.

Outro aspecto considerado de grande relevância, que constituiu um obstáculo para a análise das interferências e cubagem do reservatório, foi o fato de que um dos trechos do mesmo a restituição aerofotogramétrica foi interrompida antes de se atingir a cota de inundação, fato ocorrido no rio do Carmo, em Cavalcante e no rio Bonito e córrego do Varjão, em Minacú.

- Levantamentos Topobatimétricos, Topográficos e Batimétricos
- Topobatimetria e Topografia

Todos os levantamentos topobatimétricos e topográficos realizados na área objeto estão abaixo descritos tendo sido em sua maioria realizados pelas equipes de FURNAS a partir da Fase I dos estudos de viabilidade de São Félix.

- . Levantamento topobatimétrico representado na escala de 1:2.000 com equidistância vertical de 1,00 m, realizado pelo Geo-Topo Engenharia Ltda em 1975, composto por treze folhas que encobrem a área do eixo "A" proposto pela ELETRONORTE, gerando os desenhos: 01-074 a 13-074.
- . Transporte de cotas entre Minaçu e Cana-Brava, executado por FURNAS, em 1981;
- . Levantamento de seção topográfica, representada na escala 1:1.000, executado por FURNAS em 1981, gerando o desenho: RG-610-008-40 - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Cana-Brava - Dique.
- . Transporte de cotas de Santa Teresa e Palmeirópolis a Minaçu, executado por FURNAS, em fevereiro de 1982.
- . Levantamento topobatimétrico representado na escala de 1:2.500, com equidistância vertical de 1,00 m, executado por FURNAS em 1983 através de seções topográficas e topobatimétricas com espaçamentos de 100,00 m ou 200,00 m e 100,00 m respectivamente, gerando os desenhos: RBU-04-030 - Projeto São Félix -

Usina Cana-Brava - Levantamento Topográfico - Área da Barragem Principal; RBU-04-031 - Projeto São Félix - Usina Cana-Brava e RBU-04-032 - Levantamento Topográfico - Área da Barragem Secundária.

. Amarrações topográficas de réguas limnimétricas e furos de sondagem.

• Batimetria

Os levantamentos batimétricos executados na área objeto foram realizados por ocasião dos reconhecimentos de campo, através de levantamentos executados pela IESA, com apoio topográfico fornecido por FURNAS e de acordo com a descrição abaixo:

- Levantamento batimétrico de um trecho de aproximadamente 600,00 m no entorno do eixo I, em 1981, originando o desenho: RAF-04-030 Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Local Cana-Brava - Levantamento Batimétrico - Escala 1:1.000.

• Hidrologia

Os dados fornecidos por FURNAS à IESA foram os seguintes:

- Dados Hidrométricos

. Resumo de medições de vazão, na estação de São Félix, realizadas por FURNAS, no período 27/09/80 a 21/11/86.

. Resumo de medições de vazão, na estação de Fazenda Rubão, realizadas por FURNAS, no período 13/05/82 a 30/12/86.

. Leituras de réguas bi-diárias às 7:00 e 17:00 h nos postos de São Félix (Mira B), Fazenda Rubão (Mira O), Miras N, M, L, H, K, G, J, I, P (Serra da Mesa) e Miras R, S, T, V, X (Cana-Brava), no período de 6/12/82 a 31/12.86.

- Dados Sedimentológicos

. Relatórios dos Estudos Sedimentológicos do rio Tocantins em São Félix executados pelo HIDROESB para FURNAS:

1º Relatório Parcial - JUNHO 1983
2º Relatório Parcial - JUNHO 1984
Relatório Final - NOVEMBRO 1984

Estes relatórios contêm a descrição de campanha sedimentométrica executada no período de 10/06/82 a 25/04/84 no Posto Fazenda Rubão e a análise dos resultados obtidos.

- Dados Meteorológicos

. Dados Meteorológicos da Estação de Serra da Mesa, instalada por FURNAS em 27/03/83, do período de 01/04/83 a 30/11/86. Os dados coletados se compõem de: temperatura máxima e mínima diária do ar; temperatura máxima e mínima diária da água;

velocidade média diária do vento; alturas de evaporação diárias obtidas em tanque evaporimétrico; USBR classe A e evaporímetro de Piché; alturas diárias de chuva; unidade do ar.

- Dados Hidrológicos

- . Séries de vazões médias mensais derivadas para os locais dos aproveitamentos Serra da Mesa e Cana-Brava para o período JAN31 a DEZ80.

● Geologia e Geotecnia

No período a partir de fevereiro de 1984, quando foi concluído o inventário final do Alto Tocantins no curso principal do rio, até o início dos estudos de viabilidade de que trata o presente relatório, em novembro de 1986, não foram desenvolvidos dados geológico-geotécnicos adicionais. Entretanto, no início dos estudos de viabilidade, não haviam novos dados a serem fornecidos por FURNAS, sendo o conhecimento inicial, como visto precedentemente o contido no relatório RBU-002.

2.1.2 Dados Coletados pela IESA

● Cartografia

- Coberturas Fotográficas

- . Fotos aéreas, na escala aproximada de 1:60.000, constantes dos fotoíndices nºs 5990 e 6038 na escala aproximada de 1:180.000, ambos pertencentes ao vôo executado pela turma AST-10, da UESAF, em 1966/1968.
- . Fotos aéreas, na escala aproximada de 1:25.000, cobrindo a região de Palmeirópolis, estado de Goiás, constantes do foto-índice na escala aproximada de 1:20.000, ambos pertencentes ao vôo nº SA-675 realizado pela Aerofoto Cruzeiro S.A. para a Mineração Rio Xingu S.A. em 1980.

- Cartas e Mapas

- . Cartas do Brasil, escala de 1:1.000.000, com equidistância vertical de 100,00 m, executada pelo IBGE, 1ª edição compilada em 1972, folhas: SD-22-GOIÁS e SD-23-BRÁSILIA.
- . Carta do Brasil, escala de 1:250.000, com equidistância vertical de 100,00 m, executada pelo IBGE, 1ª edição compilada em 1983 e 1985, respectivamente, folhas: SD-22-X-D-PORANGATU e SD-23-V-C - CAMPOS BELOS.
- . Região Centro-Oeste do Brasil, escala de 1:100.000, com equidistância vertical de 40,00 m, executada pela Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) do Ministério do Exército, 1ª edição compilada em 1977 e 1976, folhas: SD-22-X-D-III - PLAMEIRÓPOLIS; SD-22-X-D-VI - MINAÇU; SD-23-V-C-I - SÃO JOSÉ e SD-23-V-C-IV - ARAÍ.

● Hidrologia

No período de fevereiro de 1984 a novembro de 1986, entre o término do inventário final do Alto Tocantins (RBU-002) e o início dos estudos de viabilidade foram completados pela IESA estudos hidrometeorológicos objetivando a precipitação máxima provável (PMP) e a enchente máxima provável (EMP) para a UHE Serra da Mesa, imediatamente a montante, dados estes que se juntaram no início dos estudos de viabilidade ao conhecimento hidrológico sobre Cana-Brava.

● Geologia e Geotecnia

Dos dados contidos no relatório RBU-002 - Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Inventário Final - FEV84, foram coletados os dados de informações que se seguem:

- Folha Góias, escala 1:1.000.000, da carta geológica do Brasil ao Milionésimo, DNPM, 1975;
- Projeto Brasília, 1969, executado pela PROSPEC;
- Projeto Goiania, 1970, executado pela PROSPEC;
- Geografia do Brasil - Região Centro-Oeste, IBGE - 1977;
- Projeto Cana-Brava - Porto Real, executado pela CPRM, 1979;
- Mapeamento geológico na escala 1:50.000, das folhas Minaçu e Córrego São Bento, FUB, integrante do Projeto São Félix;
- Boletins (s/nº) de análise petrográfica com amostra de testemunhos de sondagem, U.F.R.J.

2.2 Dados Obtidos no Decurso dos Estudos

2.2.1 Cartografia

Foram integrados ao conjunto de dados já disponíveis algumas informações coletadas direta e indiretamente, possibilitando o aprofundamento dos trabalhos anteriormente executados.

● Topobatimetria

Foram executados levantamentos topobatimétricos, pelas equipes de FURNAS, nos locais das barragens principal e secundária, segundo programação elaborada pela IESA (RIL-PR-001), destinados a fornecer uma base cartográfica compatível com o nível de precisão requerido para a elaboração final dos arranjos gerais, bem como levantamentos topográficos auxiliares que objetivaram o apoio aos serviços de hidrometria e investigações geológicas. Como produto

final dos levantamentos nos locais de interesse foram obtidas plantas na escala de 1:1.000 com equidistância vertical de 1,00 m resultando nos seguintes desenhos: RG-510-004-81 - Usina Cana-Brava - Levantamento Topográfico - Disposição Geral das Planilhas; RG-510-001 a 019-88 - Usina Cana-Brava - Levantamento Topobatimétrico - Área do Projeto; RG-510-020 a 033-88 - Usina Cana-Brava; RG-510-035 a 037-88 - Levantamento Topobatimétrico e RG-510-042-88 - Área do Projeto.

● Mapas

- Mapa do estado de Goiás, escala 1:1.000.000, com equidistância vertical de 100,00 m, executado pelo Instituto de Desenvolvimento Urbano e Regional (INDUR), em 1986.
- Mapa rodoviário de Goiás, escala de 1:1.750.000, executado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) do Ministério dos Transportes, em 1986.

● Plantas

- RG-612-013-81 - Cidade de Minaçu
Disposição Geral
Escala: 1:10.000
- RG-612-017-81 - Minaçu - Vila Residencial Provisória
Arruamentos
Arranjo Geral
Escala: 1:2.000
- RG-612-002-81 - Cidade de Minaçu
Folhas 1 e 2
Área para Vila
Levantamento Planialtimétrico
Escala: 1:1.000
- RG-612-012-81 - Serra da Mesa
Vila Residencial Provisória
Arruamento - Planta
Escala: 1:1.000

● Sensoriamento Remoto

Imagens TM-LANDSAT5, banda 3, escala 1:100.000, processadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE):

- WRS-222/069D
TM5-07177-5001
07/JUL/85
- WRS 221/070A
TM5-08240-S002
18/SET/85

- WRS-222/Ø7ØB
TM5-Ø7643-SØØ2
08/AGO/85

- WRS-222/Ø7ØC
TM5-Ø7643-SØØ5
08/AGO/85

2.2.2. Geologia

Foram reunidos durante os estudos de viabilidade dados e informações obtidos através de pesquisa, coleta, investigações de campo e estudos específicos, conforme indicados a seguir. Estes dados, juntamente com aqueles disponíveis no início dos trabalhos e indicados nos itens 1.3 e 1.4 deste capítulo representam a base para a elaboração dos estudos geológicos da fase de viabilidade.

● Dados de Campo e Laboratório

- Boletins de perfuração e logs de 33 sondagens rotativas e mistas;
- Boletins dos ensaios de perda d'água e SPT;
- Boletins com os resultados de análises petrográficas em lâminas delgadas com amostras de testemunhos de sondagens (U.F.R.J e C.P.R.M.);
- Boletim 650/LAMIN/87 de análise por difratometria de Raio X com amostras de testemunhos de sondagem e de solo.

● Mapas e Relatórios Diversos

- Girardi V.A.V. et. alli - algumas considerações sobre a Evolução Geológica da Região de Cana-Brava, a partir de Dados Geocronológicos - Anais XXX Congresso Brasileiro de Geologia - Recife, 1978.
- Girardi V.A.V. e K. GERO - Precambrian Mafic and Ultramafic Rocks of the Cana-Brava Complex, Brasil - Mineral Compositions and Evolution - Rev. Bras. Geoc. SP, 1982.
- Mapa Geológico do Maciço de Cana-Brava, S.A. Mineração de Amianto, escala 1:50.000.

2.2.3 Geotecnia

Foram realizados poços exploratórios em quatro áreas de empréstimos potenciais (MD-9, MD-10, ME-4 e ME-11).

Nas áreas ME-5, MD-9 e MD-10 foram realizados poços para caracterização em malha retangular de espaçamento 280,00 m.

A cada metro de profundidade de cada poço foram coletadas amostras para ensaios de caracterização.

Amostras para ensaios geotécnicos especiais foram coletadas em poços abertos especificamente para este fim um em cada um dos seguintes locais: ME-5, ME-11, MD-9, MD-10, SR-8, SM-117, SM-103 e SM-113.

Para maiores detalhes, consultar o item 4.2 do Capítulo 7, deste relatório. Um resumo das quantidades de serviços executados consta da Tabela 7.5, do Capítulo 7.

2.2.4 Hidrologia

Os dados hidrométricos, hidrológicos e sedimentológicos disponíveis no início destes estudos em NOV86, foram considerados suficientes para definição de parâmetros hidrológicos de projeto nesta fase, tendo em vista que os dados coletados a partir desta data até o presente ainda estão sendo consistidos por FURNAS e também pelo fato de não ter ocorrido nenhum evento extremo neste período. Apenas os dados meteorológicos da Estação de Serra da Mesa, que foram consistidos até 31/08/87 e fornecidos por FURNAS à IESA foram considerados no decurso do presente estudo.

2.2.5 Meio Ambiente

- Meios Físico e Biológico

- Geologia e Inventário dos Recursos Minerais da Região Central do Estado de Goiás - Projeto Brasília, DNPB, 1981;
- Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão dos Recursos Minerais - folha Porangatu, DNPB, 1984;
- Listagem dos Processos de Áreas Requeridas para Pesquisa, DNPB;
- "Over-Lays" de 08/06/87 folhas Palmeirópolis e Minaçu, DNPB;
- Projeto Cana-Brava - Porto Real, DNPB/CPRM, 1979;
- Projeto Serra Dourada, DNPB/FUB, 1974;
- Dados Sismológicos, FUB;
- RADAMBRASIL, volumes 25 e 29, folhas Goiás e Brasília, itens: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra, RADAMBRASIL, 1981;

- Atualização dos Antropismos e Inventário, IBDF/RADAMBRASIL, 1984;
- Texto Explicativo do Mapa Esquemático dos Solos das Regiões Norte, Meio-Norte e Centro-Oeste do Brasil, EMBRAPA, 1975;
- PRODIAT: Recursos Naturais, Volume 2, 1982.
- Meio Sócio-Econômico e Cultural
 - FIBGE - IX Recenseamento Geral do Brasil, Goiás, 1985 - Sinopse Preliminar do Censo Demográfico, Censos Agropecuário, Industrial, Comercial, Serviços; Enciclopédia dos Municípios Brasileiros, V.26;
 - SEPLAN/GO - Anuário Estatístico do Estado de Goiás, 1985;
 - CODEPLAN/GO - Estudo dos Municípios da Região Geoeconômica de Brasília, Minaçu, 1981;
 - INDUR/GO - Fichas-Resumo, Municípios Minaçu e Cavalcante;
 - Conselho de Imigração e Colonização, Goiás - "Uma Nova Fronteira Humana", Rio de Janeiro, 1949;
 - Silva, Colenar e Natal e, "História de Goiás", Goiânia, 1979;
 - IESA, Pesquisa de Campo - Questionário e Entrevistas - Municípios de Minaçu e Cavalcante, 1987.

CAPÍTULO 4

ÁREA ESTUDADA

ÍNDICE

	Página nº
1. LOCALIZAÇÃO E EXTENSÃO	4.1
2. FISIOGRAFIA	4.1
2.1 Geral	4.1
2.2 Morfologia	4.1
2.3 Hidrografia	4.2
3. REDE VIÁRIA	4.3
3.1 Geral	4.3
3.2 Logística de Abastecimento à Obra	4.4
4. OUTROS ASPECTOS REGIONAIS DA ÁREA INUNDADA	4.4

4. ÁREA ESTUDADA

1. LOCALIZAÇÃO E EXTENSÃO

Os estudos de viabilidade de Cana-Brava foram desenvolvidos em uma região da bacia do rio Tocantins, em área de concessão de FURNAS. A área da bacia hidrográfica integrada até Cana-Brava totaliza cerca de 58.000 km². O trecho do rio Tocantins abrangido pelo reservatório de Cana-Brava totaliza 92 km, limitando-se a montante pelo aproveitamento de Serra da Mesa e a jusante pelo futuro remanso do reservatório de Peixe. O rio Tocantins nesta região serve de limite entre os municípios goianos de Minaçu e Cavalcante, estando a usina de Cana-Brava distante cerca de 15 km a NE da cidade de Minaçu e seu reservatório compreendido entre os paralelos 13°22'S e 13°52'S e meridianos 48°18'W e 47°59'W.

No desenho Anexo 1 está figurada a bacia hidrográfica e nos desenhos Anexos 2 a 6 está ilustrado o mapeamento do reservatório.

2. FISIOGRAFIA

2.1 Geral

A área estudada está situada dentro do maciço Goiano, divisão fisiográfica estabelecida pelo IBGE para a região limitada pela bacia sedimentar do Paraná ao sul, pela bacia sedimentar do Piauí-Maranhão ao norte, pela chapada cretácica do São Francisco a leste e pela planície do Araguaia a oeste.

2.2 Morfologia

O maciço goiano, também chamado de Planalto Central Goiano, é representado por áreas de relevo montanhoso que passam ora gradativamente, ora bruscamente, para um relevo colinoso extensivamente pediplanizado e lateritizado, com elevações residuais alongadas constituídas por rochas mais resistentes. O relevo é dominado por chapadas, serras, cristas e áreas dômicas, correspondentes a intrusões ácidas e ultrabásicas como a Serra Branca, Serra de Cana-Brava, etc., exibindo direção geral predominante N-S e NE-SW. Estas feições resultam de sucessivos eventos epirogenéticos e subseqüentes fases de dissecação, que produziram aplainamentos, sempre em cotas mais baixas, preservando as formações mais resistentes.

Nos terrenos calcários, enquanto não se tenha desenvolvido uma morfologia kárstica, são notadas presenças de grutas, dolinas e sumidouros.

A análise das principais formas de relevo presentes na região permite grupá-las em três unidades maiores, conforme indicado a seguir:

- Montanhas Pré-Cambrianas e Eo-Paleozóicas

As áreas de relevo montanhoso forte e moderado são representadas por serras mais ou menos isoladas (Serras da Mesa, Branca, Cana-Brava e Bibiana, por exemplo), com altitudes situando-se entre 450,00 e 1.200,00 m.

Esta unidade foi muito dissecada por ciclos de erosão, daí resultando o relevo montanhoso, cujos detalhes morfológicos específicos foram controlados pela litologia e estruturas geológicas. Uma antiga superfície de erosão, a superfície Pratinha, mais antiga, de idade cretácea, é observável em testemunhos existentes nas serras da Mesa, Dourada e Cana-Brava, com altitudes entre 900,00 e 1.000,00 m. As encostas têm forte inclinação, com vales profundamente encaixados. Os solos são poucos espessos.

- Pediplano Pleistocênico

No terciário houve retomada da erosão e conseqüente formação de um pediplano com cotas da ordem de 300,00 a 450,00 m. Esta pediplanação produziu um relevo colinoso com topos aplainados, estando ligada a um eixo de drenagem N-S, coincidente com o antigo rio Tocantins, o que é evidenciado pelo suave caimento dessa superfície no sentido S-N.

- Planícies Aluviais

São comuns ocorrências de bancos de areia nas margens dos rios, bem como os sedimentos aluviais (areais e cascalhos) nos leitos dos rios.

2.3 Hidrografia

O rio Tocantins constitui elemento principal do sistema de drenagem da bacia natural, sendo formado pela confluência dos rios das Almas e Maranhão, cujas cabeceiras localizam-se no planalto de Goiás, com altitudes superiores a 1.000,00 m e percorre cerca de 2.100 km na direção norte, até desembocar na baía de Marajó (Oceano Atlântico) com área de drenagem total de cerca de 770.000 km². A área de drenagem da bacia do rio Tocantins até Cana-Brava corresponde, portanto, a apenas cerca de 7,5% da área total da bacia. Seus principais afluentes na parte da bacia sob concessão de FURNAS, ao sul do paralelo 12°S são os rios Bagagem e Tocantinzinho (a montante de Cana-Brava) e Paranã (a jusante de Cana-Brava), todos pela margem direita.

A elevação média da bacia é de cerca de 800,00 m, variando de 285,00 m no local do aproveitamento até 1.100,00 m na cabeceira do rio. As declividades médias da calha do rio são as seguintes:

- Trecho compreendido entre a confluência dos rios das Almas e Maranhão até Cana-Brava: 0,46 m/km.
- Trecho compreendido entre Cana-Brava e o aproveitamento de Peixe: 0,17 m/km.

As demais características físicas que definem o comportamento hidrológico da região como forma, sistemas de drenagem secundária e relevo da bacia, determinaram para a região, um tempo de concentração bem pequeno. Este fenômeno foi comprovado pela análise de fluxogramas observados no Posto Fluviométrico de São Félix e nos locais de Serra da Mesa e Cana-Brava, onde se observaram flutuações diárias de níveis d'água e vazão da ordem de 4,00 m e 1.000 m³/s respectivamente.

Estas características físicas, aliadas às características pluviométricas regionais, determinaram que nos períodos de estiagem prolongada, as descargas atingem cerca de 10% da descarga média de longo termo.

3. REDE VIÁRIA

3.1 Geral

A região é servida primordialmente por rodovias, sendo que a principal delas é a BR-153 (Belém-Brasília), totalmente asfaltada. Partindo da BR-153 chega-se a Minaçu através da GO-241 (Santa Tereza de Goiás-Minaçu).

O fluxo interno ocorre através das estradas municipais ilustradas nos Anexos 2 a 6, destacando-se aquelas que ligam Minaçu à Palmeirópolis, Minaçu à localidade de Porto do Buriti, Buriti à Fazenda Passa Três, rodovia GO-241 ao local do eixo "A", proposto pela ELETRONORTE e Minaçu à obra de Serra da Mesa, ainda em construção.

Todas as estradas citadas encontram-se ilustradas nos Anexos 2 a 6.

O transporte fluvial na região só ocorre para jusante de Porto Nacional; para montante é inexistente, devido aos inúmeros acidentes encontrados no rio Tocantins, que impedem a navegação.

O transporte ferroviário é inexistente na região e não existem linhas regulares de aviação servindo as cidades da área estudada. Duas pistas de pouso existentes na cidade de Minaçu, uma delas pertencente à SAMA e outra localizada nas proximidades da estrada que liga Minaçu a Palmeirópolis, servem de apoio à obra juntamente com aquela implantada por FURNAS na área do projeto de Serra da Mesa.

3.2 Logística de Abastecimento à Obra

Os insumos básicos necessários à obra, tais como cimento e ferro, serão adquiridos em fontes a serem melhor estudadas durante a fase do projeto básico.

É necessário que se inicie, com o projeto básico, uma campanha de coleta de dados visando, fundamentalmente, obter melhores informações sobre o que se segue:

- Localização das fontes produtoras de ferro e cimento;
- Condições de fornecimento;
- Tarifas ferroviárias e fretes rodoviários;
- Necessidade de um pátio de transbordo em Anapólis;
- Condições de suprimento da obra de Serra da Mesa;
- Cimento. O consumo previsto de cimento é de 80.000 toneladas.

Foram investigadas as possíveis alternativas para abastecimento de cimento, com fontes de produção no estado de Minas Gerais e de Goiás. A Tabela 4.1 a seguir, contém as fábricas existentes.

● Ferro de Construção

O vergalhão de aço para construção (CA-25 ou CA-50A) será adquirido nas seguintes fontes produtoras:

- Belgo Mineira em J. Monlevade - MG;
- Pains em Divinópolis - MG;
- Dedini em Piracicaba - SP;
- Aliperti em São Paulo - SP;
- Barra Mansa em Barra Mansa - RJ.

O consumo de aço na obra será de 30.000 toneladas.

4. OUTROS ASPECTOS REGIONAIS DA ÁREA INUNDADA

No Capítulo 13 - Área do Reservatório e no Volume III - Meio Ambiente, podem ser distinguidos outros aspectos regionais da área estudada.



TABELA 4.1

COMPANHIAS PRODUTORAS DE CIMENTO		MARCA	(x 10 ³ t) PRODUÇÃO ANUAL TON/ANO (1987)	DISTÂNCIA FERRO VIÁRIA ATÉ ANÁPOLIS (km)	DISTÂNCIA RODOVIÁRIA DE ANÁPOLIS ATÉ CANA-BRAVA (km)
EMPRESA	LOCAL DA FÁBRICA				
Cia. de Cimento Barroso	Barroso	MG	Barroso	1.112	478
Cia. de Cimento Cauê	Pedro Leopoldo	MG	Cauê	1.070	478
Cia. de Cimento Cominci	Matozinhos	MG	Campeão	1.080	478
Cia. de Cimento Itaú de Minas	Pratápolis	MG	Itaú	792	478
Cia. de Cimento Itaú de Contagem	Contagem	MG	Itaú	985	478
Cia. de Cimento Pains	Arcos	MG	Campeão	736	478
Cia. de Cimento Ponte Alta	Uberaba	MG	Ponte Alta	421	478
Cia. de Cimento Tocantins	Sobradinho	DF	Tocantins	-	411*
Cia. de Cimento Ciplan	Brasília	DF	Ciplan	-	411*
Cia. de Cimento Portland Rio Branco	Goiás	GO	Portland	-	386*
Cia. de Cimento Portland Goiás	Goiás	GO	Portland	-	572*

* Da origem até Cana-Brava.

CAPÍTULO 5

O PROJETO CANA-BRAVA E O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA
BACIA DO RIO TOCANTINS

ÍNDICE

	Página nº
1. GERAL	5.1
2. POTENCIAL DISPONÍVEL E APROVEITÁVEL	5.2
3. ALCANCE TÉCNICO-ECONÔMICO DA SOLUÇÃO DE CANA-BRAVA	5.2

5. O PROJETO CANA-BRAVA E O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BACIA DO RIO TOCANTINS

1. GERAL

Conforme definido no relatório final de viabilidade de Serra da Mesa, RAF-014 de novembro de 1982, a usina Cana-Brava complementarã o Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix.

A usina Cana-Brava, que resultou com a usina Serra da Mesa em um desdobramento do projeto São Félix, está situada a apenas 15 km em linha reta a jusante da cidade de Minaçu, estando suficientemente próxima a Serra da Mesa - cerca de 93 km pelo rio Tocantins de modo a permitir condições de combinação ótima e econômica com as seguintes peculiaridades principais:

- Escalonamento da construção de Cana-Brava, aproveitando o longo período de tempo de enchimento do reservatório de Serra da Mesa com 54,4 km³ de volume bruto e 43,25 km³ de volume útil, para desvio e controle do rio Tocantins em Cana-Brava. A redução da descarga de desvio pleno para desvio reduzido com a descarga incremental é de 10.000 m³/s para 1.200 m³/s.
- Na compatibilização dos cronogramas, a data de fechamento das comportas de desvio em Serra da Mesa é também a data do desvio do rio em Cana-Brava. A usina Cana-Brava sendo parte complementar do Aproveitamento de São Félix, tem a entrada em operação da primeira máquina, em seqüência à última máquina de Serra da Mesa, como um único aproveitamento, com duas casas de força desenvolvidas em dois locais distintos.
- Operação conjunta centralizada com controle digital único em Serra da Mesa.

As datas críticas e eventos mais importantes de compatibilização das duas usinas estão mostradas na Fig. 5.1.

O cronograma conjunto mostra as atividades críticas de construção em relação ao ponto-chave de compatibilização dos cronogramas de coincidência da data de 01 de setembro de 1991 para fechamento das comportas dos túneis de desvio e início do enchimento do reservatório de Serra da Mesa, simultaneamente com o procedimento do desvio da descarga incremental do Tocantins em Cana-Brava, para início da construção da barragem no leito do rio e ombreira esquerda.

2. POTENCIAL DISPONÍVEL E APROVEITÁVEL

A seleção de solução de aproveitamento de potencial disponível no Alto Tocantins resultou de um elaborado estudo técnico-econômico que selecionou o esquema alternativo combinando Serra da Mesa, Cana-Brava e Peixe, dentre 36 (trinta e seis) esquemas alternativos diferentes de combinação de locais alternativos e de quedas. O esquema com Serra da Mesa e Cana-Brava proporcionou com a menor área possível de terras inundadas por reservatórios a obtenção, pelo menor custo, do máximo de ganho em energia firme no sistema de FURNAS e no sistema nacional interligado.

3. ALCANCE TÉCNICO-ECONÔMICO DA SOLUÇÃO DE CANA-BRAVA

O esquema alternativo que desdobrou o projeto São Félix nas usinas Serra da Mesa e Cana-Brava combinando com uma barragem mais baixa em Peixe, conforme demonstrado nos relatórios de estudos antecedentes RAF-008 - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Estudo de Viabilidade - Fase I - Estudo de Locais Alternativos - Abril, 1982 e RAF-014 - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Estudo de Viabilidade - Relatório Final - Novembro de 1982, permitiu:

- Economia em cerca de 30 milhões de m³ de aterros de barragem na solução Serra da Mesa junto com Cana-Brava em contraposição à solução de barragem única no local primitivo proposto de São Félix.
- Economia em cerca de US\$ 85 milhões de dólares adicionais com o desvio do rio Tocantins reduzido em Serra da Mesa, pelo aproveitamento do efeito de amortecimento do reservatório de Serra da Mesa durante o enchimento.
- Aumento da capacidade instalada de 1.350 MW para 1.680 MW - com o mesmo fator de capacidade - com o desdobramento do projeto São Félix nas usinas Serra da Mesa e Cana-Brava.
- Economias adicionais pela utilização de fatores de planejamento que impliquem em infra-estrutura comum, qual seja a mesma vila-provisória para a construção das duas usinas.



DESCRIÇÃO	1986	87	88	89	90	91	92	93	1994
USINA SERRA DA MESA									
DESVIO DO RIO			15-Mai △						
FECHEAMENTO DAS COMPORHAS DOS TÚNEIS						01-Set △			
ENCHIMENTO DO RESERVATORIO									
ENTRADA EM OPERAÇÃO							01-Mai ⊕	01-Set ⊕	01-Jan ⊕
USINA CANA-BRAVA									
ESTUDO DE VIABILIDADE	Nov		Jan						
PROJETO BÁSICO			Mar	Fev					
LICITAÇÃO					EDITAL (Out) ⊖ CARTAS CONVITE (Jan) ⊖				
CONSTRUÇÃO			Jan	Jan					
ESTRUTURAS PRINCIPAIS									
BARRAGEM NAS OMBREIRAS E NA SELA				Jan					
BARRAGEM NO LEITO DO RIO									
ENTRADA EM OPERAÇÃO						Dez		Dez	Mar-FECHAM. RESERV. Ago ⊕ Fev ⊕ Nov ⊕

CRONOGRAMA

FIGURA 5.1

CAPÍTULO 6
ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS

ÍNDICE

	Página nº
1. GERAL	6.1
2. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA	6.1
3. METEOROLOGIA	6.3
3.1 Geral	6.3
3.2 Características Meteorológicas da Região	6.3
3.3 Precipitação	6.4
3.3.1 Geral	6.4
3.3.2 Precipitação no Reservatório	6.6
3.4 Evaporação	6.10
3.4.1 Geral	6.10
3.4.2 Evaporação no Reservatório	6.10
4. REGIME FLUVIAL	6.12
4.1 Geral	6.12
4.2 Curvas-Chave no Canal de Fuga	6.12

	Página nº	
4.3	Série de Descargas	6.14
4.3.1	Média Mensal	6.14
4.3.2	Curvas Características	6.17
4.3.3	Regularização de Descarga	6.17
5.	ESTUDOS DE ENCHENTES	6.17
5.1	Geral	6.17
5.2	Estudo de Frequência	6.18
5.3	Estudos Hidrometeorológicos	6.20
5.3.1	Geral	6.20
5.3.2	Precipitação Máxima Provável (PMP)	6.24
5.3.3	Enchente Máxima Provável (EMP)	6.24
6.	RESERVATÓRIO	6.27
6.1	Curva Cota-Área-Volume	6.27
6.2	Amortecimento do Reservatório	6.29
6.3	Estudos de Remanso	6.30
6.4	Estudo de Borda Livre	6.33
6.4.1	Geral	6.33
6.4.2	Estudos de Vento de Projeto	6.34
6.4.3	Estudos de Ondas e do Alcance Máximo d'Água no Paramento da Barragem (Run-up)	6.34
6.4.4	Borda-Livre	6.37

6.5	Estudos de Enchimento	6.37
7.	HIDROSEDIMENTOLOGIA	6.41
7.1	Estudos de Sedimentos	6.41
7.2	Vida Útil do Reservatório	6.43

6. ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS

1. GERAL

Os estudos hidrometeorológicos objetivaram a determinação de parâmetros indispensáveis aos estudos de viabilidade da usina hidroelétrica Cana-Brava. Vale lembrar que Cana-Brava faz parte do Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix, estando localizada a jusante da usina Serra da Mesa, que é o aproveitamento com maior acumulação nas cabeceiras do rio Tocantins. Assim sendo, nos estudos hidrológicos são utilizados em grande parte, dados e resultados obtidos nos estudos desenvolvidos para Serra da Mesa.

Os estudos constantes deste capítulo foram executados por FURNAS e IESA, compreendendo:

- Coleta, análise e processamento de dados básicos hidrometeorológicos existentes;
- Análise de estudos antecedentes;
- Características climatológicas;
- Precipitação e evaporação no reservatório;
- Curva-chave no canal de fuga;
- Série de descargas médias mensais no período 1931 a 1980;
- Frequência de descargas máximas;
- Precipitação máxima provável (PMP) e enchente máxima provável (EMP);
- Amortecimento do hidrograma de cheia de projeto no reservatório;
- Borda livre;
- Enchimento do reservatório;
- Transporte de sedimentos, assoreamento e vida útil do reservatório;

2. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

A usina Cana-Brava está localizada na bacia do rio Tocantins, na divisa dos municípios de Minaçu e Cavalcante, distante cerca de 15 km a NE da cidade de Minaçu, com área de drenagem de

57.777 km²; seu reservatório está compreendido entre os meridianos de 047°59'W e 048°18'W e os paralelos 13°22'S e 13°52'S.

O rio Tocantins constitui elemento principal do sistema de drenagem da bacia natural, sendo formado pela confluência dos rios das Almas e Maranhão, cujas cabeceiras localizam-se no planalto de Goiás, com altitudes superiores a 1.000,00 m e percorre cerca de 2.100 km na direção norte, até desembocar na baía de Marajó (Oceano Atlântico), com área de drenagem total de cerca de 770.000 km². A área de drenagem da bacia do rio Tocantins até Cana-Brava, corresponde, portanto, a apenas cerca de 7,5% da área total da bacia. Seus principais afluentes na parte da bacia sob concessão de FURNAS, ao sul do paralelo 12°S são os rios Bagagem e Tocantinzinho (a montante de Cana-Brava) e Parana (a jusante de Cana-Brava), todos pela margem direita.

A elevação média da bacia é de cerca de 800,00 m, variando de 285,00 m no local do aproveitamento até 1.100,00 m na cabeceira do rio. As declividades médias da calha do rio são as seguintes:

- Trecho compreendido entre a confluência dos rios das Almas e Maranhão até Cana-Brava: 0,46 m/km;
- Trecho compreendido entre Cana-Brava e o aproveitamento de Peixe: 0,17 m/km.

As demais características físicas que definem o comportamento hidrológico da região, como forma, sistemas de drenagem secundários e relevo da bacia, determinaram para a região, um tempo de concentração bem pequeno. Este fenômeno foi comprovado pela análise de fluviogramas observados no Posto Fluviométrico de São Félix e nos locais de Serra da Mesa e Cana-Brava, onde se observaram flutuações diárias de níveis d'água e de descarga da ordem de 4,00 m e 1.000 m³/s, respectivamente.

Estas características físicas, aliadas às características pluviométricas regionais, determinaram que nos períodos de estiagem prolongada, as descargas atingem cerca de 10% da descarga média de longo termo.

Dois tipos principais de solos são assinalados na região: litossolos, que ocupam as porções montanhosas e fortemente onduladas, e latossolos avermelhados, que ocupam as áreas de relevo suavemente ondulado a plano.

A vegetação primária predominante na área são os cerrados, uma formação florestal de baixo porte, associada a um tapete rasteiro de gramíneas, embora ao longo dos cursos d'água a vegetação se adense, formando as matas galerias; tais matas incluem árvores de grande porte e palmeiras.

3. METEOROLOGIA

3.1 Geral

Os estudos meteorológicos constantes deste item foram elaborados com o objetivo de caracterizar os principais fatores meteorológicos da bacia. Como já citado, Cana-Brava está localizada a jusante de Serra da Mesa, possuindo as mesmas características meteorológicas. Será apresentado então, um resumo das características gerais dos principais fatores meteorológicos, com base nos estudos já desenvolvidos para Serra da Mesa e em dados complementares coletados.

A área que envolve a bacia hidrográfica de Cana-Brava e Serra da Mesa possui poucas estações meteorológicas de longo período. Quando do estudo de Serra da Mesa, foram utilizados estudos desenvolvidos pela ELETRONORTE, que foram baseados em dados dos postos de Paranã e Porto Nacional do período de 1949 a 1973; foram também utilizados dados pluviométricos de estação instalada pelo DNAEE no município de Minaçu-GO, localizada na SAMA, do período de 1969-1980. Para este estudo foram ainda coletados dados da estação implantada por FURNAS em Serra da Mesa, em abril de 1983, que vem operando regularmente desde então.

Os dados de observações meteorológicas coletados foram os seguintes: temperaturas médias das máximas e das mínimas e média compensada; umidade relativa, precipitação total, número de dias de chuva e evaporação total. Com os dados climáticos citados, foram obtidos os histogramas de distribuição anual das diversas observações meteorológicas consideradas, as quais estão apresentadas no Anexo 10.

3.2 Características Meteorológicas da Região

A região do estudo está localizada na área da bacia do rio Tocantins, situada ao sul do paralelo 13°22'S. Esta região se caracteriza como típica do cerrado do planalto central, com matas ciliares acompanhando as margens do rio. Nesta região o relevo se caracteriza por uma altitude gradualmente crescente de norte para sul, até se constituir em parte do planalto central brasileiro, no extremo sul da bacia. Estes fatores conduzem à diminuição regular das médias térmicas anuais na direção norte-sul.

O clima predominante nesta região é classificado segundo W. Köppen como sendo do tipo tropical chuvoso pertencente ao tipo AW, que corresponde ao clima quente e úmido, de verão úmido e inverno seco. Segundo Thornthwaite, o clima é subúmido e segundo Mohr, estacionalmente seco, no qual meses chuvosos equilibram meses secos. O regime pluviométrico é, do ponto de vista climatológico, de transição entre o continental equatorial e o continental tropical, sem efeitos de barreira, distribuído por meses chuvosos de novembro a março, meses secos de junho

a agosto e por meses de transição, abril e maio, precedendo os meses chuvosos.

O período chuvoso é caracterizado pelo predomínio da massa continental equatorial, quente e úmida, em constante expansão para o sul. A referida massa está associada diretamente à maior ou menor atividade da faixa de convergência equatorial das circulações atmosféricas dos dois hemisférios, que é designada pelo nome de Zona Intertropical de Convergência (ITCZ). O período seco é caracterizado pelo recuo da massa equatorial para norte, acompanhando a ITCZ em seu deslocamento migratório. Como consequência desse recuo, passam a imperar nesta região as condições continentais tropicais mais secas. Sendo assim, pode-se concluir que as condições meteorológicas reinantes sobre a parte da bacia do rio Tocantins, ao sul do paralelo 6°S são tipicamente continentais tropicais, durante o período de estiagem, e continentais equatoriais, durante o período chuvoso.

A região em estudo, ainda caracteriza-se por apresentar uma homogeneidade climato-meteorológica, consequência de condições latitudinais continentais, coadjuvadas pela orografia e pela ação de uma só massa de ar de natureza equatorial continental, quente e úmida associada à ITCZ.

Esta homogeneidade é comprovada pela pequena variação espacial e temporal de parâmetros meteorológicos, tais como: temperatura, pressão, umidade e vento, o que acarreta uma regularidade apreciável nas distribuições de nebulosidade, precipitação e evaporação na região.

Tendo em vista a característica regional de homogeneidade climato-meteorológica, adotou-se, para a fase de estudos de viabilidade da usina Serra da Mesa, as derivações dos principais parâmetros meteorológicos de Porto Nacional e Paranã como representativos para toda região de São Félix. Com a instalação da Estação de Serra da Mesa, pertencente a FURNAS, estes parâmetros foram atualizados, considerando a média das características no período de 1983 a 1987. Sendo este período de apenas 4 anos, será mantido, para a caracterização dos parâmetros meteorológicos na região de São Félix, as médias derivadas de Porto Nacional e Paranã no período de 1949 a 1973.

A Tabela 6.1, a seguir, apresenta as médias dos parâmetros meteorológicos derivados para a região de São Félix, na Estação de Serra da Mesa.

3.3 Precipitação

3.3.1 Geral

Os estudos de distribuição de precipitação na bacia do rio Tocantins, realizados pela ELETRONORTE, foram baseados nas

RIL-002
RO
DEZ87

TABELA 6.1
PARÂMETROS METEOROLÓGICOS DERIVADOS PARA A REGIÃO DO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE SÃO FÉLIX
PELA ESTATION DE SERRA DA MESA
PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: ABRIL/83 A AGOSTO/87.

MESES	PRECIPITAÇÃO (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)			EVAPORAÇÃO REAL (NO LAGO) (mm)	Nº DE DIAS DE CHUVA
			MÉDIA DAS MÁXIMAS	MÉDIA DAS MÍNIMAS	MÉDIA		
JAN	253,4	95,4	33,0	19,2	25,0	171,2	22
FEV	165,0	93,6	33,3	18,6	25,8	170,9	17
MAR	204,2	96,9	32,7	19,8	25,6	151,2	20
ABR	108,9	93,8	32,6	19,7	25,8	162,9	10
MAI	19,7	90,3	33,1	18,2	25,5	165,1	3
JUN	0	80,4	31,8	15,2	24,1	156,3	0
JUL	0,2	73,2	33,1	16,2	24,7	193,8	0
AGO	19,1	64,9	35,3	18,0	26,5	235,5	1
SET	38,3	67,4	36,1	19,0	27,3	226,1	5
OUT	164,6	86,3	34,4	19,5	26,1	175,4	17
NOV	168,1	88,8	34,3	18,8	25,5	202,4	16
DEZ	315,6	94,3	33,1	18,4	24,7	169,5	21
ANUAL	1457,1	85,4	33,6	18,4	25,6	2180,3	132

séries históricas de 10 (dez) estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura. Estas foram selecionadas por possuírem maior disponibilidade de dados, tanto em quantidade como em qualidade.

Estas estações base foram as seguintes: Imperatriz, Grajaú, Formosa, Paranã, Carolina, Conceição do Araguaia, Porto Nacional, Goiás, Mururi e Sangradouro. Por correlação com essas estações consta da Tabela 6.2 parâmetros meteorológicos para a região do aproveitamento hidroelétrico de São Félix.

Para a obtenção da distribuição espacial de precipitações na bacia, no período 1949-73, utilizou-se o processo do traçado das linhas de igual índice de precipitação (isoietas), obtidas com base nas séries de dados completadas e consistidas, no período 1949-73, para as estações base acima selecionadas.

O Anexo 10 apresenta a distribuição de isoietas médias anuais no período 1949-73. A referida distribuição caracteriza a presença de núcleo muito chuvoso (MAX) no lado ocidental da bacia e a de outro bem mais seco (MIN) representativo do meio-Norte, na parte oriental. A área da bacia desenvolve-se no sentido Norte-Sul entre os dois núcleos. A região do reservatório de Cana-Brava está localizada entre as isoietas médias de 1.100 a 1.300 mm.

A localização e disponibilidade de dados pluviométricos e meteorológicos da bacia do Tocantins está apresentada no Anexo 7. O Anexo 14 mostra também as curvas de intensidade-duração-freqüência para o posto de Formosa, obtidos de "Chuvas Intensas no Brasil" - DNOS - 1957.

3.3.2 Precipitação no Reservatório

Em fases anteriores dos estudos, a determinação da precipitação direta sobre as bacias hidráulicas dos reservatórios propostos, baseou-se nos dados das estações meteorológicas de Paranã e Porto Nacional. A metodologia empregada consistiu na determinação de um fator de ajuste para cada reservatório, calculado com base na distribuição de isoietas médias anuais. Ele representa a relação entre a precipitação anual média da superfície do reservatório em questão e a precipitação da estação-chave considerada. Para Cana-Brava a estação-chave foi a de Paranã e o fator de ajuste de 1,04. A Tabela 6.3 mostra os valores obtidos para o período de janeiro de 1949 a dezembro de 1979.

Em abril de 1983, FURNAS instalou uma estação meteorológica em Serra da Mesa que vem operando regularmente desde então. A série de valores é, porém, de apenas 4 anos, estando apresentada na Tabela 6.4 para o período de abril de 1983 a agosto de 1987.

TABELA 6.2
PARÂMETROS METEOROLÓGICOS DERIVADOS PARA A REGIÃO DO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE SÃO FÉLIX
(USINAS SERRA DA MESA E CANA-BRAVA)
PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: 1949 a 1973

MESES	PRECIPITAÇÃO (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)			EVAPORAÇÃO (mm)	
			MÉDIA DAS MÁXIMAS	MÉDIA DAS MÍNIMAS	MÉDIA COMPENSADA	BRUTA (NO PICHE)	REAL (NO LAGO)
JAN	221,5	81,7	31,6	21,2	25,4	66,4	51,5
FEV	197,6	82,9	31,1	21,2	25,0	53,6	41,3
MAR	184,2	83,8	31,3	21,2	25,3	64,9	50,0
ABR	96,8	81,9	31,9	21,3	25,6	66,3	51,1
MAI	22,5	75,6	32,7	19,7	25,0	93,5	72,0
JUN	2,4	69,1	32,8	16,9	24,0	95,4	73,5
JUL	2,9	64,3	33,1	15,7	23,7	138,7	106,7
AGO	1,7	57,5	34,9	16,7	25,2	176,1	135,5
SET	21,8	58,6	35,8	19,9	27,2	164,9	127,0
OUT	112,3	71,0	33,6	21,6	26,7	113,6	87,5
NOV	187,7	78,5	31,6	21,7	25,7	77,6	59,8
DEZ	210,7	81,4	31,2	21,3	25,4	62,9	48,4
ANUAL	1.262,1	73,9	32,6	19,9	25,3	1.173,9	903,9



TABELA 6.3
PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL EM CANA-BRAVA

ANOS	PRECIPITAÇÃO (mm)												TOTAL ANUAL	
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
1949	224.3	256.3	138.9	155.4	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	224.9	260.3	102.9	1380.6
1950	288.1	99.3	217.6	81.8	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	131.4	166.5	146.6	1167.0	
1951	56.2	137.7	169.2	42.6	48.3	0.0	0.0	0.0	0.0	36.2	37.1	268.0	795.3	
1952	211.8	288.6	184.2	66.0	57.0	0.0	0.0	0.0	11.4	27.2	100.3	311.1	1257.7	
1953	48.6	184.9	158.5	30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	122.9	74.4	208.1	841.4	
1954	158.8	215.7	147.5	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	26.4	131.0	203.9	922.8	
1955	261.5	128.8	104.8	103.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	117.1	138.0	227.4	1081.1	
1956	95.2	234.5	91.1	92.8	2.1	0.0	6.0	0.0	12.5	151.5	512.8	288.7	1487.2	
1957	176.0	402.1	190.0	170.6	10.1	0.0	0.0	0.0	27.7	23.9	198.7	122.1	1321.0	
1958	363.0	217.2	103.5	109.4	0.0	0.0	12.9	0.0	157.8	162.2	175.6	283.9	1585.4	
1959	404.9	40.9	200.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.4	46.8	195.1	55.1	1009.5	
1960	197.0	200.6	340.3	31.4	0.0	0.0	0.0	0.0	67.6	17.6	66.4	329.0	1249.8	
1961	338.8	219.8	126.4	78.3	26.7	0.0	0.0	0.0	5.6	51.9	70.6	365.1	1283.3	
1962	251.5	336.5	228.4	47.3	17.1	0.0	0.0	0.2	17.4	143.4	108.1	281.6	1431.5	
1963	195.0	366.1	140.3	123.8	90.2	0.0	0.0	0.0	5.2	59.1	132.6	346.5	1458.7	
1964	433.8	287.9	204.2	135.4	47.7	0.0	0.0	0.0	6.6	113.0	257.7	168.7	1655.0	
1965	364.9	153.1	311.7	151.1	7.5	3.2	7.5	0.0	7.3	127.9	106.6	84.0	1324.9	
1966	223.4	368.3	236.8	73.5	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	66.2	52.9	181.7	1219.2	
1967	69.8	107.4	79.7	52.4	0.0	0.0	0.0	0.0	46.8	109.6	267.1	224.6	957.4	
1968	113.2	344.9	272.9	136.9	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	97.4	615.9	163.6	1753.0	
1969	176.7	239.0	209.7	85.0	21.8	0.0	0.0	9.7	0.0	49.9	281.7	433.2	1506.6	
1970	327.1	170.0	110.4	124.3	0.0	0.0	0.0	0.0	58.9	126.9	297.0	61.8	1276.4	
1971	130.8	90.4	296.4	207.5	8.3	3.6	0.0	2.1	22.4	202.3	289.1	245.4	1498.3	
1972	122.7	195.0	136.2	103.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6	149.2	177.3	291.2	1190.8	
1973	181.5	249.6	321.4	126.9	0.0	7.8	0.0	0.5	0.0	261.1	112.7	221.7	1483.2	
1974	224.2	109.7	304.3	107.1	56.2	0.0	0.0	0.0	0.0	158.1	176.3	324.1	1460.0	
1975	184.1	180.9	170.0	206.5	0.0	0.0	14.6	0.0	16.4	156.4	293.6	112.3	1334.8	
1976	158.5	263.4	135.0	110.3	115.1	0.0	0.0	0.0	77.6	208.7	266.2	235.8	1570.7	
1977	348.8	296.0	41.1	163.9	12.7	3.2	0.0	0.0	50.1	119.6	173.3	158.9	1367.6	
1978	223.9	325.6	215.5	136.4	63.4	4.8	0.0	0.0	3.2	72.0	138.1	223.0	1406.0	
1979	372.7	476.6	97.2	39.5	8.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	243.5	226.9	1465.4	
MÁX.	433.8	476.6	340.3	207.5	115.1	7.8	14.6	9.7	157.8	261.1	615.9	433.2	1753.0	
MÉD.	223.4	231.8	183.3	100.9	19.9	0.8	1.3	0.4	24.1	108.4	197.3	222.5	1314.2	
MÍN.	48.6	40.9	41.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.1	55.1	795.3	



TABELA 6.4
PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL NA ESTAÇÃO DE SERRA DA MESA (FURNAS)

ANOS	PRECIPITAÇÃO (mm)												TOTAL ANUAL				
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ					
1983																	
1984	101.0	134.8	157.9	80.9	30.7	0.0	0.0	0.0	6.8	184.6	193.4	361.8	942.7				
1985	546.7	239.0	206.3	182.3	26.9	0.0	0.0	34.2	72.2	138.9	95.6	115.2	2028.8				
1986	209.8	148.0	134.8	26.2	7.5	0.0	0.6	42.2	27.9	119.7	173.6	506.4	1319.7				
1987	156.0	138.2	317.9	162.1	33.4	0.0	0.0	0.0	46.4	215.3	209.8	279.1					
MÁX.	546.7	239.0	317.9	182.3	33.4	0.0	0.6	42.2	72.2	215.3	209.8	506.4	1430.4				
MED.	285.8	173.9	166.3	100.5	11.4	0.0	0.2	25.5	48.8	158.0	159.7	300.2					
MÍN.	101.0	134.8	134.8	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	119.7	95.6	115.2					

Obs.: Os valores médios foram calculados considerando-se os anos de 1984, 1985 e 1986.

3.4 Evaporação

3.4.1 Geral

Como no item de precipitação, em fases anteriores, os estudos de evaporação foram realizados com base em estudos desenvolvidos pela ELETRONORTE. Estes estudos foram baseados nas mesmas estações meteorológicas dos estudos de precipitação, porém com um agravante em relação aos dados de precipitação porque os dados de evaporação, medidos por evaporímetro tipo Piché, apresentam quantidades e qualidades inferiores aos primeiros.

Para a obtenção da distribuição espacial da evaporação na bacia, no período de 1949-73, utilizou-se o processo do traçado das linhas de igual índice de evaporação (isoevaporimétricas), obtidas com base em séries de dados mensais consistidos e complementados por processos bastante simplificados devido à deficiência de dados existentes.

Segundo os mesmos estudos não foram empregadas as fórmulas empíricas clássicas para determinação da evaporação indiretamente, através de outros parâmetros meteorológicos e fisiográficos, porque estas em geral não são adequadas para latitudes tropicais baixas.

Assim sendo, mesmo dispondo de poucos dados, conseguiu-se uma distribuição isoevaporimétrica aceitável para a bacia do rio Tocantins, tendo em vista principalmente as condições de homogeneidade climato-meteorológicas existentes na região.

A distribuição de isoevaporimétricas médias anuais no período 1949-73 caracteriza a presença de um núcleo de grande evaporação, envolvendo o local de Porto Nacional (MAX), decrescendo para montante da bacia.

A região do reservatório de Cana-Brava está localizada entre as isoevaporimétricas de 1.200 a 1.300 mm.

3.4.2 Evaporação no Reservatório

Para determinação da evaporação de lago na superfície dos reservatórios propostos, os estudos desenvolvidos em fases anteriores foram também baseados nos dados das estações de Paranã e Porto Nacional, utilizando metodologia semelhante à utilizada nos estudos de precipitação no reservatório. A metodologia empregada consistiu na determinação de um fator de ajuste para cada reservatório, calculado com base na distribuição de isoevaporimétricas anuais. Ela representa a seleção entre a evaporação anual média do reservatório em questão e a evaporação da estação-chave considerada. Para Cana-Brava, a estação-chave foi a de Paranã e o fator de ajuste de 0,95. A Tabela 6.5 mostra os valores obtidos para o período de janeiro de 1967 a agosto de 1974.

TABELA 6.5
EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL EM CANA-BRAVA

ANOS	EVAPORAÇÃO (mm)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1967	85.0	72.2	76.0	81.7	123.5	143.5	205.4	278.9	201.4	166.3	75.1	81.6
1968	96.0	41.2	75.6	77.9	113.1	129.2	162.8	191.1	207.1	160.6	116.9	88.4
1969	104.5	82.7	-	-	128.3	107.4	153.0	154.9	113.1	114.0	104.5	74.1
1970	37.1	84.6	129.2	106.4	99.8	67.9	176.7	214.7	214.7	113.1	57.0	102.6
1971	138.7	75.1	77.9	68.4	-	22.8	125.4	213.8	233.7	146.3	96.0	86.5
1972	77.0	-	59.9	-	153.0	191.0	151.1	212.8	-	202.4	121.6	115.9
1973	134.9	79.8	112.1	106.4	163.4	207.1	211.9	90.3	213.8	238.5	87.4	52.3
1974	82.7	61.8	31.4	41.8	104.9	89.7	85.7	134.8	--	--	--	--

OBS.: Não houve operação de 1961 a 1966

Dados obtidos por evaporímetro tipo Piché, com coeficiente para evaporação de lago de 0,77



A estação de Serra da Mesa, instalada por FURNAS, também apresenta série de valores de evaporação, estando apresentada na Tabela 6.6 para o período de abril de 1983 a agosto de 1987.

4. REGIME FLUVIAL

4.1 Geral

Com base nos estudos anteriores, desenvolvidos pela ELETRONORTE, foram selecionadas as estações fluviométricas existentes da bacia do rio Tocantins, pertencentes ao DNAEE, consideradas de maior interesse para os estudos hidroenergéticos na região de São Félix. O Anexo 8 apresenta a localização e disponibilidade destas estações. Posteriormente, a partir de 1983, FURNAS instalou e iniciou a operação de outros 17 postos fluviométricos na região de São Félix, cuja localização e disponibilidade de dados estão apresentados no Anexo 9. Na região da usina Cana-Brava foram instaladas as réguas R, S, T, U, X, sendo utilizada como seção de medição a mira B no posto de São Félix. O relatório CGC.T-018-83 - Histórico dos Postos Fluviométricos e Medidores de Vazão, apresenta as Fichas Descritivas destas estações.

Dentre elas, cabe destacar a de Porto Nacional, principalmente por sua grande disponibilidade de dados e poucas falhas desde a sua implantação em 1949 até o presente. Esta estação serviu de base para caracterizar o regime do rio Tocantins, pois nela foi medida a maior estiagem (1950-55) e as maiores cheias registradas em 1964, 1977, 1979 e 1980. Portanto, o comportamento hidrológico do rio Tocantins a montante desta estação foi satisfatoriamente determinado através de correlação com esta estação, que permitiu a extensão da série de São Félix, utilizada como estação base para Serra da Mesa e Cana-Brava.

4.2 Curvas-Chave no Canal de Fuga

Foram elaboradas curvas-chave para as miras R e X, para atender às alternativas de layout e posição das estruturas estudadas para a usina. A curva desenvolvida para a mira R deve ser utilizada para as estruturas posicionadas na barragem principal e a curva desenvolvida para a mira X deve ser utilizada para as estruturas posicionadas na barragem auxiliar.

O posto denominado mira R possui 5 réguas linimétricas semelhantes, estando o zero da régua na El. 283,82 m, enquanto que o posto denominado mira X possui 6 réguas linimétricas, estando o zero da régua na El. 283,04 m.

As curvas-chave foram determinadas, utilizando-se as leituras de régua das miras R e X e as medições de descarga do posto de São Félix - mira B, sem correção de vazão já que as áreas de

TABELA 6.6
EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL NA ESTAÇÃO DE SERRA DA MESA (FURNAS)

ANOS	EVAPORAÇÃO (mm)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1983												
1984	166.0	167.2	151.0	167.2	170.1	158.4	196.7	257.7	242.1	192.0	146.3	148.5
1985	183.7	196.7	168.5	140.3	172.2	149.1	211.1	240.2	211.8	199.3	195.1	181.2
1986	150.9	159.4	155.3	148.2	155.3	155.5	191.5	254.0	202.8	134.8	209.5	174.8
1987	184.1	160.1	129.8	208.7	161.6	155.2	179.4	186.5	247.8	-	258.6	173.4

OBS.: Evaporação bruta em tanque classe A.

drenagem são praticamente idênticas. As curvas foram extrapoladas utilizando-se o método de Stevens, a partir de leituras de régua 10,00 m e 8,00 m, respectivamente, para as miras R e X; o período utilizado das medições foi de dezembro de 1982 a novembro de 1986.

As equações obtidas foram as seguintes:

- Mira R

$$1,50 \text{ m} \leq H < 10,00 \text{ m} - Q = 34,184 (H + 1,0)^{1,995}$$

$$10,00 \text{ m} \leq H \leq 23,10 \text{ m} - Q = 111,895 (H - 1,0)^{1,637}$$

- Mira X

$$2,10 \text{ m} \leq H < 8,00 \text{ m} - Q = 212,750 (H - 1,0)^{1,334}$$

$$8,00 \text{ m} \leq H \leq 23,90 \text{ m} - Q = 77,721 (H)^{1,734}$$

As curvas estão apresentadas no Anexo 12.

4.3 Série de Descargas

4.3.1 Média Mensal

Os estudos desenvolvidos por FURNAS, com vistas à derivação de dados para os locais de aproveitamentos, constam basicamente de:

- Caracterização e seleção de estações existentes;
- Preenchimento de falhas na série da estação-base de Porto Nacional por correlação de descargas médias diárias com as estações de Carolina e Tocantinópolis, e obtenção da série de descarga média mensal no período 1949-80;
- Extensão das séries de descargas médias mensais para a estação-base de São Félix por correlação mensal com Porto Nacional, no período 1949-80; São Félix foi o posto-base utilizado para Serra da Mesa e Cana-Brava;
- Derivação das séries de descargas médias mensais das estações-base mais próximas para os locais de aproveitamento por relação simples de áreas de drenagem entre elas.

Posteriormente, com base em estudos desenvolvidos pela ELETRO-NORTE, as séries foram extendidas para o período de 1931-1980; o período de 1931-1948 foi obtido com a utilização de modelo chuva-deflúvio.

As séries de descargas médias mensais naturais, no período de janeiro de 1931 a dezembro de 1980, determinadas para Serra da Mesa e Cana-Brava estão apresentadas na Tabelas 6.7 e 6.8.

TABELA 6.7
DESCARGAS MÉDIAS MENSAIS EM SERRA DA MESA (m³/s)
ÁREA DE DRENAGEM 50.975 km²

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
1931	1812	2217	3400	1701	673	452	296	248	220	336	370	528	1021
1932	1197	1584	946	665	397	257	178	143	156	135	518	912	590
1933	1322	1236	1235	1022	525	323	251	196	99	183	731	1137	688
1934	1208	1156	1441	912	495	316	249	191	183	106	450	902	634
1935	1882	2509	2736	1681	913	446	434	328	309	169	481	785	1056
1936	930	1206	2007	1165	521	381	341	272	177	154	316	911	698
1937	1065	1072	1316	804	437	335	220	172	129	276	377	1153	613
1938	1353	1215	1095	714	418	316	234	180	141	238	278	779	580
1939	1744	1447	914	701	401	262	198	159	150	417	634	673	641
1940	1869	2630	2460	1276	594	417	303	234	217	280	730	1354	1030
1941	1049	1064	1862	1165	424	315	235	174	157	203	710	1041	699
1942	1798	2037	1805	1186	535	369	320	247	311	331	657	1159	896
1943	3888	2520	2417	1584	667	510	351	282	214	387	749	1428	1249
1944	1338	1404	1074	904	383	311	238	195	137	245	549	1315	674
1945	2900	2333	2197	1645	953	570	434	365	308	318	980	1393	1199
1946	2023	1444	1095	754	422	346	277	209	176	196	297	661	658
1947	1056	1238	2027	1348	504	353	294	233	254	327	718	1319	805
1948	1151	1014	1472	909	390	259	211	166	164	169	546	1256	642
1949	2720	2245	1393	1064	554	362	290	210	112	269	619	680	876
1950	717	702	1220	846	542	353	205	190	124	244	507	697	528
1951	772	712	842	948	427	286	166	157	82	131	144	703	447
1952	735	771	1465	819	498	312	209	167	147	83	386	804	533
1953	652	488	716	531	279	176	140	102	100	197	452	655	374
1954	847	1087	637	683	272	206	138	104	79	154	192	667	422
1955	925	986	837	749	360	215	151	94	74	274	283	667	467
1956	1123	504	1057	674	519	347	238	170	113	206	791	1366	592
1957	2526	2217	2205	1450	795	554	430	359	229	242	485	705	1016
1958	1046	1994	1222	1249	660	471	327	247	177	246	253	505	699
1959	3025	1638	1389	843	459	321	235	176	182	290	333	350	770
1960	953	1637	1878	1073	642	410	350	260	204	231	286	630	712
1961	1629	1482	1095	758	461	320	234	172	114	140	207	479	590
1962	930	1121	1330	644	418	281	208	152	130	271	321	675	540
1963	1166	1212	679	488	348	237	182	138	105	93	264	392	442
1964	1740	1858	984	725	493	315	235	171	112	251	574	1003	705
1965	975	1094	1248	1212	649	415	306	223	159	493	743	832	695
1966	984	2431	1667	948	684	423	318	238	196	350	378	739	779
1967	759	1057	1075	844	488	326	241	172	147	170	361	919	546
1968	907	1641	2368	1303	482	326	234	185	222	340	844	1444	858
1969	1382	1741	1379	748	485	359	268	208	149	165	682	1621	765
1970	2268	1827	2226	1117	596	442	335	258	244	374	714	543	912
1971	471	502	613	626	322	226	166	134	137	306	1003	1166	472
1972	697	778	1021	881	431	299	228	175	146	366	609	1503	594
1973	1130	1148	1658	1467	595	400	300	219	190	537	825	939	784
1974	1150	876	2013	1685	893	552	400	309	248	369	486	680	805
1975	730	1121	681	993	472	323	252	195	158	323	559	571	531
1976	525	830	1012	615	421	275	208	165	195	296	779	1285	550
1977	1712	2368	930	966	570	440	322	247	239	343	448	1003	799
1978	2449	1940	2186	1321	754	559	419	316	260	347	425	890	988
1979	2732	3523	1922	1257	750	571	428	336	344	318	519	611	1109
1980	1927	4150	2066	1462	809	561	505	372	342	295	529	1762	1231
MÁX.	3888	4150	3400	1701	953	571	505	372	344	537	1003	1762	1249
MÍN.	471	488	613	488	272	176	138	94	74	83	144	350	374
MED.	1437	1540	1490	1022	535	364	274	212	179	263	521	923	730

TABELA 6.8
DESCARGAS MÉDIAS MENSAIS EM CANA-BRAVA (m³/s)
ÁREA DE DRENAGEM 57.777 km²

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
1931	2010	2455	3755	1887	758	515	344	291	260	388	425	598	1140
1932	1334	1759	1058	749	455	301	214	175	190	167	587	1020	667
1933	1471	1377	1375	1141	595	373	294	234	127	219	822	1268	774
1934	1346	1289	1602	1020	562	366	292	228	219	135	513	1009	715
1935	2086	2775	3025	1866	1022	508	495	379	358	204	547	881	1178
1936	1040	1343	2224	1299	591	437	393	317	213	188	365	1019	785
1937	1189	1196	1464	902	498	386	250	207	160	321	432	1285	691
1938	1505	1353	1222	803	478	366	275	216	173	280	324	874	655
1939	1935	1608	1023	789	459	306	236	193	183	477	715	758	723
1940	2072	2908	2721	1420	671	476	351	275	257	326	820	1506	1150
1941	1171	1187	2064	1299	484	364	277	209	191	241	799	1162	787
1942	1994	2257	2002	1321	606	424	370	290	360	382	740	1292	1003
1943	4291	2788	2674	1759	751	579	404	328	253	443	841	1588	1391
1944	1489	1561	1199	1012	439	360	280	232	169	287	622	1463	759
1945	3205	2582	2432	1826	1065	645	495	419	357	368	1095	1549	1336
1946	2241	1605	1222	847	482	399	323	248	212	234	345	745	741
1947	1179	1379	2246	1500	572	406	341	274	297	378	807	1468	903
1948	1283	1132	1636	1017	447	303	250	201	198	204	618	1399	724
1949	3007	2485	1549	1187	627	416	337	249	141	314	699	765	981
1950	806	790	1359	948	614	406	243	227	154	286	575	784	599
1951	867	801	944	1060	488	332	201	191	108	162	176	791	510
1952	826	866	1628	918	565	361	248	202	180	110	442	902	604
1953	735	554	805	602	325	212	172	130	128	235	515	738	429
1954	949	1213	718	769	317	245	170	133	105	187	229	751	482
1955	1035	1102	938	841	414	254	184	122	100	319	329	751	532
1956	1252	572	1180	759	589	400	280	205	142	245	888	1519	669
1957	2794	2455	2441	1612	892	627	491	413	270	284	551	793	1135
1958	1168	2209	1361	1391	743	536	378	290	213	289	296	573	787
1959	3342	1818	1545	945	523	371	277	212	218	337	384	403	864
1960	1066	1817	2082	1197	724	469	403	304	242	272	332	711	801
1961	1808	1647	1222	851	525	370	275	207	143	172	246	545	667
1962	1040	1250	1480	726	478	327	247	185	161	316	371	760	611
1963	1300	1350	764	554	401	279	218	170	134	120	308	449	503
1964	1930	2060	1100	815	560	364	276	206	141	294	649	1120	792
1965	1090	1220	1390	1350	731	474	355	263	193	560	835	932	782
1966	1100	2690	1850	1060	770	483	368	280	234	403	434	830	875
1967	852	1180	1200	946	554	376	283	207	180	205	415	1028	618
1968	1015	1821	2620	1450	548	376	275	222	262	392	946	1605	961
1969	1537	1931	1534	840	551	413	313	247	182	200	768	1800	859
1970	2511	2026	2464	1246	673	504	386	302	286	429	803	615	1020
1971	536	570	692	706	372	267	201	166	169	355	1120	1300	537
1972	784	873	1140	986	492	347	259	211	179	420	687	1670	671
1973	1260	1280	1840	1630	672	458	348	259	227	608	925	1050	879
1974	1282	981	2230	1870	1000	625	458	358	291	424	552	765	903
1975	820	1250	767	1110	537	373	295	233	192	373	633	646	602
1976	595	930	1130	694	481	320	247	200	232	343	874	1430	623
1977	1900	2620	1040	1080	645	502	372	290	281	395	511	1120	896
1978	2710	2150	2420	1470	847	632	479	365	304	400	485	996	1104
1979	3020	3890	2130	1400	842	646	489	388	396	368	589	690	1237
1980	2136	4579	2289	1625	907	635	573	427	394	342	600	1954	1371
MÁX.	4291	4579	3755	1887	1065	646	573	427	396	608	1120	1954	1371
MÍN.	536	554	692	554	317	212	170	122	100	110	176	403	429
MÉD.	1598	1710	1655	1141	606	418	320	251	215	308	591	1033	820

4.3.2 Curvas Características

A partir da série de vazões médias mensais determinadas para o aproveitamento de Cana-Brava, foram determinados a curva de duração, o fluviograma e a distribuição de descargas médias mensais, apresentados no Anexo 11.

4.3.3 Regularização de Descarga

A determinação das descargas regularizadas para Cana-Brava foi feita primeiramente seguindo-se a metodologia citada no Manual de Inventário da ELETROBRÁS - setembro de 1984, para os estudos preliminares considerando o sistema interligado. Assim sendo, foi utilizada a seguinte expressão:

$$Q_r = Q_n + \frac{1}{TS} \Sigma Vu, \text{ em que:}$$

Q_r = descarga regularizada em m^3/s

Q_n = média das vazões naturais, no período crítico do sistema considerado de junho de 1949 a dezembro de 1955

TS = nº de segundos do período crítico

ΣVu = somatório dos volumes úteis local e a montante do reservatório

Convém salientar que os valores determinados por esta metodologia foram utilizados apenas para determinação dos parâmetros hidroenergéticos preliminares que serviram de input para os estudos de simulação do sistema interligado, realizados por FURNAS.

Para efeito de comparação foi determinada a curva de regularização obtida através do método da curva das diferenças totalizadas (curva de massa), aplicado ao período da série de descargas correspondente ao mesmo período crítico considerado acima.

As curvas de regularização acima obtidas estão apresentadas no Anexo 11.

5. ESTUDOS DE ENCHENTES

5.1 Geral

Os estudos de enchentes foram elaborados por FURNAS/IESA, considerando dois enfoques, a saber: no primeiro, compreenderam os estudos de frequência de extremos e visaram fornecer parâmetros

hidrológicos para projeto das estruturas de desvio, como túneis, adufas, ensecadeiras e pré-ensecadeiras. No segundo, compreenderam os estudos hidrometeorológicos de enchentes, onde foi determinada a PMP para a região de São Félix e conseqüentemente a enchente máxima do projeto (EMP) através de aplicação de modelo de simulação chuva-deflúvio denominado SSARR - "Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation". Estes estudos visaram fornecer parâmetros hidrológicos para projeto do vertedouro e fornecer elementos para a fixação de borda livre da barragem.

Para os dois enfoques, os estudos foram desenvolvidos basicamente para a usina Serra da Mesa e derivados para a usina Cana-Brava por simples relação de áreas de drenagem, que são respectivamente de 50.975 km² e 57.777 km².

Vale lembrar que o desvio do rio para construção da usina Cana-Brava está programado para ocorrer durante o enchimento do reservatório de Serra da Mesa, de forma a se diminuir o custo das obras de desvio. Assim sendo, para o dimensionamento das obras de desvio, foram ainda calculadas curvas de frequência para esta condição de desvio reduzido, em que a contribuição para o escoamento se devia apenas à área de drenagem incremental entre Serra da Mesa e Cana-Brava, correspondente a aproximadamente 13% da área de drenagem em Cana-Brava.

5.2 Estudo de Frequência

Este estudo foi elaborado pela IESA e está apresentado no relatório RNA-516 denominado "Usina Serra da Mesa - Desvio do Rio e Estágios de Construção". A metodologia utilizada, bem como os resultados obtidos, serão resumidos a seguir.

Os estudos de frequência de picos de cheias se basearam em dados observados no posto fluviométrico de São Félix. Estes dados foram complementados com dados e informações coletados por FURNAS/IESA, constantes do relatório RNA-RVG-004 - Pesquisa de Marcas de Cheias Históricas na Bacia do Alto Tocantins a Montante do Local de Cana-Brava, dezembro/83. O relatório RNA-515 - Análise de Dados Fluviométricos, agosto/84, apresenta os estudos de consistência do conjunto de dados e informações disponíveis.

A metodologia aplicada para a determinação da magnitude e frequência de picos de descarga foi aquela recomendada pela referência "Flood Frequency Analyses - Paper 1543-A do U.S. Geological Survey" para o caso de postos fluviométricos que dispõem de poucos dados de picos de cheias registrados no próprio local, porém dispõem de dados e informações de cheias históricas na bacia de longa duração, conforme ocorrido neste local.

As cheias históricas constituem nesse caso a mais valiosa informação para determinação de curvas de frequência de cheias mais confiáveis. Foi elaborada por FURNAS/IESA pesquisa de marcas de cheias históricas na bacia, incluindo pesquisas de informações através de entrevistas com a população local e registros históricos. Além disso foram coletadas informações através de pesquisas feitas anteriormente pela ELETRONORTE. Estas foram fundamentais para o estabelecimento das recorrências das cheias ocorridas em 1980 e 1983, respectivamente.

A análise da série de picos anuais de cheias foi realizada com base na metodologia citada acima, como se segue:

- Listagem cronológica dos picos de cheias máximas registradas no posto de São Félix;
- Preenchimento de falhas por correlação de picos máximos anuais com os dados de Porto Uruaçu e Porto Nacional;
- Extensão da série registrada por correlação com Porto Nacional correspondendo ao período de 1950-60;
- Ordenação da série obtida em ordem decrescente de magnitude.

Para o cálculo do tempo de recorrência ou posição de plotagem correspondente a cada magnitude de descarga considerada é que o método acima adota critérios diferentes das análises de frequências mais comuns. Por exemplo, a maior cheia de 40 anos de registro não deverá ter necessariamente o tempo de recorrência de 41 anos, dado pela fórmula: $TR = \frac{n+1}{m}$

onde: TR = tempo de recorrência em anos
n = número de anos de registro
m = número da ordem de magnitude do pico da cheia, o maior sendo igual a 1.

Se existe informação histórica que garanta que a maior cheia observada nos 40 anos é a maior nos últimos 300 anos, o tempo de recorrência então deve ser calculado como $TR = \frac{300+1}{1} = 301$ anos. A segunda maior cheia seria computada como usualmente, $TR = \frac{40+1}{2} = 20,5$ anos, desde que não houvesse outra informação histórica a respeito desta última.

No caso do posto de São Félix foi constatado pelas pesquisas feitas junto à ELETRONORTE, que a cheia ocorrida em 1980 teria uma recorrência da ordem de 140 anos, conforme verifica-se no relatório TUC-10-3607-RE - Marcas Excepcionais de Cheias na Bacia do Tocantins - ELETRONORTE - setembro/80. Foi então adotada para cheia de 1980 a recorrência de 141 anos. A segunda maior cheia que se tem informação na bacia teria ocorrido em 1926 ou em 1983. Neste caso, como não foi possível o levantamento da marca da cheia de 1926 para comparação com a observada em 1983, foi adotada esta última como sendo a segunda maior cheia histórica nos últimos 140 anos e sua recorrência foi estimada em 70,5 anos.

Para as demais cheias registradas em São Félix considerou-se o período 1950-83 (34 anos) e para a terceira maior cheia foi estimada a recorrência $TR = \frac{34+1}{3} = 11,7$ anos e assim sucessivamente.

As cheias classificadas em ordem decrescente e seus tempos de recorrência calculados conforme descrito acima foram em seguida selecionadas para serem plotadas no papel de probabilidade de Gumbel.

Nesta seleção as cheias estimadas através de correlação com os postos de Porto Uruaçu e Porto Nacional somente foram utilizadas para determinação de posição de plotagem dos valores realmente registrados em São Félix. A curva de frequência de picos de cheias em São Félix foi então obtida através de ajuste gráfico. Para Serra da Mesa, esta curva de frequência foi derivada através de correlação entre São Félix e o posto Fazenda Rubão, apresentada no relatório RNA-515 - Análise de Dados Fluviométricos, julho/84.

Para Cana-Brava, as curvas de frequência foram obtidas através da aplicação de simples relação de áreas de drenagem entre os locais de Cana-Brava ($A_d = 57.777 \text{ km}^2$) e Serra da Mesa ($A_d = 50.975 \text{ km}^2$), sendo que as curvas derivadas para desvio reduzido foram obtidas supondo contribuição apenas da área incremental entre as duas usinas. As Tabelas 6.9 e 6.10 apresentam os valores obtidos para desvio pleno e desvio reduzido, respectivamente. O Anexo 13 apresenta as curvas de frequências para a distribuição de Gumbel.

Utilizando metodologia semelhante à utilizada nos estudos de frequência de máximas anuais, foram ainda elaboradas as curvas de frequência de descargas médias diárias para cada mês do ano, para auxiliar no planejamento da construção e também para as hipóteses de desvio pleno e desvio reduzido.

As Tabelas 6.11 e 6.12 apresentam os valores encontrados e o Anexo 13 as curvas de frequência para a distribuição de Gumbel. Não foi considerado amortecimento para o dimensionamento do desvio de Cana-Brava, face ao pequeno volume de acumulação do reservatório na faixa de elevações das enseadeiras.

5.3 Estudos Hidrometeorológicos

5.3.1 Geral

Estes estudos foram desenvolvidos por FURNAS/IESA, estando apresentados no relatório RNA-518, denominado "Usina Serra da Mesa - Estudos de Enchentes". Eles foram desenvolvidos basicamente para a usina Serra da Mesa e posteriormente derivados para a usina Cana-Brava. Nos itens a seguir será apresentada uma descrição sucinta da metodologia utilizada e os resultados obtidos.

TABELA 6.9
FREQUÊNCIA DE DESCARGAS
MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS
ANUAIS - DESVIO PLENO

TEMPO DE RECORRÊNCIA (ANOS)	DESCARGA (m ³ /s)
2	4.069
5	6.517
10	8.047
25	10.031
50	11.504
100	12.978
200	14.423
500	16.322
1.000	17.795
5.000	21.139
10.000	22.669

TABELA 6.10
FREQUÊNCIA DE DESCARGAS
MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS
ANUAIS - DESVIO REDUZIDO

TEMPO DE RECORRÊNCIA (ANOS)	DESCARGA (m ³ /s)
2	479
5	767
10	947
25	1.181
50	1.354
100	1.528
200	1.698
500	1.922
1.000	2.095
5.000	2.489
10.000	2.669

TABELA 6.11
FREQUÊNCIA DE DESCARGAS MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS POR MÊS
DESVIO PLENO

TEMPO DE RECORRÊNCIA (ANOS)	DESCARGAS MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS (m ³ /s)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2	3061	2877	2522	1798	856	541	385	308	270	636	1205	2104
5	5136	5404	3731	2676	1109	753	520	402	374	834	1704	3159
10	6509	7076	4531	3258	1258	893	610	465	442	967	2033	3858
25	8246	9189	5543	3992	1446	1090	722	545	528	1152	2450	4740
50	9532	10757	6292	4536	1586	1218	806	604	593	1271	2759	5395
100	10811	12314	7036	5078	1725	1344	889	662	656	1390	3067	6046
200	12084	13864	7779	5616	1863	1470	970	721	720	1507	3372	6694
500	13763	15910	8758	6327	2046	1638	1099	797	802	1663	3775	7549
1000	15033	17436	9498	6865	2184	1762	1180	855	866	1781	4082	8195

TABELA 6.12
FREQÜÊNCIA DE DESCARGAS MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS POR MÊS
DESVIO REDUZIDO

TEMPO DE RECORRÊNCIA (ANOS)	DESCARGAS MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS (m ³ /s)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAL	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2	360	339	297	212	101	64	45	36	32	75	142	248
5	605	636	439	315	131	89	61	47	44	98	201	372
10	766	833	533	384	148	105	72	55	52	114	239	454
25	971	1082	653	470	170	128	85	64	62	136	288	558
50	1122	1266	741	534	187	143	95	71	70	150	325	635
100	1273	1450	828	598	203	158	105	78	77	164	361	712
200	1423	1632	916	661	219	173	114	85	85	177	397	788
500	1620	1873	1031	745	241	193	129	94	94	196	444	889
1000	1770	2053	1118	808	257	207	139	101	102	210	481	965

5.3.2 Precipitação Máxima Provável (PMP)

Para utilização nos estudos hidrometeorológicos, foi selecionado um grupo de 24 postos que apresentaram período comum (1969-1983). Para este grupo de postos foi utilizado o método dos Polígonos de Thiessen para determinação do peso de cada um e condições sobre a bacia.

Foram estudados inicialmente os eventos críticos chuvosos sobre a bacia, conduzindo aos meses de fevereiro de 1980, janeiro de 1979 e dezembro de 1972, sendo traçadas as curvas DAD (Depth-Area-Duration) para diversas durações de precipitação, utilizando metodologia citada no WMO nº 237.

A maximização destas curvas foi baseada em cerca de 17 anos de dados (1966-1983) de ponto de orvalho em Porto Nacional. O fator de maximização utilizado, foi determinado a partir dos pontos de orvalho máximos persistentes de 12 horas, dos eventos estudados e do ponto de orvalho máximo persistente de 12 horas histórico, ao longo do período de dados disponível, conduzindo ao valor de 1,30.

As curvas PMP (DAD maximizadas) foram então obtidas pela aplicação do coeficiente 1,30 às curvas DAD. As Tabelas 6.13 e 6.14 apresentam os valores encontrados para as curvas DAD e PMP, também apresentadas no Anexo 14.

5.3.3 Enchente Máxima Provável (EMP)

As curvas DAD maximizadas (Curvas PMP-Precipitação Máxima Provável) foram então desagregadas no tempo e no espaço para aplicação no modelo de simulação hidrológica calibrado para a bacia. Esta fase do estudo envolveu a montagem de várias alternativas de PMP, em função da posição dos núcleos chuvosos sobre a bacia. O modelo utilizado foi o SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) desenvolvido no U.S. Army Corps of Engineers, já utilizado com sucesso até mesmo no rio Tocantins, em Tucuruí. Para simulação da PMP foi montada a seqüência de meses mais chuvosos já ocorridos na região, independentes do ano de ocorrência, de modo a serem representadas condições antecedentes críticas.

As simulações executadas pelo modelo para várias alternativas e durações indicaram a alternativa 2, com núcleo chuvoso sobre Pilar de Goiás, com duração de 20 dias, no período fevereiro-março como sendo o evento crítico. Cabe aqui ser ressaltado que as simulações foram realizadas para o reservatório de Serra da Mesa que apresentou um grande volume de acumulação ($54,0 \times 10^9$ m³ no N.A. Máximo Normal = 460,00 m); assim sendo, o conceito de evento crítico deve ser associado tanto ao pico quanto ao volume dos hidrogramas gerados e as simulações foram executadas já com o reservatório de Serra da Mesa, de modo a serem obtidas as descargas efluentes e níveis no reservatório e a jusante.

TABELA 6.13
CURVAS DAD - PRECIPITAÇÃO (mm)

ÁREA (km ²)	DURAÇÃO (DIAS)									
	2	3	5	7	10	12	15	20		
100	230,0	300,0	408,5	463,0	502,5	555,0	615,0	670,0		
200	229,0	295,0	401,5	459,5	499,0	548,0	611,5	668,0		
400	227,0	289,0	391,5	452,5	493,0	538,5	606,0	653,0		
600	224,5	285,5	384,0	447,0	488,0	531,5	602,0	658,0		
800	222,0	282,5	378,0	442,5	483,5	525,5	597,5	653,0		
1.000	220,0	280,0	372,5	438,0	479,5	520,5	593,5	648,5		
2.000	210,0	271,0	354,0	423,0	466,0	502,5	575,0	628,0		
3.000	204,0	265,0	341,5	412,0	456,0	489,5	557,5	612,0		
4.000	200,0	260,5	331,5	403,0	447,5	480,0	545,5	599,5		
5.000	196,0	256,0	323,0	395,0	440,0	471,5	535,0	590,0		
6.000	193,0	252,0	316,5	389,0	434,0	464,5	527,0	581,0		
7.000	190,5	249,0	310,5	383,0	428,0	458,5	520,0	574,0		
8.000	188,0	246,0	305,5	378,0	423,0	453,0	514,0	567,5		
9.000	188,5	243,0	300,5	373,0	418,0	448,0	508,5	562,0		
10.000	184,0	240,0	296,0	368,5	413,5	444,0	504,0	558,0		
15.000	175,5	229,0	279,5	350,5	395,5	426,0	484,0	538,0		
20.000	168,0	219,5	266,5	336,5	380,0	412,0	467,5	526,0		
25.000	162,0	211,5	256,0	325,0	367,0	400,0	455,0	515,0		
30.000	156,5	204,0	246,5	314,0	355,0	389,0	443,0	504,0		
35.000	151,5	196,0	238,0	304,5	343,5	379,0	432,0	494,0		
40.000	146,5	189,0	229,0	295,0	333,0	369,0	420,5	484,0		
45.000	141,5	182,0	221,0	284,5	232,0	359,0	409,5	474,0		
50.000	136,5	175,0	213,5	274,0	314,0	349,0	397,0	464,0		
57.062	128,0	163,0	203,0	256,0	323,0	329,0	373,0	448,0		

TABELA 6.14
CURVAS PMP - PRECIPITAÇÃO (mm)

ÁREA (km ²)	DURAÇÃO (DIAS)									
	2	3	5	7	10	12	15	20	30	
100	299,0	390,0	531,1	601,9	653,3	721,5	799,5	871,0	1066,0	
200	297,7	383,5	522,0	597,4	648,7	712,4	795,0	868,4	1053,0	
400	295,1	375,7	509,0	588,3	640,9	700,0	787,8	861,9	1046,5	
600	291,9	371,2	499,2	581,1	634,4	691,0	782,6	855,4	1034,8	
800	288,6	367,3	491,4	575,3	628,6	683,2	776,8	848,9	1025,7	
1.000	286,0	364,0	484,3	569,4	623,4	676,7	771,6	843,1	1018,6	
2.000	273,0	352,3	460,2	549,9	605,8	653,3	747,5	816,4	988,0	
3.000	265,2	344,5	444,0	535,6	592,8	636,4	724,8	795,6	963,3	
4.000	260,0	338,7	431,0	523,9	581,8	624,0	709,2	779,4	943,8	
5.000	254,8	332,8	419,9	513,5	572,0	613,0	695,5	767,0	926,9	
6.000	250,9	327,6	411,5	505,7	564,2	603,9	685,1	755,3	913,9	
7.000	247,7	323,7	403,7	497,9	556,4	596,1	676,0	746,2	903,5	
8.000	244,4	319,8	397,2	491,4	549,9	588,9	668,2	737,8	895,7	
9.000	241,2	315,9	390,7	484,9	543,4	582,4	661,1	730,6	885,3	
10.000	239,2	312,0	384,8	479,1	537,6	577,2	655,2	725,4	878,8	
15.000	228,2	297,7	363,4	455,7	514,2	553,8	629,2	699,4	847,6	
20.000	218,4	285,4	346,5	437,5	494,0	535,6	607,8	683,8	824,2	
25.000	210,6	275,0	332,8	422,5	477,1	520,0	591,5	669,5	806,0	
30.000	203,5	265,2	320,5	408,2	461,5	505,7	575,9	655,2	790,4	
35.000	197,0	254,8	309,4	395,9	446,6	492,7	561,6	642,2	776,1	
40.000	190,5	245,7	297,7	383,5	432,9	479,7	546,7	629,2	763,1	
45.000	184,0	236,6	287,3	369,9	419,9	466,7	532,4	616,2	750,1	
50.000	177,5	227,5	277,6	356,2	408,2	453,7	516,1	603,2	735,8	
57.062	166,4	211,9	263,9	332,8	384,8	427,7	484,9	582,4	716,3	

Os hidrogramas afluente e efluente, correspondentes ao evento crítico, para o reservatório de Serra da Mesa estão apresentados na Tabela 6.15. O hidrograma da cheia de projeto afluente ao reservatório de Cana-Brava foi definido com base no hidrograma efluente do reservatório de Serra da Mesa, correspondente à passagem do hidrograma da Enchente Máxima Provável (EMP), acrescido da contribuição natural da bacia intermediária entre os dois reservatórios, fazendo coincidir o pico do hidrograma da contribuição intermediária com o pico do hidrograma efluente de Serra da Mesa. Esta contribuição da bacia intermediária foi obtida aplicando-se a relação entre as áreas de drenagens ao hidrograma afluente à Serra da Mesa. A Tabela 6.15 apresenta valores encontrados.

6. RESERVATÓRIO

6.1 Curva Cota-Área-Volume

A curva cota-área-volume foi determinada pela IESA, tendo sido obtida pelo processo de planimetragem de áreas compreendidas entre curvas de níveis sucessivas, e os volumes calculados pela fórmula do tronco da pirâmide. A planimetragem foi efetuada com base em restituições em escala 1:25.000 com eqüidistância de curvas de nível de 10,00 m até a El. 320,00 m; e com base em cartas do DSG do Ministério do Exército, em escala 1:100.000, com eqüidistância de curvas de nível de 40,00 m até a El. 340,00 m.

Por ocasião dos trabalhos de reconhecimento de campo, FURNAS executou transporte de cotas, por meio de nivelamento geométrico, para os locais de Cana-Brava e Fazenda Custódio, partindo de RRNN da rede oficial (IBGE) e encontrou uma diferença de aproximadamente + 10 metros em relação à base altimétrica das folhas de restituição aerofotogramétrica (escala 1:25.000) desses locais; ao mesmo tempo, a IESA, a partir da interpretação dos resultados encontrados no nivelamento barométrico do perfil do N.A. no trecho compreendido entre São Félix - Eixo "A" - ELETRONORTE e São Salvador, constatou existir concordância satisfatória entre a base altimétrica oficial e a da restituição, a partir do local São Salvador para jusante e a partir do local de São Félix - Eixo "A" - ELETRONORTE para montante (ver RAF-009 - Relatório de Reconhecimento de Campo - 3ª Etapa). Assim sendo, a IESA estabeleceu correções para os valores das áreas planimetradas no trecho intermediário entre São Félix - Eixo "A" - ELETRONORTE e São Salvador, trecho em que está compreendido o reservatório de Cana-Brava, de modo a ajustá-lo o mais possível às elevações encontradas. Este ajuste consistiu na determinação de um valor adicionado às elevações de cada curva de nível e em cada folha da restituição considerada no trecho entre São Salvador e São Félix - Eixo "A" - ELETRONORTE. Para obtenção destes, admitiu-se uma variação linear, ao longo do trecho do

TABELA 6.15
HIDROGRAMAS DE ENCHENTE DE PROJETO EM SERRA DA MESA E CANA-BRAVA

DATA	DESCARGAS (m ³)		
	AFLUENTE SERRA DA MESA	EFLUENTE SERRA DA MESA	AFLUENTE CANA-BRAVA
10/02	721	5.406	
11/02	753	5.645	
12/02	757	5.674	
13/02	761	5.704	
14/02	801	6.000	6.721
15/02	960	7.193	7.946
16/02	1.324	9.920	10.677
17/02	1.711	12.825	13.586
18/02	1.866	13.178	13.979
19/02	1.779	13.203	14.163
20/02	1.627	12.628	13.952
21/02	1.466	10.987	12.698
22/02	1.269	9.510	11.376
23/02	1.114	8.350	10.129
24/02	1.216	9.115	10.742
25/02	1.434	10.747	12.213
26/02	1.426	10.685	11.954
27/02	1.277	9.572	10.686
28/02	1.176	8.810	10.026
29/02	1.173	8.792	10.226
01/03	1.200	8.996	10.422
02/03	1.199	8.982	10.259
03/03	1.237	9.271	10.447
04/03	1.380	10.342	11.515
05/03	1.724	12.919	14.119
06/03	2.356	13.267	14.466
07/03	2.924	13.586	14.823
08/03	3.039	14.015	15.395
09/03	2.779	14.399	16.123
10/03	2.411	14.649	17.005
11/03	2.098	14.753	17.677
12/03	1.867	14.763	17.802
13/03	1.593	14.693	17.472
14/03	1.325	14.510	16.921
15/03	1.162	14.253	16.351
16/03	1.062	13.962	15.829
17/03	983	13.651	15.244
18/03	931	10.142	11.467
19/03	938	7.032	8.194

rio envolvido, das elevações reais e as da restituição, determinando-se por diferença o valor desejado ao longo do rio. Em seguida, determinou-se um valor de correção médio para cada folha, tendo em vista facilitar o processo de planimetragem.

A curva cota-área-volume obtida para Cana-Brava está apresentada no Anexo 12.

6.2 Amortecimento do Reservatório

Para determinação do hidrograma efluente, correspondente à passagem do hidrograma da cheia de projeto afluente ao reservatório de Cana-Brava pelo vertedouro, foram utilizados como dados básicos o hidrograma de projeto, apresentado na Tabela 6.15 e a curva cota vs. volume apresentada no Anexo 12. Além disto, foi adotado como curva de descarga para o vertedouro a seguinte relação:

$$Q = N \times C \times L \times H^{1,5}, \text{ onde:}$$

Q = descarga (m^3/s)

N = nº de comportas = 6

C = coeficiente de descarga do vertedouro igual a 2,10 m

L = largura do vão da comporta igual a 15,00 m

H = altura da lâmina d'água sobre a soleira do vertedouro igual a 19,00 m

Cabe ressaltar que, nesta fase de estudo, não foram consideradas a redução da largura efetiva do vertedouro (contração devido às ombreiras e pilares) e a variação do coeficiente de descarga devido às condições de aproximação.

Para simulação da passagem do hidrograma da cheia de projeto afluente ao reservatório de Cana-Brava, foram admitidos os seguintes critérios:

- No início da operação o reservatório se encontra no N.A. Máximo Normal (El. 333,00 m);
- A regra de operação do reservatório consiste em manter o nível d'água máximo normal de operação sempre que possível, ou seja, a descarga efluente é igual a afluente até que seja atingida a capacidade do vertedouro com todas as comportas abertas. Somente quando a descarga afluente for maior que a capacidade do vertedouro, com as comportas completamente abertas, é que passará a existir sobrelevação.

A metodologia adotada foi aquela que resolveu a equação diferencial da continuidade, que representa o fenômeno físico de amortecimento no reservatório, pelo processo de resolução numérica desta equação. Este método é denominado nos EUA como "Puls Method" e é recomendado para estudos de planejamento de controle de cheias, devido a sua simplicidade.

Os valores máximos encontrados estão apresentados na Tabela 6.16, a seguir. Foi adotado o vertedouro com 6 comportas, uma a mais do que a usina Serra da Mesa, pois o vertedouro com 5 comportas conduziu a valores altos para a sobrelevação máxima, em torno de 4,00 m. Os valores das hidrógrafas afluentes e efluentes e a variação do nível d'água do reservatório estão apresentados na Tabela 6.17 e plotados no Anexo 12.

6.3 Estudos de Remanso

Os estudos do remanso provocado pelo reservatório de Cana-Brava foram executados pela IESA, estando descritos no relatório RNA-517 denominado "Usina Serra da Mesa - Estudo do Remanso do Futuro Reservatório de Cana-Brava".

O objetivo principal dos estudos de remanso executados para o trecho do rio Tocantins, compreendido entre as futuras barragens de Serra da Mesa e Cana-Brava, foi determinar os perfis da superfície da linha d'água para condições naturais e modificadas que ocorrerão após a implantação das barragens de Serra da Mesa e Cana-Brava. A construção destas barragens determinará modificações nas características de controles naturais existentes sobre o escoamento do rio Tocantins neste trecho considerado. Assim sendo, a previsão das características futuras do escoamento neste trecho é fundamental para a determinação de parâmetros de projeto das duas barragens.

Os estudos se desenvolveram em duas etapas. Na primeira foi calibrado o modelo matemático, constante do programa HEC-2 - Water Surface Profiles - elaborado pelo U.S. Corps of Engineers. Essa calibração consistiu na identificação de seções de controle para as diversas descargas correspondentes aos perfis de linha d'água medidos por FURNAS ao longo do trecho considerado.

Com base nas curvas-chave dos postos fluviométricos de São Félix e Fazenda Rubão, constantes do relatório RNA-515 - Análise de Dados Fluviométricos - foram calculadas as descargas dos trechos do rio Tocantins, situadas a jusante e a montante da foz do rio Preto, respectivamente.

Em seguida foram feitas rodagens sucessivas, para cada perfil (total de 7 perfis) ou descarga medida considerada, sendo adotados valores de n (coeficiente de Manning) em cada seção e comparado o nível d'água calculado pelo modelo, com o medido.

TABELA 6.16
AMORTECIMENTO DO HIDROGRAMA DE PROJETO
RESUMO DOS RESULTADOS

Nº DE COMPORTAS	VAZÃO MÁXIMA AFLUENTE (média de 6 hs) (m ³ /s)	VAZÃO MÁXIMA EFLUENTE (m ³ /s)	SOBRELEVAÇÃO MÁXIMA (m)
6	17.802	17.761	1,67

TABELA 6.17
AMORTECIMENTO DO HIDROGRAMA DE PROJETO

TEMPO (horas)	VAZÃO AFLUENTE (m ³ /s)	COTA DO RESERVATÓRIO (m)	VAZÃO EFLUENTE (m ³ /s)
0	15.395	333,00	15.395
6	15.577	333,00	15.577
12	15.759	333,01	15.662
18	15.941	333,09	15.769
24	16.123	333,21	15.918
30	16.344	333,36	16.098
36	16.564	333,52	16.301
42	16.785	333,69	16.515
48	17.005	333,86	16.733
54	17.173	334,03	16.939
60	17.341	334,17	17.123
66	17.509	334,31	17.297
72	17.677	334,44	17.471
78	17.708	334,54	17.601
84	17.740	334,60	17.670
90	17.771	334,64	17.721
96	17.802	334,67	17.760
102	17.720	334,67	17.761
108	17.637	334,63	17.711
114	17.555	334,58	17.644
120	17.472	334,52	17.570
126	17.334	334,44	17.471
132	17.197	334,35	17.350
138	17.059	334,25	17.221
144	16.921	334,14	17.087
150	16.779	334,04	16.950
156	16.636	333,92	16.810
162	16.494	333,81	16.669
168	16.351	333,70	16.527
174	16.221	333,59	16.388
180	16.090	333,48	16.255
186	15.960	333,38	16.124
192	15.829	333,27	15.993
198	15.683	333,17	15.858
204	15.537	333,05	15.717
210	15.390	333,00	15.390
216	15.244	333,00	15.244
222	14.300	333,00	14.300
228	13.356	333,00	13.356
234	12.411	333,00	12.411
240	11.467	333,00	11.467
246	10.649	333,00	10.649
252	9.831	333,00	9.831
258	9.012	333,00	9.012
264	8.194	333,00	8.194

Uma vez calibrado o modelo para os sete perfis considerados (vazão variando de 383 m³/s até 3.149 m³/s no posto fluviométrico de São Félix), foram traçadas curvas n versus N.A. para cada seção. Estas foram utilizadas para extrapolação dos valores de n para a determinação de perfis, para descargas superiores àquelas consideradas na calibração, até o limite máximo de 15.000 m³/s.

Na segunda etapa foram executados os cálculos dos perfis de linha d'água para condições naturais, que correspondem ao estado atual do rio, isto é, antes da construção de Serra da Mesa e Cana-Brava e condições futuras, que correspondem ao estado do rio após a construção, em primeiro lugar, da barragem de Serra da Mesa e em seguida da barragem de Cana-Brava. O resultado destas rodagens, que estão contido no relatório RNA-517, de dezembro/85, forneceram perfis de linha d'água para diversas configurações de controle do escoamento do trecho e as curvas-chave correspondentes junto à mira G, considerada como a futura curva do canal de fuga da usina Serra da Mesa.

Complementarmente foram executadas simulações para avaliar as modificações na curva chave do canal de fuga de Serra da Mesa (curva G) quando o vertedouro estiver operando com ou sem o reservatório de Cana-Brava.

Esses resultados devem ser interpretados com cautela, devido à restrição do modelo utilizado, que considera o escoamento gradualmente variado, o que não ocorre quando o vertedouro de Serra da Mesa está descarregando, cerca de 800 m a jusante do canal de fuga da usina.

Os resultados encontrados nos estudos de remanso permitiram a determinação e aferição de parâmetros para as condições naturais e modificadas do trecho do rio em estudo.

Para condições naturais, foi avaliada a extrapolação das curvas-chave do trecho em estudo (Fazenda Rubão e Serra da Mesa - mira G) e a definição final do ramo extrapolado das correlações entre as diversas miras e a mira K, valores utilizados para calibração do modelo físico de Serra da Mesa.

Para condições modificadas, foi definida a curva-chave no canal de fuga da usina Serra da Mesa para diversos níveis máximos normais em Cana-Brava. Esta curva forneceu elementos para o estudo energético-econômico efetuado por FURNAS para determinação do N.A. Máximo Normal de Cana-Brava.

6.4 Estudo de Borda Livre

6.4.1 Geral

Estes estudos foram desenvolvidos pela IESA, tendo como objetivo a determinação da borda livre mínima recomendável.

Os aspectos climatológicos e meteorológicos em geral, da área em estudo, mostram tratar-se de uma região tipicamente tropical continental, caracterizada por uma homogeneidade climato-meteorológica resultante de uma transição para condição continental. Esta região encontra-se também completamente livre dos efeitos diretos ou indiretos de fenômenos ciclônicos intensos de natureza dinâmica.

As condições citadas acima permitem concluir que não há possibilidade geofísica de ocorrência de ventos persistentes ciclônicos, considerados muito intensos sobre a área de interesse.

6.4.2 Estudos de Vento de Projeto

Devido à homogeneidade climato-meteorológica tropical reinante sobre a região, associada à ausência de manifestações ciclônicas intensas, será adotado para a usina Cana-Brava os mesmos valores de vento de projeto definidos para a usina Serra da Mesa, (ver relatório RNA-507 - Usina Serra da Mesa - Estudo de Borda Livre), obtidos a partir da análise de frequência de ventos realizada com base nos dados em Serra da Mesa, Porto Nacional e Brasília. Assim sendo, serão adotados para Cana-Brava os ventos de 100 e 10.000 anos de recorrência, respectivamente de 60 e 85 km/h sobre a terra.

6.4.3 Estudos de Ondas e do Alcance Máximo d'Água no Paramento da Barragem (Run-up)

- Metodologia

Para o estudo de ondas utilizou-se a metodologia desenvolvida no ASCE Paper nº 3465 (volume 128, 1963, Parte IV): "Freeboard Allowances for Waves in Inland Reservoirs" by Saville, Mc Clendon and Cochram.

- Critérios Gerais

Devido à pequena probabilidade de ocorrência conjunta dos eventos sobrelevação máxima com vento máximo, foram adotadas duas condições para determinação da onda de projeto e do run-up. Estas condições consideram a probabilidade de ocorrência conjunta dos seguintes eventos:

- Condição I

Considerando o reservatório no seu N.A. Máximo Normal de 333,00 m, a barragem deverá conter ondas geradas por ventos de superfície (sobre a terra) de 85 km/h, atuando na direção do fetch crítico.

Para esta condição a altura da onda de projeto corresponde à altura da onda de probabilidade de 0,1% ($H_{0,1\%}$) de ser excedida em um trem de ondas.

- Condição II

Considerando o reservatório com sobrelevação de 1,67 m em relação ao N.A. Máximo Normal de 333,00 m, devido à cheia de projeto, a barragem deverá conter ondas geradas por ventos de superfície (sobre a terra) de 60 km/h na direção do fetch crítico.

Para esta condição a altura da onda de projeto corresponde à altura da onda de probabilidade de 2% ($H_{2\%}$) de ser excedida em um trem em ondas.

● Fetch Efetivo

Foram testadas diversas direções do fetch para inúmeros pontos, tanto para a barragem principal como para a barragem secundária, considerando que qualquer direção de vento poderia produzir o fetch efetivo crítico.

O fetch efetivo crítico calculado, segundo metodologia citada anteriormente, é de 4,3 km. O traçado das linhas de fetch e respectiva tabela dos cálculos efetuados encontram-se apresentados no Anexo 12.

● Altura de Onda de Projeto e Run-up

O run-up no talude de enrocamento é igual a 50% do run-up no talude liso; para o talude de face de concreto vertical, o run-up é igual à altura de onda considerada.

A maré de vento foi desprezada, devido à grande profundidade do reservatório nas proximidades da barragem.

A relação entre a velocidade do vento sobre a água e sobre a terra é de 1,3.

● Resumo dos Resultados

Os cálculos detalhados estão apresentados na Tabela 6.18 a seguir, que permite a compreensão fácil do desenvolvimento dos mesmos.

Para condição I: (N.A. Máximo Normal na El. 333,00 m)

$$H_{0,1\%} = 2,56 \text{ m}$$

Run-up

- Talude vertical de concreto R = 2,56 m

- Talude de enrocamento (1V:2,5H) R = 2,06 m

Para condição II: (N.A. Máximo Maximorum El. 334,67 m)

$$H_{2\%} = 1,44 \text{ m}$$

TABELA 6.18
VENTO, ALTURA DE ONDA E RUN-UP

CONDIÇÕES DE PROJETO	VELOCIDADE DO VENTO (km/h)		CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS EM ÁGUAS PROFUNDAS					RUN-UP			
	(1) SOBRE A TERRA	(2) SOBRE A ÁGUA	(3) HS	(4) TS	(5) LS	(6) H PROJ (m)	(7) H PROJ / LS	(8) TALUDE	(9) R/H PROJ TALUDE LISO	R = RUN-UP	
									(10) TALUDE LISO	(11) TALUDE ENROC.	
CONDIÇÃO I RES.NO N.A. MÁXIMO NOR- MAL=333,00 m	85	110	1,49	4,17	27,1	H _{0,1%} 2,56	0,094 (0,080)	VERTICAL IV:2,5H	- 1,61	2,56 4,12	- 2,06
CONDIÇÃO II RES.NO N.A. MÁXIMO MAXI- MORUM = 334,67 m	60	78	1,03	3,58	20,0	H _{2%} 1,44	0,072	VERTICAL IV:2,5H	- 1,72	1,44 2,48	- 1,24

- (2) Váguia = $1,3 V_{terra}$
(3) Hs = $199,4 \times 10^{-6} V^{1,06}$ F efetivo 0,47
(4) TS = $50,6 \times 10^{-3} V^{0,44}$ F efetivo 0,28
V = km/h - coluna (2)
F efetivo (m) = 4.300,00 m
HS - m; TS - seg
- (5) LS = $\frac{g}{2\pi} \cdot TS^2 = 1,561 \cdot TS^2$
(6) H_{0,1%} = 1,72 HS; H_{2%} = 1,40 HS
(7) H projeto/LS = (6)/(5)
(9) R/H (Fig. 9 - ASCE Paper 3.465)
(11) Run-up talude de enrocamento = 50% talude liso

Run-up

- Talude vertical de concreto R = 1,44 m
- Talude de enrocamento R = 1,24 m

6.4.4 Borda-Livre

Os estudos de ventos, ondas e run-up foram desenvolvidos nos itens anteriores. O critério básico para determinação da borda livre foi fixado de modo a permitir que as cotas de coroamento das barragens e estruturas anexas sejam capazes de conter as ondas geradas para as condições I e II, consideradas anteriormente.

Os resultados encontrados para o run-up conforme cálculos apresentados na Tabela 6.18 foram adicionados aos níveis d'água máximo normal (El. 333,00 m) e maximorum (El. 334,67 m) para determinação da elevação máxima alcançada pela onda. Os valores finais estão apresentados em detalhes na Tabela 6.19 e resumidamente a seguir.

- Condição I: reservatório no N.A. Máximo Normal (El. 333,00 m)
 - Talude vertical de concreto El. 335,56 m
 - Talude de enrocamento El. 335,06 m
- Condição II: reservatório no N.A. Máximo Maximorum (El. 334,67 m)
 - Talude vertical de concreto El. 336,11 m
 - Talude de enrocamento El. 335,91 m

Com base nos resultados encontrados acima, pode-se concluir que a borda livre de 3,00 m adotada para a barragem de Cana-Brava satisfaz todas as condições pré-estabelecidas; para estruturas de concreto associadas uma borda livre de 3,50 m é recomendada.

6.5 Estudos de Enchimento

Face ao pequeno volume do reservatório ($2,3 \times 10^9 \text{m}^3$ - El. 333,00 m) em relação ao deflúvio médio anual ($25,9 \times 10^9 \text{m}^3$) e à existência do reservatório de Serra da Mesa a montante, com um volume de cerca de 25 vezes superior ao de Cana-Brava, pode ser constatado que o enchimento do reservatório não se constituirá problema sob o ponto de vista de disponibilidade hídrica, ficando condicionado principalmente às características do cronograma de implantação do empreendimento.

Foram desenvolvidos estudos de enchimento de reservatório, com base em dados históricos de vazões afluentes e em critérios estabelecidos para vazões efluentes (vertidas + turbinadas) em Serra da Mesa, datas de entrada das máquinas e cronogramas de engenharia de Cana-Brava.

TABELA 6.19
ELEVAÇÕES ALCANÇADAS PELO RUN-UP

CONDIÇÕES DE PROJETO	TALUDE	ALTURA DA ONDA DE PROJETO (m)	RUN-UP (m)	ELEVAÇÃO ALCANÇADA (m)
Reservatório no N.A. Máx. Normal El. 333,00 m. Velocidade do vento: 80 km/h sobre a terra e 110,5 km/h sobre a água. Onda de Projeto: H ₀ , 1%	Vertical (estruturas de concreto) 1V:2,5H (barragem)	2,56 2,56	2,56 2,06	335,56 335,06
Reservatório no N.A. Máx. Maximorum El. 334,67 m Velocidade do vento: 60 km/h sobre a terra e 85 km/h sobre a água. Onda de Projeto: H ₂ %	Vertical (estruturas de concreto) 1V:2,5H (barragem)	1,44 1,44	1,44 1,24	336,11 335,91

● Dados Utilizados

Para os estudos de enchimento foram utilizados os seguintes dados:

- Séries de descargas médias mensais em Serra da Mesa e Cana-Brava do período de JAN31 - DEZ80 (ver Tabelas 6.7 e 6.8).
- Curva cota-volume do reservatório (ver Anexo 12).

● Critérios Utilizados

- Entrada em operação da 1ª máquina: 01 de abril de 1994
- Início do enchimento: 01 de outubro de 1993
- Entrada em operação das máquinas de Serra da Mesa:

1ª máquina: 01 de maio de 1993

2ª máquina: 01 de setembro de 1993

3ª máquina: 01 de janeiro de 1994

- Descargas afluentes à Cana-Brava - As descargas afluentes à Cana-Brava foram obtidas somando-se as vazões da bacia incremental Serra da Mesa-Cana-Brava às vazões efluentes de Serra da Mesa. As vazões efluentes de Serra da Mesa, para 1, 2 e 3 máquinas em operação, são as seguintes:

1 máquina: 372 m³/s

2 máquinas: 744 m³/s

3 máquinas: 806 m³/s (corresponde a 2 máquinas na base todo o dia e 1 máquina na ponta, durante 4 horas do dia).

- Descargas efluentes de Cana-Brava - Foi considerada a descarga efluente de 100 m³/s, quando o nível do reservatório atingir a elevação suficiente para que esta descarga possa ser escoada pelo vertedouro (El.314,00 m). Esta descarga corresponde à mínima descarga média mensal.

● Resultados Obtidos

Para obtenção das probabilidades de enchimento, foram efetuadas simulações do enchimento com base nos critérios descritos no item anterior. As curvas de probabilidades de enchimento estão apresentadas no Anexo 12, tendo sido variado o mês do início do enchimento, de setembro de 1993 a março de 1994; a Tabela 6.20 apresenta os valores máximos, médios e mínimos dos volumes acumulados para cada mês de início do enchimento. Pela análise das curvas obtidas e da Tabela 6.20, pode ser concluído que, com base na operação normal da usina Serra da Mesa acrescidas das vazões incrementais até Cana-Brava, o reservatório encheria, com certeza, mesmo que

TABELA 6.20
 VOLUMES ACUMULADOS EM FUNÇÃO DO MÊS DE INÍCIO DE ENCHIMENTO

PERÍODO DE ENCHIMENTO	Nº DE MESES	VOLUMES ACUMULADOS (10 ⁹ m ³)		
		MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
01MAR - 01ABR	1	2,3	2,6	3,1
01FEV - 01ABR	2	4,4	4,9	5,7
01JAN - 01ABR	3	6,4	7,1	8,3
01DEZ - 01ABR	4	8,3	9,1	10,3
01NOV - 01ABR	5	10,2	11,0	12,2
01OUT - 01ABR	6	12,0	12,8	14,0
01SET - 01ABR	7	13,9	14,6	15,9

o início do enchimento fosse retardado para apenas 1 mês antes da entrada em operação da 1ª máquina (01 março de 1994). Pode ser visto também que iniciando o enchimento na data prevista (01 de outubro de 1993), o volume acumulado mínimo é de $12,0 \times 10^9 \text{m}^3$, cerca de 6 vezes superior ao do volume do reservatório, indicando que o enchimento será completado rapidamente, sendo o volume restante vertido, até a entrada em operação das unidades.

Devido à existência de Serra da Mesa a montante, o enchimento poderia ser efetuado ainda, se necessário, de forma mais rápida, deplecionando o reservatório de Serra da Mesa em valor correspondente ao volume em Cana-Brava, com utilização do vertedouro. A Tabela 6.21 e a curva apresentada no Anexo 12 mostram os tempos necessários para enchimento em função da vazão efluente (vertida + turbinada) em Serra da Mesa. Estes resultados indicam, por exemplo, que para uma vazão efluente de $9.000 \text{m}^3/\text{s}$, o reservatório poderia encher em 3 dias.

7. HIDROSEDIMENTOLOGIA

7.1 Estudos de Sedimentos

Para avaliação do transporte sólido em Cana-Brava, foram utilizados dados de uma campanha sedimentométrica realizada por FURNAS em Fazenda Rubão entre 10/06/82 e 25/04/84, cujos cálculos sedimentológicos fazem parte do relatório denominado Estudos Sedimentológicos do Rio Tocantins em São Félix - Relatório Final. Sendo as áreas de drenagem do porto Fazenda Rubão e do local da usina Cana-Brava bastante próximas (51.389km^2 e 57.777km^2), assumiu-se que os resultados das análises sedimentológicas para o posto servem para o local do reservatório.

A equação que relaciona a vazão sólida total com a vazão líquida é, segundo o relatório citado:

$$Q_{ST} = 1.0878 \times 10^{-3} (Q_L - 30)^{2.445}$$

onde:

Q_{ST} = vazão sólida total t/dia

Q_L = vazão líquida em m^3/s

Desta forma, a partir da série de vazões líquidas médias mensais em Cana-Brava para o período 1931-1980, foram calculadas as séries de vazões sólidas totais médias mensais natural e específica, bem como determinada a curva de duração de vazões específicas (Anexo 14). O valor médio assim encontrado para o período 1931/1980 para o local do reservatório é: vazão sólida total específica média = $0,600 \text{t}/\text{km}^2 \text{dia}$

TABELA 6.21
TEMPO NECESSÁRIO PARA ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO
DE CANA-BRAVA ($2,3 \times 10^9 \text{m}^3$) EM FUNÇÃO DA VAZÃO
VERTIDA EM SERRA DA MESA

DESCARGA	TEMPO (DIAS)
1.000	26,6
2.000	13,3
3.000	8,9
4.000	6,7
5.000	5,3
6.000	4,4
7.000	3,8
8.000	3,3
9.000	3,0
10.000	2,7
11.000	2,4
12.000	2,2
13.000	2,0
14.000	1,9
15.000	1,8

No Anexo 14 é feita a comparação entre a vazão sólida específica encontrada para o local da usina Cana-Brava e vários outros locais de onde se dispunha de informações.

Devido ao reservatório da usina Serra da Mesa, situado a montante de Cana-Brava, com área de drenagem de 50.795 km², foi necessário calcular a contribuição incremental de vazão sólida. Considerou-se, para isso, que o reservatório de Serra da Mesa reterá 100% do material sólido a ele afluente.

O critério considerado para este cálculo foi o de estender a validade da vazão sólida específica para toda a região estudada. Sendo assim, foi determinada a curva de duração de vazão sólida total em Cana-Brava, desta vez tomando como base a área incremental entre os locais de Cana-Brava e Serra da Mesa (Anexo 14). Foi encontrado o valor médio de 4.081,2 t/dia ou 1.489.638 t/ano para o local de Cana-Brava.

7.2 Vida Útil do Reservatório

A determinação do peso específico do material sólido foi feita com base nas análises sedimentológicas relativas à campanha já citada, onde se obtiveram os seguintes valores:

Areia: 11,59%
Silte: 47,90%
Argila: 40,51%

O peso específico inicial do sedimento foi então estimado utilizando-se a metodologia desenvolvida pelo Bureau of Reclamation, resultando o valor de 0,89 t/m³. Foram também avaliados os pesos específicos ao longo da vida do reservatório devido à compactação.

A previsão de vida útil do reservatório de Cana-Brava foi avaliada usando-se o coeficiente de retenção de 100%, através da seguinte expressão:

$$V = \frac{\Delta T * Q_{st}}{\bar{P}_e}, \text{ onde:}$$

ΔT = período de operação considerado em anos

Q_{st} = descarga sólida total em t/ano

\bar{P}_e = peso específico médio do intervalo considerado em t/m³

Os resultados estão apresentados na Tabela 6.22 a seguir, podendo ser notado o tempo necessário para assoreamento do volume total do reservatório:

- Volume total (2,3 x 10⁹ m³) 2.020 anos

TABELA 6.22
 PESOS ESPECÍFICOS AO LONGO DA VIDA DO RESERVATÓRIO

T (ANOS)	PESO ESPECÍFICO (t/m ³)	VOLUME ASSOREADO (10 ⁹ m ³)
0	0.89	-
25	1.04	0.0359
50	1.08	0.0691
100	1.12	0.1330
500	1.22	0.6100
1.000	1.27	1.1800
2.000	1.31	2.2800
2.020	1.31	2.3000
3.000	1.34	3.3500
4.000	1.35	4.4000

Pode ser notado ainda que ao longo da vida útil econômica prevista que é de 50 anos, o volume assoreado é de $69,1 \times 10^6 \text{m}^3$ que corresponde a cerca de 3,0% do volume total do reservatório ($2,3 \times 10^9 \text{m}^3$). Este valor não requer a previsão de volume de espera para sedimentos que, pelos critérios do Bureau of Reclamation, só é necessária quando o volume previsto de assoreamento é maior do que 5% do volume total.

Chama-se atenção para o caráter simplificado desta estimativa de vida útil, já que se sabe que a distribuição real de sedimentos no reservatório se processa a partir de suas extremidades superiores e a superfície dos sedimentos não se apresenta em camadas horizontais uniformemente distribuídas.

A ordem de grandeza dos valores, porém, indica não haver problemas quanto a este aspecto. A título de suplementação, foi calculada, seguindo a Metodologia do Bureau of Reclamation, a nova curva cota-área-volume, após a vida útil econômica prevista de 50 anos, estando apresentada na Tabela 6.23 a seguir.

TABELA 6.23
COMPARAÇÃO ENTRE A CURVA COTA x ÁREA x VOLUME ATUAL E A
CURVA COTA x ÁREA x VOLUME APÓS 50 ANOS DE OPERAÇÃO

COTA (m)	CURVA DE CAPACIDADE ATUAL		CURVA APÓS 50 ANOS DE OPERAÇÃO	
	ÁREA (km ²)	VOLUME (10 ⁶ m ³)	ÁREA (km ²)	VOLUME (10 ⁶ m ³)
333	139,0	2.300	139,0	2.231
330	120,0	1.909	119,0	1.842
320	73,5	0.951	72,0	0.897
310	40,5	0.389	38,9	0.351
300	17,0	0.110	15,5	0.088
290	4,0	0.013	2,9	0.004
280	-	-	-	-

CAPÍTULO 7

ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

ÍNDICE

	Página nº
1. OBJETIVO	7.1
2. GEOLOGIA REGIONAL	7.1
2.1 Geral	7.1
2.2 Aspectos Geomorfológicos	7.1
2.3 Estratigrafia e Litologia	7.2
2.4 Geologia Estrutural	7.7
3. GEOLOGIA DO LOCAL	7.7
3.1 Área da Barragem Principal	7.7
3.2 Área da Barragem Secundária	7.11
4. INVESTIGAÇÕES E LEVANTAMENTOS EXECUTADOS	7.12
4.1 Fundações	7.12
4.2 Empréstimos Argilosos	7.15
4.3 Jazidas de Areia e Cascalho	7.17

4.4	Pedreira	7.17
5.	GEOTECNIA DO LOCAL	7.17
5.1	Barragem Principal	7.17
5.2	Barragem Secundária	7.19
6.	CONDICIONANTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DE PROJETO	7.20
6.1	Condições Gerais da Fundação	7.20
6.2	Barragem de Terra (Zoneada)	7.20
6.2.1	Geral	7.20
6.2.2	Barragem Principal	7.20
6.2.3	Barragem Secundária	7.22
6.3	Barragem de Concreto Compactado Rico em Pasta	7.22
6.4	Taludes nas Ombreiras	7.23
7.	TRATAMENTO DE FUNDAÇÕES E TALUDES	7.23
7.1	Considerações Gerais	7.23
7.2	Tratamentos Superficiais das Fundações	7.23
7.2.1	Barragem de Terra (Zoneada)	7.23
7.2.2	Barragem de Concreto Compactado	7.25
7.3	Tratamentos Subsuperficiais das Fundações	7.25

	Página nº
7.3.1 Barragem de Terra	7.25
7.3.2 Barragem de Concreto Compactado e Estruturas de Concreto	7.25
7.3.3 Estruturas Associadas à Barragem Zoneada	7.26
7.4 Tratamentos de Taludes Escavados	7.26
8. MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO	7.26
8.1 Considerações Gerais	7.26
8.2 Áreas de Empréstimo	7.27
8.2.1 Área ME-5	7.28
8.2.2 Área ME-11	7.28
8.2.3 Área MD-9	7.29
8.2.4 Área MD-10	7.29
8.2.5 Ensaios Geotécnicos	7.30
8.3 Jazidas de Areia e Cascalho	7.30
8.4 Pedreiras	7.34
8.4.1 Pedreira PE-1	7.34
8.4.2 Pedreira PE-2	7.34
8.4.3 Pedreira PD-1	7.35
9. ENSAIOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS "X"	7.35

7. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

1. OBJETIVO

O presente capítulo tem por finalidade condensar todas as informações de caráter geológico-geotécnico obtidas durante o desenvolvimento dos estudos de viabilidade da UHE Cana-Brava, no rio Tocantins.

Os estudos geológico-geotécnicos objetivaram a definição das condições geológicas quanto aos aspectos estruturais, estratigráficos, litológicos e, em termos gerais, a caracterização das propriedades geotécnicas do maciço da fundação, bem como seleção e caracterização geotécnica dos materiais de construção a serem utilizados na obra.

2. GEOLOGIA REGIONAL

2.1 Geral

Nos itens que se seguem é apresentado um resumo da geologia indicada no desenho Anexo 15. Maiores detalhes sobre geologia regional estão relatados no Volume V - Relatório Geológico-Geotécnico.

2.2 Aspectos Geomorfológicos

A área em estudo tem como principal agente drenante o rio Tocantins, que possui o seu curso com orientação geral N-S, decorrente do padrão estrutural e da litologia predominantes.

A área apresenta uma morfologia bastante característica de regiões de clima tropical subúmido, onde o relevo é consequência da interação dos processos morfo-climáticos e estruturais.

A superfície rebaixada do rio Tocantins, delimitada pela Serra de Cana-Brava a oeste e as rochas do Grupo Bambuí a leste, apresenta um relevo colinoso, reportado ao cretáceo superior ou terciário inferior, com direção N-S, parcialmente pediplanizado pela calha do rio Tocantins, e que foi desenvolvido notadamente por influência estrutural e litológica. As altitudes alcançam 300 a 400 metros.

A leste da área anteriormente descrita encontra-se uma região de chapadas e serras altas, domínio do Grupo Bambuí, com cota média de 1.200 m, caracterizada por vales profundos e estreitos, possuindo nos seus desníveis topos aplainados e escarpas abruptas.

Finalmente, na parte oeste da região, localiza-se a Serra de Cana-Brava, modelada sobre rochas básicas e ultrabásicas, aparecendo como um platô de topo levemente ondulado, com cotas entre 600 e 800 metros e suas escarpas condicionadas por falhas inversas.

O clima da região é caracterizado por um regime de chuva tipicamente tropical, de verão chuvoso e inverso seco. Isso acarreta duas estações bem definidas, com período de duração de até 6 meses cada uma, e médias de temperatura bem altas, acima de 22°C. As temperaturas mais elevadas coincidem com a estação chuvosa, setembro a abril, e as mais baixas com período seco, entre maio e agosto.

A vegetação é típica de clima semi-úmido, caracterizada pelo cerrado, com aparecimento freqüente de campos e mata tropical. O cerrado está relacionado a latossolos arenosos oriundos dos quartzitos, enquanto que a mata tropical e os campos relacionam-se, respectivamente, a solos férteis e úmidos oriundos principalmente de rochas básicas e calcárias, e ao solo argiloso originário de filitos e metassiltitos.

2.3 Estratigrafia e Litologia

A divisão estratigráfica aqui descrita baseia-se no Projeto Cana-Brava - Porto Real (Araújo e Alves, 1979). As unidades diferenciadas neste trabalho são unidades litoestratigráficas, sem conotações geocronológicas, já que para algumas não se dispõe de datações. No entanto, os dados geocronológicos conhecidos, apesar de restritos, permitiram uma interpretação satisfatória de suas idades, sem contudo possibilitar conclusões definitivas.

A Tabela 7.1 apresenta a coluna estratigráfica adotada no presente texto. As principais feições geológicas da região, abrangidas pelo desenho Anexo 15, são descritas a seguir.

- Pré-Cambriano

- Complexo Basal

Conjunto gnaissico-anfibolítico: compõe-se basicamente de biotita-gnaisses e anfibolitos, ocorrendo seus principais afloramentos no leito do rio Cana-Brava. É representado por dois grupos de rochas que aparecem na região bem individualizados, separados por uma falha de direção NE. Um é essencialmente constituído por granada-biotita-gnaisses e o outro, mais a oeste, por rochas anfibolíticas de composições variadas.

TABELA 7.1
COLUNA ESTRATIGRÁFICA GERAL PARA A REGIÃO DE CANA-BRAVA
(Elaborada por Araújo et al, 1979)

ERA	PERÍODO	UNIDADE	SUBUNIDADE	SIMBOLOGIA	LITOLOGIA
CENOZÓICO	Quaternário	Quaternário Aluvionar		Qa	Aluviões recentes arenosos e areno-argilosos com níveis de cascalhos aluviais.
	Médio a Superior	Conjunto Cataclástico		p α ct	Cataclastos, protomilonitos, milonito-gnaisses, milonito xistos, blastomilonitos e filonitos.
Grupo Bambuí			7	p α ba7	Filitos rítmicos grafitosos, calcifilitos e mármores.
		6	p α ba6	Filitos, metassilitos, quartzitos e ritmitos.	
		5	p α ba5	Quartzitos feldspáticos	
		4	p α ba4	Filitos calcíferos e mármores.	
		3	p α ba3	Ritmitos, quartzitos, metassilitos e mármores.	
				p α γ	Pegmatitos.
PRÉ-CAMBRIANO	Inferior a Médio	Intrusivas Ácidas		p α σ	Gabros epimetamórficos, metagabro-noritos e anfibolitos.
		Intrusivas Básicas		p α u	Metagabros, metagabro-noritos, metanoritos, piroxenitos, serpentinitos, metabasitos, anfibolitos e xistos magnesianos.
	Complexo de Cana-Brava		p α bgn.af	Granada-biotita-gnaisses, granada-hornblenda-biotita-gnaisses, anfibolitos, granada anfibolitos e piroxênio-granada anfibolitos.	
	Complexo Basal Gnáissico-Anfibolítico				

- Complexo Cana-Brava

Constituído predominantemente de metagabros, metagabro-noritos, metanoritos, além de metabasitos e piroxenitos. Os metabasitos ocorrem na borda leste do maciço de Cana-Brava, em uma faixa contínua, orientada na direção N10°E. Na porção central da serra, isto é, na sua parte mais alta, aparecem os metagabros, metagabro-noritos e metanoritos, interrompidos unicamente por esporádicos veios de quartzo e diques pegmatíticos, associados a fraturas e falhas. Posicionada entre os metabasitos e os metagabros, ao sul do maciço, ocorre uma estreita e descontínua faixa de piroxenitos e seus derivados retrometamorfisados (xistos magnesianos) e serpentinizados (serpentinitos), cujos estrangulamentos parecem ter sido ocasionados por falha.

- Intrusivas Básicas

São representadas por tipos litológicos com composição semelhante, embora diferentes em estrutura e textura.

Corpo básico de Serra da Bota: abrange uma área de aproximadamente 6 km² de forma ligeiramente alongada e de dimensões máximas de 3,5 km de comprimento por 2,7 km de largura, possuindo sua maior dimensão com orientação N-S. As rochas deste corpo são basicamente gabronoritos e noritos. Subordinados a estas rochas ocorrem os tremolitos e metabasitos, que aparecem em geral associados a zonas de falha.

Diques de gabros epimetamórficos e de anfibolitos: os gabros apresentam coloração cinza esverdeada escura, com estrutura granular maciça e granulação fina a média, enquanto que os anfibolitos caracterizam-se por rochas maciças de coloração verde a verde-escuro, granulação fina a média, com estrutura orientada.

As rochas acima mencionadas exibem, com freqüência, acentuada orientação, chegando mesmo a desenvolver xistosidade e, de uma maneira geral, demonstram terem sido submetidas a esforços tectônicos posteriores a sua face intrusiva, fato evidenciado pelas suas estruturas cataclásticas e miloníticas.

- Intrusivas Ácidas

A estabilização da intensa cataclase sofrida pelas rochas da região culminou com manifestações tardias representadas na área por veios pegmatíticos, que aparecem encaixados em rochas do Complexo Basal e do Complexo Cana-Brava, com poucos metros de espessura. Normalmente os pegmatitos apresentam-se discordantes com as estruturas das rochas encaixantes. São constituídos basicamente de quartzo, feldspato e muscovita, ocorrendo com freqüência cassiterita e turmalina.

O corpo granítico que ocorre na região (Des. RIL-04-302) localiza-se a leste do rio Tocantins, ocupando uma pequena área no limite inferior do desenho. Caracteriza-se por apresentar textura cataclástica, coloração cinza-esverdeada, granulação média, sendo constituído essencialmente por quartzo, feldspato e biotita.

- Grupo Bambuí

Ocupa a porção leste (SE e NE) da área mapeada, sendo seus contatos com o Conjunto Cataclástico definidos através de uma falha de empurrão de direção NS aproximadamente. Esta faixa do Grupo Bambuí é subdividida em sete subunidades, sendo aqui abordadas somente as cinco constantes do desenho Anexo 15, conforme descritas a seguir:

. Subunidade 3

Esta unidade caracteriza-se por uma seqüência de ritmitos, quartzitos e metassiltitos e um grande número de lentes de mármore. Os metassiltitos formam a litologia dominante. A granulação é fina, com textura granolepidoblástica e estratificação reconhecível. Os quartzitos possuem granulação fina a média. Os mármore apresentam variação na composição; na parte mais ao norte da ocorrência são dolomíticos compactos, de granulação fina, cristalinos a micro-cristalinos com acamamento bem definido, apresentando-se normalmente dobrados com foliação bem desenvolvida, o que dá à rocha um aspecto laminado; na parte mais ao sul são essencialmente calcíticos, apresentando granulação fina a média, micro-cristalinos e bem estratificados.

. Subunidade 4

Esta subunidade constitui uma seqüência de filitos calcíferos e mármore dolomíticos. Sua maior espessura foi estimada em 80,00 m. Os filitos aparecem laminados, pouco espessos, de textura lepidoblástica e granulação muito fina. Os mármore formam camadas contínuas com espessura variável, de algumas dezenas de metros, apresentando-se por vezes fraturados e dobrados.

. Subunidade 5

É representada por quartzitos feldspáticos de granulação fina a média, localmente microconglomeráticos. Assenta concordantemente aos mármore anteriormente descritos, apresentando uma espessura estimada em 30 m.

. Subunidade 6

É formada por um pacote de filitos de coloração cinza claro amarelado, finamente laminados, com níveis milimétricos a centimétricos de grafita, que dão à rocha um aspecto rítmico.

. Subunidade 7

Representa o topo do Grupo Bambuí e é constituída por uma seqüência pelito-carbonática cuja rocha predominante é um filito rítmico grafitoso, de cor cinza-amarelada. O filito apresenta-se localmente calcífero com lentes milimétricas de mármore.

- Conjunto Cataclástico (Grupo Serra da Mesa)

É caracterizado por uma série de rochas cataclásticas originadas a partir de intensa tectônica rígida que atingiu os gnaisses e migmatitos do Complexo Basal em fases de sucessivos dobramentos e reativações que afetaram a área. A maior distribuição destas rochas está na porção central da área de interesse para o aproveitamento, constituindo uma faixa com direção N-S, posicionada entre o Complexo de Cana-Brava e os metassedimentos do Grupo Bambuí, com os quais mantém contato através de uma falha de empurrão.

As rochas desta unidade apresentam, em geral, aspecto gnáissico, são porfiroblásticas, de coloração clara, compondo-se basicamente de quartzo, feldspato, biotita e/ou muscovita. A zona ocupada por elas contém vestígios evidentes de intenso tectonismo, cujos falhamentos provocaram cataclase de diversas intensidades, originando litologias variadas e contatos normalmente transicionais.

Os principais tipos de rocha identificados são os seguintes:

- . Filonitos: com maior representação ao longo da área cataclastada, têm aspecto xistoso, coloração cinza esverdeada, granulação fina e textura lepidoblástica.
- . Milonitos: representam as rochas cataclásticas mais abundantes. Caracterizam-se pela estrutura orientada, granulação fina a média e coloração cinza roxa com tons esverdeados.
- . Milonito-gnaisses: são encontrados nas zonas de falha que afetaram as rochas gnáissicas. Apresentam coloração cinza a esverdeada, granulação fina a média e acentuada foliação.
- . Milonito-xistos: são equivalentes aos milonito-gnaisses, distinguindo-se deles pela xistosidade mais relevante. São rochas de coloração cinza esverdeada, estrutura xistosa e granulação fina a média.
- . Blastomilonitos: possuem coloração cinza, granulação fina a média e estrutura orientada.
- . Cataclasitos: ocorrem encravados nos gnaisses graníticos da área, seguindo os alinhamentos tectônicos mais importantes. São rochas de coloração cinza clara, granulação média a grossa com foliação incipiente.

● Cenozóico

- Depósitos Aluvionares

Os depósitos aluviais são compostos, de maneira geral, por pequenos terraços limitados às calhas, ilhas e margens dos

principais rios da região. São constituídos por material inconsolidado, com granulometria variando desde blocos até silte e argila, predominando a areia fina com grãos arredondados a subangulares. Nesta, são observadas, geralmente, estratificação horizontal e, ainda, estratificação cruzada. Possuem coloração que pode ser cinza avermelhada, amarelada ou branco amarelada.

2.4 Geologia Estrutural

Os esforços compressivos provocados pela intrusão do corpo básico da Serra de Cana-Brava reativaram as antigas falhas do Complexo Basal e deram origem aos novos falhamentos e dobramentos existentes.

Os falhamentos parecem ter se originado devido ao estado rígido das rochas encaixantes e são, na sua maior parte, do tipo normal, ocorrendo também as falhas inversas e/ou de empurrão. Nas do tipo normal destacam-se dois sistemas principais: um com direção NE-SW e outro NW-SE. As falhas inversas apresentam direção preferencial N-S.

Os esforços tectônicos de grande intensidade, que causaram aqui diversos falhamentos, deram origem ao aparecimento de estruturas cataclásticas, em que as rochas mostram um padrão complexo de textura. As foliações resultantes são as feições mais importantes, possibilitando a individualização de um conjunto cataclástico a leste do rio Tocantins.

As rochas do Grupo Bambuí, devido a sua natureza plástica, mostram geralmente dobramentos assimétricos fechados, às vezes isoclinais, com os flancos mergulhados para leste e os eixos ora para norte ora para sul, com ângulos em torno de 5° a 10°.

Os eventos tectônicos mais antigos ocorridos na área encontram-se mascarados em consequência do alto grau de metamorfismo que atingiu determinadas rochas.

3. GEOLOGIA DO LOCAL

3.1 Área de Barragem Principal

A área da barragem principal de Cana-Brava sobre o rio Tocantins apresenta, na margem esquerda, uma intrusão de rochas metabásicas, constituindo uma ombreira relativamente íngreme, a partir da El. 305,00 m aproximadamente, até o topo. Nas partes mais baixas desta margem ocorre o quartzo-micaxisto, sendo o contato entre ambos definido em função dos resultados da campanha de sondagens realizada e interpretação das características locais durante o mapeamento, uma vez que não existem afloramentos de micaxistos.

As rochas que compõem o corpo intrusivo têm, em geral, cor cinza escuro, granulação fina a média, localmente grosseira, muito resistentes e foram classificadas genericamente, nestes estudos, como rochas metabásicas, correspondendo a um conjunto complexo que engloba metagabros, metanoritos, anfibolitos, piroxenitos e charnockitos, de acordo com a bibliografia consultada e a classificação micropetrográfica feita em amostras de testemunhos de alguns furos, cujos resultados encontram-se resumidamente indicados na Tabela 7.2 a seguir.

No fundo de um pequeno talvegue, a cerca de 200,00 m a jusante do eixo, foram observados três afloramentos, formando corpos alongados com dimensões que variam de 50,00 a 100,00 m de comprimento e 10,00 a 15,00 m de largura, aproximadamente. Corresponde a rocha metabásica *sã*, muito consistente e pouco a medianamente fraturada. O sistema predominante de fratura apresenta atitudes N70°-85°E/85°NW à subvertical e N15°-25°W/55°-75°NE, considerando a média das medidas tomadas no local. Estes dados encontram-se indicados no desenho Anexo 16.

O quartzo-micaxisto apresenta uma coloração cinza claro, granulação fina e porfiroblastos de granada, microperita e pseudomorfos de plagioclásio. A xistosidade não é conspicua macroscopicamente. Trata-se de uma rocha de aspecto maciço, que quando *sã* ou pouco decomposta é muito consistente e se encontra, em geral, pouco fraturada.

No leito do rio é onde ocorre a maioria dos afloramentos na área, que ficam expostos em grandes extensões durante o período mais seco do rio Tocantins. Eles são constituídos basicamente por quartzo-micaxistos, anfibolito e gnaisse facoidal, todos concordantes, com atitude média da xistosidade N5°W/60°SW.

Os quartzo-micaxistos apresentam-se de um modo geral cinza claro, *sãos*, muito consistentes e medianamente fraturados. Durante o mapeamento constatou-se que eles formam uma seqüência gradual no sentido transversal ao rio, desde o tipo maciço, que constitui uma extensão da ocorrência na ombreira esquerda até uma rocha em que a xistosidade é nítida, com os planos de mica (muscovita) bem desenvolvidos, em alguns locais mostrando indícios de dobramentos, tendências já para um gnaisse, e que formam os afloramentos possíveis da margem direita.

O anfibolito foi observado em pequenos afloramentos e numa área com cerca de 100,00 m de extensão, sob a forma de blocos agrupados, todos a montante do eixo. A rocha aflorante tem granulação fina, foliação nítida e se apresenta, em geral, muito consistente e pouco fraturada.

O gnaisse facoidal ocorre em afloramentos isolados, imediatamente a jusante do eixo, com dimensões que variam desde 2,00 a 3,00 m nos corpos menores até cerca de 20,00 m. Corresponde a uma rocha de granulação média a grossa, de um modo geral pouco a medianamente decomposta e pouco fraturada, constituída

TABELA 7.2

CLASSIFICAÇÃO MICROPETROGRÁFICA DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM
DA MARGEM ESQUERDA

SONDAGEM	PROFUNDIDADE (m)	CLASSIFICAÇÃO
SR-10	72,57 a 72,67	Metabásica com veio de quartzo.
SR-12	22,22 a 22,35	Granada-biotita-microper- tita-plagioclásio-mica branca-quartzo-xisto.
SM-104	35,88 a 36,03	Charnockito associado com veio de quartzo miloniti- zado.
SM-104	56,97 a 57,15	Piroxenito associado com veio de quartzo.
SM-105	29,55 a 29,65	Anfibolito.

RIL-002
RO
DEZ87

essencialmente por quartzo, feldspato e mica (biotita), com cristais de feldspato bem desenvolvidos formando facóides alongados de até 8 cm de comprimento.

As medidas das atitudes dos planos de fraturas e da xistosidade, tomadas nos afloramentos do leito do rio, foram lançadas em estereogramas, que indicaram os planos de fraturamento de maior concentração com atitudes $N68^{\circ}W/40^{\circ}NE$ e $N23^{\circ}W/40^{\circ}NE$ e de xistosidade $N05^{\circ}W/60^{\circ}SW$, conforme mostrado no desenho Anexo 16.

Em ambas as margens do rio ocorrem camadas aluvionares, constituídas por areia predominantemente fina, de coloração branca amarelada e cuja área de ocorrência foi estimada, no mapeamento, até a El. 300,00 m.

Na margem direita, as observações de superfície mostraram uma forma de relevo suave. Esta margem é constituída por quartzo-micaxisto nas partes mais baixas, de aspecto gnáissico, que corresponde a mesma seqüência dos afloramentos verificados no leito do rio, gnaisse facoidal, onde se destaca um grande afloramento contínuo na área abrangida pelo mapeamento e de direção transversal ao eixo de barragem, quartzo-xisto milonitizado e quartzito micáceo.

O quartzo-micaxisto que ocorre margeando o rio Tocantins, numa faixa de aproximadamente 300,00 a 400,00 m de largura, assemelha-se a um gnaisse, tem granulação fina a média, cor cinza e que, quando são, se apresenta muito consistente e em geral pouco fraturado, conforme verificado nos testemunhos das sondagens SM-05 e SM-114, uma vez que seus afloramentos são esparsos, de pequenas dimensões e apresentam em geral a rocha muito decomposta.

A descrição de uma lâmina petrográfica de uma amostra da sondagem SM-05 revelou que se trata de um plagioclásio-micropertita-mica branca-quartzo-xisto, com alta percentagem de quartzo (50%) e mica branca (28%) na sua composição.

A única ocorrência de afloramento de rocha são na ombreira direita foi observada na meia encosta, a cerca de 600,00 m da margem do rio. Corresponde a um gnaisse facoidal cataclástico de cor cinza, constituído por quartzo, feldspato e mica. Os feldspatos estão presentes como facóides porfiroblásticos, enquanto que a mica exibe sinais de estiramento. O tamanho dos porfiroblastos é muito variável, em média 1 a 2 cm, ao longo do eixo maior.

Este afloramento tem uma forma alongada, de largura variável desde aproximadamente 100,00 m no trecho de montante até cerca de 10,00 m nas proximidades do eixo da barragem. A rocha aí observada apresenta-se são a pouco decomposta, muito consistente e pouco fraturada, com atitude de foliação $N5^{\circ}E-N15^{\circ}W/50^{\circ}NW$ e SW . O diaclasamento é formado por um sistema de quatro famílias de fraturas, sendo uma delas paralela à foliação e as demais com as seguintes atitudes: $N40^{\circ}-50^{\circ}E/15^{\circ}NW$, $N50^{\circ}-55^{\circ}W$ /subvertical e $N10^{\circ}-15^{\circ}E/50^{\circ}SE$.

A partir deste afloramento, até a outra vertente da mesma elevação, a superfície do terreno mostra-se em geral coberta por coluvião com cascalho e blocos de quartzo. Nesta área foram observados dois pequenos afloramentos de quartzo-xisto milonitizado. A rocha aí tem coloração marrom avermelhada, granulação média e se apresenta medianamente a muito decomposta, pouco consistente e muito fraturada. A ocorrência de quartzo-xisto se estende até próximo da calha do talvegue onde está previsto a implantação de um dique de baixa altura, a partir do qual ocorre o quartzito micáceo, de granulação fina a média, milonitizado, de cor avermelhada e em geral muito fragmentado. Medidas efetuadas em afloramentos de quartzito indicam atitude de bandeamento $N10^{\circ}W/50^{\circ}-65^{\circ}SW$.

Os contatos entre as unidades litológicas mencionadas não foram perceptíveis no campo, embora seja enfatizada a hipótese de que os contatos entre os afloramentos de gnaiss facoidal e o quartzo-xisto e entre este e o quartzito micáceo se dêem através de falhas, pelas observações de campo e o resultado das sondagens SR-116 e SR-125, que mostram os materiais como pertencentes a uma zona de falha.

3.2 Área da Barragem Secundária

A área da barragem secundária apresenta, no lado direito da sela topográfica, onde estão implantadas rochas metabásicas pertencentes ao mesmo corpo intrusivo que constitui a ombreira esquerda da barragem principal, gnaiss facoidal ocupando as partes mais baixas e rochas metabásicas do Complexo de Cana-Brava no lado esquerdo da sela a partir da El. 320,00 m aproximadamente.

As rochas metabásicas do lado direito da sela topográfica têm coloração cinza escuro, granulação fina a média, localmente grosseira e quando no estado são apresentam-se muito consistentes. Essas rochas aqui também foram denominadas genericamente de metabásicas, correspondendo ao mesmo conjunto litológico mencionado na descrição do corpo intrusivo da margem esquerda da barragem principal, conforme indicado no desenho Anexo 17.

Não foram identificados no campo afloramentos deste corpo básico, sendo as características do material observadas em testemunhos de sondagem e alguns blocos soltos. A descrição de uma lâmina petrográfica executada em uma amostra da sondagem SR-19 indicou a rocha como sendo (micro) metagabro, constituído predominantemente por 40% de plagioclásio e 31% de augita. Além desta sondagem foram executadas no corpo metabásico a SR-17 e SM-106 a SM-111.

O gnaiss facoidal ocorre nas partes topograficamente mais baixas da área. Corresponde a uma rocha de granulação média, de cor cinza e que apresenta porfiroblastos de feldspato sob a forma de facóides alongados com dimensões médias de 1 a 2 cm de eixo maior. Os afloramentos observados indicaram uma rocha

pouco decomposta, consistente e medianamente fraturada, com atitude de foliação N10°E/50°NW.

Foi feita uma lâmina petrográfica com amostra da sondagem SR-23, cuja descrição indicou tratar-se de mica branca-biotita-plagioclásio-micropertita-quartzo gnaissé, cuja composição apresenta o quartzo (40%), micropertita (20%) e plagioclásio (pseudomorfos) (24%) como minerais predominantes em porcentagem de volume. Além desta sondagem, foram executadas na área de ocorrência do gnaissé facoidal a SR-7, SR-8, SM-112, SM-119 e SM-126, cujos resultados permitiram, juntamente com observações das características locais estimar a posição dos contatos litológicos entre esta unidade e as metabásicas, uma vez que eles não foram identificados em superfície.

Na extremidade oeste do mapa geológico, ocupando as partes mais altas do lado esquerdo da sela ocorrem as rochas metabásicas pertencentes ao Complexo de Cana-Brava. Não foram observados nesta área afloramentos de rocha, sendo analisados apenas blocos soltos que ocorrem de forma esparsa nas camadas superficiais de solo e o testemunho da sondagem SM-120. Trata-se de um conjunto de rochas de características semelhantes às que ocorrem no lado direito da sela.

4. INVESTIGAÇÕES E LEVANTAMENTOS EXECUTADOS

4.1 Fundações

As investigações nas áreas de fundação das barragens e respectivas estruturas de concreto consistiram basicamente em mapeamentos geológicos nos locais do aproveitamento (área da barragem principal e área da barragem secundária), sondagens mistas, com ensaios SPT e rotativa no leito do rio, todos eles com ensaios de perda d'água, normalmente a cada 3,00 m de perfuração em rocha.

Inicialmente foi emitido o documento RIL-PR-300 - DEZ86 - "Programa de Investigações Geológico-Geotécnicas de Campo", com as plantas de locação dos furos e especificação das sondagens e ensaios SPT, infiltração e perda d'água.

Estas sondagens foram executadas por FURNAS, sendo 16 na área da barragem principal e 12 na área da barragem secundária, cujas características principais constam das Tabelas 7.3 e 7.4.

Os mapeamentos geológicos foram realizados através de caminhamentos por toda a área, destacando-se as observações quanto às principais feições estruturais e litológicas com afloramentos rochosos. Com base nestes dados de campo foram produzidos, em escala 1:2.500, os mapas geológicos constantes nos desenhos RIL-04-302 e RIL-04-303, anexos a este relatório.

TABELA 7.3

RESUMO DAS SONDAGENS MECÂNICAS EXECUTADAS NA BARRAGEM PRINCIPAL

SONDAGEM	COORDENADAS (N) / (E)	COTA DA BOCA (m)	DATAS		PROFUNDIDADE (m)	ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA
			INÍCIO	CONCLUSÃO		
MARGEM ESQUERDA						
SM-101	8.516.123/809.109	319,31	17/08/87	11/09/87	47,00	23
SM-102	8.516.264/808.920	335,47	09/04/87	22/06/87	62,01	08
SM-103	8.516.550/808.875	324,68	06/04/87	18/05/87	50,70	04
SM-104	8.516.428/808.791	346,09	28/04/87	04/06/87	59,00	08
SM-105	8.516.486/808.750	344,86	04/06/87	07/07/87	75,00	21
SM-113	8.516.437/809.050	300,18	31/03/87	07/04/87	30,14	02
LEITO DO RIO						
SR-121	8.516.427/809.225	276,09	13/06/87	18/06/87	30,18	08
SR-122	8.516.431/809.138	278,25	24/05/87	03/06/87	31,95	08
SR-123	8.516.315/809.197	275,12	01/07/87	06/07/87	30,00	07
SR-124	8.516.546/809.130	280,06	22/06/87	28/06/87	30,00	08
MARGEM DIREITA						
SM-114	8.516.447/809.600	305,87	15/04/87	24/04/87	25,00	03
SM-115	8.516.467/809.889	319,43	29/04/87	12/05/87	30,00	09
SM-116	8.516.474/810.177	330,97	15/05/87	29/05/87	36,09	04
SM-125	8.516.461/810.273	327,74	04/06/87	16/06/87	25,00	06
SR-127	8.516.280/809.410	297,22	01/08/87	08/08/87	22,00	07
SR-128	8.516.600/809.420	297,66	25/07/87	29/07/87	22,00	05

* Dados baseados nos boletins de sondagens.

OBS: Para localização das sondagens ver Anexo 3.

TABELA 7.4

RESUMO DAS SONDAGENS MECÂNICAS EXECUTADAS NA BARRAGEM SECUNDÁRIA

SONDAGEM	COORDENADAS (N) / (E)	COTA DA BOCA (m)	DATAS		PROFUNDIDADE (m)	ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA
			INÍCIO	CONCLUSÃO		
LADO ESQUERDO						
SM-120	8.519.125/805.098	324,69	22/01/87	24/02/87	28,35	04
LEITO DO TALVEGUE						
SM-112	8.519.498/807.146	295,76	25/02/87	02/03/87	16,20	02
SM-119	8.518.988/805.340	321,77	27/11/86	18/12/86	27,70	03
SM-126	8.518.895/805.913	297,29	22/05/87	31/05/87	27,00	07
LADO DIREITO						
SM-106	8.518.814/806.534	320,75	06/03/87	01/04/87	40,00	08
SM-107	8.518.890/806.452	326,28	27/04/87	17/05/87	40,08	05
SM-108	8.518.934/806.464	326,36	13/03/87	19/04/87	60,00	11
SM-109	8.518.753/806.325	334,58	02/03/87	09/04/87	40,20	03
SM-110	8.519.232/806.624	315,26	09/01/87	31/01/87	35,30	14
SM-111	8.519.281/806.951	297,69	02/02/87	23/02/87	20,00	06
SM-117	8.518.972/806.264	320,64	16/02/87	12/03/87	16,40	02
SM-118	8.518.908/806.016	323,09	14/12/86	04/02/87	28,09	06

OBS: Para localização das sondagens ver Anexo 4.

4.2 Empréstimos Argilosos

Em fevereiro de 1987, foi executado um reconhecimento (inclusive para reclassificação de poços existentes) das áreas estudadas ao final da fase anterior (inventário final), todas na margem esquerda: ME-2, ME-3, ME-5, ME-6 e ME-7, conforme locação apresentada no desenho RBU-05-302 (R1) do inventário.

Em função da abundância de solos argilosos nessa margem esquerda, foram abandonadas as áreas mais distantes (ME-2, ME-3 e ME-6).

Uma segunda viagem de reconhecimento ao campo, permitiu delimitar áreas potenciais na margem direita (MD-9 cerca de 2 km a jusante e MD-10 cerca de 300,00 m a montante), permitindo com isso que se descartassem as áreas MD-1 e MD-8, a montante cerca de 6 km. Ainda nesta viagem, foram posicionados seis poços exploratórios na área potencial ME-4 (margem esquerda, cerca de 2 km a montante) e dois poços exploratórios numa nova área potencial denominada ME-11 (margem esquerda da barragem secundária, cerca de 500,00 m a jusante). Como esta área é mais perto que a ME-7, essa última foi deixada em segundo plano.

A visita aos poços exploratórios dessas áreas potenciais (ME-4, MD-9, MD-10 e ME-11) mostrou que apenas a primeira (ME-4) não correspondeu às expectativas (solo siltoso úmido e com camada muito delgada), tendo sido por isso abandonada.

Dessa forma, as quatro áreas selecionadas para estudo foram ME-5, ME-11, MD-9 e MD-10.

O estudo dessas áreas constitui em:

- Poços para investigação, na malha retangular de espaçamento 280,00 m;
- Poços para amostragem visando ensaios especiais em laboratório.

Os serviços dos poços para investigação foram especificados pela programação RIL-PR-360, de dezembro de 1986, enquanto os ensaios especiais foram solicitados pela programação RIL-PR-361, de maio de 1987.

Os serviços de abertura de poços e de ensaios correntes e de laboratório foram todos realizados por FURNAS no período de abril a dezembro de 1987, com exceção dos poços da ME-11, que deverão ser executados posteriormente.

Os ensaios especiais foram realizados no laboratório da GEOMECÂNICA, de julho a setembro de 1987.

Um resumo dos quantitativos desses serviços é apresentado na Tabela 7.5.

TABELA 7.5

INVESTIGAÇÕES REALIZADAS NAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO
RESUMO DE QUANTIDADES

INVESTIGAÇÃO			ÁREAS DE EMPRÉSTIMO				TOTAL
			ME-5	ME-11	MD-9	MD-10	
CAMPO	POÇOS PIONEIROS	Quant.	-	2	3	5	10
		ml.	-	12,0	10,0	13,0	35,0
		nº am.	-	12	9	15	36
CAMPO	POÇOS ESPECIAIS	Quant.	1	1	1	1	4
		ml.	4,0	4,0	4,0	1,5	13,5
		nº am.	3	4	3	1	11
CAMPO	POÇOS REGULARES	Quant.	26	-	14	6	46
		ml.	78,0	-	28,0	14,0	120,0
		nº am.	23	-	7	7	37
LABORATÓRIO (Nº DE ENSAIOS)	LIMITES DE ATTERGERG	LL	19	13	17	23	72
		LP	19	13	17	23	72
	DENSIDADE REAL DOS GRÃOS	19	13	18	23	73	
	GRANULOMETRIA	19	13	18	23	73	
	COMPACTAÇÃO	18	13	17	23	71	
	ÍNDICES FÍSICOS "IN SITU"	h _{nat}	19	13	17	23	72
		Y _{snat}	14	3	3	1	21
	ADENSAMENTO		1	1	1	1	4
	TRIAXIAL	\bar{Q}	1	1	1	1	4
		S _{sat}	1	1	1	1	4

A descrição dessas áreas a partir das investigações acima mencionadas consta do item - Áreas de empréstimo.

4.3 Jazidas de Areia e Cascalho

As pesquisas para jazidas de areia e cascalho concentraram-se no leito do rio Tocantins. Foram realizadas inicialmente inspeções aos principais depósitos aluvionares emersos, desde 19 km a montante até cerca de 7 km a jusante do eixo de barragem principal e a seguir utilizou-se o varejão em alguns pontos no trecho a jusante do eixo, para uma avaliação preliminar de espessura de areia e cascalho submerso. Com base nestas investigações foi feito um cálculo estimativo dos volumes de materiais disponíveis.

4.4 Pedreira

Os locais para pedreira foram pesquisados em ambas as margens do rio Tocantins, num raio de até 3 km em relação à barragem principal, sendo denominados PE-1 e PE-2 os locais da margem esquerda e PD-1 o local de margem direita.

Na pedreira PE-1 foram realizados 6 poços manuais, para definir a espessura de capeamento de solo e 2 sondagens rotativas (SR-131 e SR-132). Na pedreira PE-2 foram realizados 3 poços manuais e 2 sondagens rotativas (SR-133 e SR-134), enquanto que na PD-1 foi realizada uma sondagem rotativa (SR-129).

Estas sondagens foram realizadas por FURNAS, de acordo com a especificação anexa à programação RIL-PR-300, de DEZ86.

A localização e características principais destas investigações encontram-se no Volume V deste relatório.

5. GEOTECNIA DO LOCAL

5.1 Barragem Principal

O maciço das fundações no local do aproveitamento de Cana-Brava, ao longo do eixo da barragem principal, abrange diferentes unidades geológicas, com espessuras de capeamento de solo e características quanto aos graus de decomposição, consistência e fraturamento muito variáveis.

Na área da barragem principal, a ombreira esquerda ao longo do eixo é constituída, na parte mais elevada, por uma camada da ordem de 5,00 a 10,00 m de espessura de solo coluvionar e residual de rocha metabásica, sobrejacente a uma faixa de 15,00 m de espessura média de rocha pouco a medianamente decomposta.

(D2/3), consistente a medianamente consistente (C2/3), muito a extremamente fraturada (F4/5), localmente D3/4, C3/4, com recuperação que varia de 60 a 100%. Os ensaios de perda d'água realizados nos furos de sondagem acusaram, em sua maioria, perdas baixas ou nulas, sendo o maior valor verificado na sondagem SR-11, equivalente a 4,87 l/min x m x kg/cm² no trecho de 17,80 a 20,60 m de profundidade (El. 300,05 a 297,25 m), tendo se verificado perda total de água de circulação a 20,00 m de profundidade.

Nas partes mais baixas desta ombreira, onde ocorre o quartzo-micaxisto, o capeamento de solo é espesso, da ordem de 15,00 a 20,00 m, constituído por aluvião arenoso e colúvio. A sondagem SM-113 aí executada acusou todo o trecho de rocha com recuperação de 100% e características D1/2, C2, F1/3, além de valores nulos de perda d'água nos ensaios realizados.

O quartzo-micaxisto se estende para o leito do rio, tendo as sondagens indicado a rocha sã a pouco decomposta (D1/2), muito consistente a consistente (C1/2), medianamente a muito fraturada (F3/4) desde o topo, subjacente a uma camada aluvionar que varia de 5,00 a 10,00 m de espessura. Os ensaios de perda d'água revelaram valores mais elevados em geral nos primeiros quinze metros da rocha, conforme verificado na SR-122, que acusou perda de 48,08 l/min x m x kg/cm² no trecho de 15,88 a 17,05 m de profundidade (El. 262,37 a 261,20 m) e na SR-121 que acusou perda de 24,89 l/min x m x kg/cm² no trecho inicial de rocha, entre 9,18 e 12,18 m de profundidade (El. 266,91 a 263,91 m).

Na região mais baixa da ombreira direita, próxima ao rio, onde o quartzo-micaxisto ocorre com aspecto gnáissico, o capeamento superficial de solo, até as proximidades da sondagem SM-05, tem espessura da ordem de 5,00 m, sendo constituído essencialmente por aluvião. A faixa de rocha alterada, com características D3/4, C3/4, F3, possui também 5,00 m de espessura média, abaixo do qual inicia-se a rocha sã, D1, C1, F2. As perdas d'água mais significativas nesta região ocorreram nos 12 primeiros metros de rocha, sendo 10,97 l/min x m x kg/cm² o maior valor verificado, no trecho de 5,10 a 8,10 m de profundidade (El. 295,73 a 292,73 m), na SM-05. Daí até o contato com o gnaiss facoidal, o capeamento de solo tem espessuras variando da ordem de 10,00 a 15,00 m, constituído basicamente por colúvio e solo residual de quartzo-micaxisto. A rocha decomposta (D3/4, C4, F5) ocorre subjacente às camadas de solo, ocupando uma faixa de espessura média de 5,00 m e a seguir a rocha sã, de um modo geral com características D2, C2, F2, com trechos localizados C5, F5. Nesta região foi executada a sondagem SM-114, na qual os ensaios de perda d'água indicaram valores nulos em todos os trechos.

Na faixa de ocorrência de gnaiss facoidal a espessura média do capeamento superficial é estimada em 5,00 m, constituído por colúvio e solo residual até o trecho onde a rocha aflora, na meia encosta da ombreira, próximo da El. 320,00 m.

A rocha decomposta (D3/4, C3/4, F5) apresenta-se com espessura da ordem de 5,00 a 6,00 m, sob a qual a rocha ocorre sã e pouco fraturada. Nesta área foi executada a sondagem SM-115, que indicou rochas decompostas (D3/4, C3/4, F5) nos 4,00 m iniciais e rocha sã a pouco decomposta e pouco fraturada a partir daí.

Na região da ombreira direita, compreendida entre os afloramentos de gnaiss facoidal e o talvegue onde será implantado o dique em extensão ao maciço da barragem, próximo da sondagem SM-125, o quartzo-micaxisto ocorre subjacente a uma espessa camada de solo, da ordem de 20,00 m de profundidade média. Esta interpretação foi feita com base nas sondagens elétricas da fase de inventário e na SM-116, que acusou o capeamento com 25,00 m de profundidade e cerca de 5,00 m de rocha decomposta (D3/4, C3/4, F4/5), a partir da qual ocorre rocha sã (D2, C1/2, F2/3). Os ensaios de perda d'água aí realizados indicaram, em geral, valores baixos, à exceção do trecho entre 24,66 e 27,66 m de profundidade (El. 306,31 a 303,31 m), com perda de 10,06 l/min x m x kg/cm².

A partir da SM-125, até o final do dique, em área de ocorrência de quartzito micáceo, a faixa de solo tem profundidade média de aproximadamente 5,00 m, enquanto que a rocha decomposta apresenta espessura com variação de 10,00 a 20,00 m.

5.2 Barragem Secundária

Na faixa de ocorrência do corpo metabásico do Complexo de Cana-Brava, extremidade oeste da área mapeada, o capeamento do solo ao longo do eixo da barragem (desenho Anexo 20) atinge cerca de 15,00 a 20,00 m de profundidade, a partir da qual ocorre a rocha com características D2/3, C2/3, F3/4, com espessura da ordem de 5,00 m, e a seguir rocha sã e pouco fraturada.

O corpo metabásico que ocupa a extremidade leste da área apresenta a cobertura superficial de solo coluvionar e residual com espessura variável de 5,00 a 20,00 m aproximadamente, enquanto que a faixa subjacente de rocha decomposta (D2/3, F5) é em geral pouco espessa, da ordem de 3,00 a 4,00 m, à exceção do trecho próximo da sondagem SM-118, onde ela atinge cerca de 12,00 m de espessura e características D4/5, F5.

Os resultados de ensaios de perda d'água executados nesta região acusaram, de uma maneira geral, valores baixos ou nulos. As perdas mais elevadas foram de 4,14 e 5,47 l/min x m x kg/cm² verificadas na sondagem SM-107, nos trechos de 19,18 a 20,18 m (El. 307,10 a 306,10 m) e 24,80 a 30,80 m (El. 301,48 a 295,48 m).

Na região do gnaiss facoidal o solo coluvionar e residual tem espessura média da ordem de 15,00 a 20,00 m, sendo a faixa de rocha decomposta em torno de 5,00 m, exceto no trecho próximo ao leito do talvegue, onde foi executada a sondagem SM-126,

que acusou cerca de 6,00 m de capeamento de solo apoiado diretamente na rocha sã.

6. CONDICIONANTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DE PROJETO

6.1 Condições Gerais da Fundação

Os testemunhos de sondagens foram verificados de modo a permitir a determinação de um perfil geotécnico de fundação.

6.2 Barragem de Terra (Zoneada)

6.2.1 Geral

Devido as suas condições de pouco consistência, a camada superior de solo (colúvio) será sempre removida. A camada de aluvião, quando presente, também deverá ser removida devido a sua permeabilidade. Quanto ao solo residual, deverá ser parcialmente removido até que se encontre material coesivo de consistência muito rija.

6.2.2 Barragem Principal

Na ombreira esquerda, acima da El. 300,00 m aproximadamente, ocorrem o colúvio e o residual de metagabro, sendo necessário removê-los numa espessura da ordem de 6,00 a 7,00 m.

No restante da margem esquerda e na calha do rio, os aluviões arenosos deverão ser removidos numa espessura da ordem de 7,00 a 10,00 m.

Na margem direita (gnaisse e quartzo-micaxisto), a remoção será da ordem de 4,00 m a 6,00 m e no dique da margem direita a espessura de remoção no quartzo-xisto será de cerca de 3,00 m.

À exceção dos aluviões na calha do rio, todos os materiais mencionados serão de remoção simples (primeira categoria) e acima do nível d'água, podendo ser aproveitados nos espaldares da barragem.

Três poços para investigação da fundação da barragem principal foram executados, sendo dois na margem esquerda e um na direita. Na margem esquerda, um poço foi locado na El. 300,00 m (PE-6), atravessando o aluvião arenoso e o segundo poço situado na El. 320,00 m, junto à sondagem SM-103 (PE-5), atravessando o colúvio e o residual de metagabro.

Foram coletadas amostras indeformadas, cujo resumo dos resultados de ensaios é apresentado no Quadro 7.1.

Do poço da margem direita, em zona de gnaisse, próximo ao SM-114, não foram coletadas amostras para ensaios especiais, devido à alta compacidade do material.

QUADRO 7.1

OMBREIRA ESQUERDA DA BARRAGEM PRINCIPAL
Resumo dos resultados de ensaios com amostras indeformadas

ROCHA	SONDAGEM PRÓXIMA	POÇO	ÍNDICE DE COMPRESSÃO	ÍNDICE DE VAZIOS	ÂNGULO ATRITO EFETIVO	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (cm/s)
Metagabro	SM-103	PE-5	0,4 a 0,7	1,2 a 1,3	22 a 23	10-4 a 10-6
Xisto	SM-113	PE-6	-	0,7	30	-

6.2.3 Barragem Secundária

O colúvio e o residual do gnaiss serão removidos até uma profundidade de 1,50 m (ombreira esquerda e talvegue), enquanto que na região do gabro (ombreira direita) a remoção será de 3,00 m de espessura.

Como na barragem principal, os solos removidos serão facilmente escavados (primeira categoria e acima do nível d'água), não havendo impedimentos para seu aproveitamento nos espaldares da barragem.

Dois poços para investigação da fundação da barragem secundária foram executados, sendo um no talvegue próximo à sondagem SR-08 (poço PE-8) e outro na ombreira direita próximo à sondagem SM-117 (poço PE-9).

Foram coletadas amostras indeformadas, cujo resumo dos resultados de ensaios é apresentado no Quadro 7.2, a seguir.

6.3 Barragem de Concreto Compactado Rico em Pasta

Por se tratar de um local comum, as alternativas em barragem de enrocamento e de concreto compactado rico em pasta apresentam para a fundação aspectos geotécnicos semelhantes, diferindo apenas em relação à profundidade de escavação, em virtude da barragem de concreto requerer uma fundação mais exigente. De um modo geral a fundação da barragem de concreto nas ombreiras será em rocha medianamente decomposta D3, C3, F4/5.

No leito do rio as rochas ocorrem com características D1/2, C1/2 e F3/4, desde o topo, com recuperação 100%, oferecendo condições de suporte para a barragem. A remoção da areia, cascalho ou blocos de rocha para a fundação deve ser da ordem de 6,00 a 10,00 m, em função dos resultados das sondagens. Comparativamente à barragem de terra, a área de fundação é muito mais restrita por exigir uma base muito menor, embora necessite em geral maior profundidade de escavação. O material a ser removido compreende todo o capeamento superficial de solo (colúvio e solo residual) e, em quase toda a ombreira direita, a camada subjacente de rocha muito a extremamente decomposta e muito fraturada.

Removidos os materiais superficiais acima descritos, as rochas da fundação apresentam condições adequadas de suporte e deformabilidades, compatível às solicitações da barragem de concreto compactado rico em pasta. Os materiais superficiais inadequados para a fundação serão removidos primordialmente por equipamentos convencionais de terraplenagem (material de 1ª categoria); secundariamente poderá ser necessário o uso de escarificadores e pequeno fogachos (material de 2ª categoria); eventualmente, em alguns trechos das ombreiras e no leito do rio poderá vir a ser necessária a remoção de material a fogo (material de 3ª categoria), objetivando o preparo da fundação. No que diz res-

peito à percolação por zonas preferenciais e descontinuidades na fundação, cuidados e tratamentos deverão ser introduzidos, conforme indicado nos itens 7.2.2 e 7.3.2.

6.4 Taludes nas Ombreiras

Para os taludes permanentes, escavados para implantação das obras, estão previstas bermas horizontais de 5,00 m de largura a cada 10,00 m de altura. As inclinações adotadas para os taludes dependem do tipo de material constituinte e estão indicadas no Quadro 7.3 a seguir:

QUADRO 7.3

INCLINAÇÕES ADOTADAS PARA OS TALUDES

MATERIAL CONSTITUINTE	INCLINAÇÃO V:H
Solo e rocha muito ou extremamente decomposta	1:2
Rocha medianamente decomposta	1:1
Rocha pouco decomposta a sã	1:0,25

7. TRATAMENTO DE FUNDAÇÕES E TALUDES

7.1 Considerações Gerais

Com base na análise e interpretação dos resultados das investigações geológico-geotécnicas indicam-se, em nível compatível com os estudos de viabilidade, aspectos que devem ser observados nos tratamentos superficiais e subsuperficiais da fundação e dos taludes escavados.

7.2 Tratamentos Superficiais das Fundações

7.2.1 Barragem de Terra (Zoneada)

A superfície da fundação rochosa deverá ser submetida a preparo especial sob o núcleo, filtro e vedação das ensecadeiras e a limpeza comum sob as demais zonas. As superfícies de lançamento deverão estar convenientemente drenadas para permitir a compactação dos materiais a seco.

QUADRO 7.2
 BARRAGEM SECUNDÁRIA
 Resumo dos resultados de ensaios com amostras indeformadas

ROCHA	SONDAGEM PRÓXIMA	POÇO	ÍNDICE DE COMPRESSÃO	ÍNDICE DE VAZIOS	ÂNGULO ATRITO EFETIVO	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (cm/s)
Gnaisse	SR-08	PE-8	0,3 a 0,4	0,8 a 0,9	22 a 29	10-4 a 10-6
Metagabro	SM-117	PE-9	0,4	0,9	27	10-6 a 10-7

Como tratamento superficial da fundação em rocha na zona de núcleo, filtro e vedação, prevê-se basicamente a eliminação de taludes negativos, execução de concreto dental, obturação de fendas com calda e/ou pasta de cimento, preenchimento de depressões com argamassa e limpeza cuidadosa da superfície com jatos de ar e água. Deverão ser removidas partes de rocha desagregadas, pedras soltas, lascas e blocos que se desprendam durante as operações de lavagem. A superfície obtida após o tratamento deverá ser umedecida antes do lançamento das primeiras camadas do aterro argiloso, sem entretanto permitir a formação de poças.

Para preparo e tratamento superficial da fundação em rocha das zonas de transição e enrocamento prevê-se que sejam removidos os materiais soltos e seja feita uma limpeza mecânica ou manual a fim de expôr a superfície adequada de fundação que será limpa com jatos de ar. Na área de implantação dos enrocamentos compactados poderão permanecer na fundação blocos soltos que estejam comprovadamente assentes sobre o maciço rochoso, desde que possuam características de resistência e deformabilidade não inferiores às do enrocamento compactado a ser construído.

7.2.2 Barragem de Concreto Compactado

O tratamento superficial da fundação da barragem de concreto, atingidos os níveis competentes de implantação, requer os mesmos cuidados e tratamentos exigidos na zona do núcleo da barragem de terra zoneada.

7.3 Tratamentos Subsuperficiais das Fundações

7.3.1 Barragem de Terra

A fundação deverá ser tratada sob o núcleo da barragem em profundidade, com auxílio de cortina de injeção de calda de cimento sob pressão, objetivando, devido às zonas preferenciais de fraturamento ou descontinuidades do maciço rochoso, impedir a concentração de fluxo de água. Estimou-se que esta cortina venha a ter de 10,00 a 30,00 m de profundidade. As características da cortina (profundidade, diâmetro e espaçamento dos furos e número de linhas), deverão ser determinadas em fase subsequente do projeto.

7.3.2 Barragem de Concreto Compactado e Estruturas de Concreto

Na alternativa em barragem de concreto compactado foram previstos tratamentos subsuperficiais compreendendo, como na barragem zoneada, uma cortina de injeção (com profundidade estimada da ordem de 10,00 a 30,00 m) ao longo de toda a extensão da barragem, além de uma linha de furos de drenagem e injeções rasas de consolidação, até cerca de 5,00 m de profundidade, que deverão ser executadas em toda a área de fundação.

As características das cortinas de injeção (profundidade, diâmetro e espaçamento dos furos e número de linhas) deverão ser determinadas em fase subsequente de projeto.

7.3.3 Estruturas Associadas à Barragem Zoneada

Os tratamentos subsuperficiais da fundação dessas estruturas são semelhantes aos anteriormente descritos para a fundação da alternativa da barragem de concreto.

7.4 Tratamentos de Taludes Escavados

O tratamento superficial dos taludes permanentes depende das condições aparentes da rocha (litologia, fraturamento, decomposição e consistência) e tem como finalidade evitar a deterioração do talude. O tratamento deverá ser definido quando da escavação dos taludes, após seus mapeamentos geológico-geotécnicos. Esse tratamento, poderá ser constituído por um ou pela combinação de alguns dos seguintes elementos: drenagem superficial, drenagem de subsuperfície, grama, enrocamento, tela metálica, chumbadores ou tirantes de pequena capacidade e concreto projetado.

Nos taludes escavados em solo e em rocha decomposta, no trecho de oscilação do nível d'água do reservatório, deverá ser prevista a proteção adequada com camadas de enrocamento.

8. MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO

8.1 Considerações Gerais

As investigações realizadas nos locais para implantação das estruturas do aproveitamento de Cana-Brava identificaram na ombreira esquerda da barragem principal e na região da barragem secundária, materiais com características adequadas para aplicação em aterros, enrocamento e agregados para concreto. Desta forma, boa parte dos materiais para construção da barragem, diques e ensecadeiras deverá ser obtida das escavações obrigatórias para as estruturas de concreto, canais, túneis e outras obras projetadas.

Estas escavações fornecerão, de forma geral, quatro tipos de materiais, conforme indicado a seguir:

- Solo Coluvionar e Solo Residual Maduro (Escavação Comum)

Correspondem às escavações mais superficiais, de coloração vermelha sendo constituídos basicamente por silte e argila, de permeabilidade baixa, quando compactadas. Utilizáveis nos núcleos das barragens, dique e impermeabilização das ensecadeiras.

- Solo Residual Jovem (Escavação Comum)

Constitui-se basicamente por silte e areia pouco argilosa, de coloração amarelada e permeabilidade baixa a média, quando compactado. Utilizável nos espaldares da barragem e nas ensecadeiras.

- Rocha Decomposta

Muito fraturada (escavação por escarificação e a fogo brando). Utilizável em zonas menos solicitadas do maciço de enrocamento compactado e em transições.

- Rocha Sã (Escavação a Fogo)

Utilizável nas ensecadeiras, maciços de enrocamento compactado, rip-rap, proteção de taludes das barragens e canais e para agregado de concreto.

Para a alternativa em barragem de concreto compactado rico em pasta devido à ausência de túnel de desvio, canais do vertedouro e à própria estrutura do vertedouro, a maior parte dos materiais pétreos deverá ser proveniente de pedreira.

Os estudos referentes à pesquisa de materiais de construção foram desenvolvidos em ambas as margens do rio Tocantins, tendo sido pesquisados solos argilosos até um raio de cerca de 2 km de cada barragem, areias desde 5 km a montante e 6 km a jusante e materiais pétreos num raio de até 3 km da barragem principal.

As investigações realizadas nas áreas potenciais de empréstimo de solo argiloso, jazidas de areia e cascalho, e pedreiras permitiram determinar o limite das ocorrências e seus volumes aproximados. Foram coletadas amostras sistemáticas e especiais de solo, bem como amostras representativas de areia e da pedreira PD-1 para caracterização geotécnica e/ou tecnológica em laboratório. Os materiais ensaiados da pedreira PE-1 correspondem a testemunhos da sondagem SR-3 (fase de inventário).

O histórico do desenvolvimento das investigações de campo e de laboratório, os tipos e quantidade de ensaios realizados, estão descritos e detalhados no item 3 - Investigações e Levantamentos Realizados.

A seguir será feita a descrição detalhada de cada uma das áreas de empréstimo, jazidas de areia e pedreiras, onde serão discriminados todos os materiais ocorrentes em cada uma delas, suas características, quantidades e aplicabilidade.

8.2 Áreas de Empréstimo

No desenho Anexo 21, é apresentada a localização das áreas de empréstimo selecionadas, a saber: ME-5 e ME-11 na margem esquerda e MD-9 e MD-10 na margem direita.

8.2.1 Área ME-5

Situa-se na margem esquerda aproximadamente entre 1,5 a 3,5 km a NW e a jusante da barragem principal, e entre 0 a 2 km a SE da barragem secundária. Abrange uma área pesquisada de cerca de 1,8 km², entre as Elevações 300,00 e 350,00 m. Sua topografia apresenta-se suavemente inclinada. Não foi constatada a presença do nível d'água. Sua vegetação é rala, típica de campo cerrado. Esta área é privilegiada quanto a acesso, pois é cortada pela estrada de acesso existente ao acampamento (cantina) de FURNAS, próximo à barragem principal. Prevê-se a utilização desta área tanto para a barragem principal como para a secundária. Assim sendo, a distância média de transporte prevista para a barragem principal é da ordem de 2,5 km, enquanto que para a barragem secundária é inferior a 1 km.

Pela proximidade, acesso, relevo e tipo de solo, é considerado no momento como sendo a melhor área para utilização.

A área apresenta o horizonte superior constituído de solo coluvionar, descrito texturalmente como argila siltosa vermelha. Ocorrem trechos concrecionados, com espessura de 0,10 a 0,30 m, constituído por fragmentos de rocha, de diâmetro médio de 3 a 5 cm. O horizonte intermediário é constituído de solo residual maduro de metagrabo (silte areno-argiloso marrom avermelhado). A espessura média do conjunto colúvio-residual maduro é de 2,1 m. O horizonte inferior é constituído de solo residual jovem, de metagrabo (silte arenoso com pouca argila amarelo) e tem espessura aproveitável superior a 3,00 m.

8.2.2 Área ME-11

Situa-se na ombreira esquerda da barragem secundária, a menos de 1 km a W. Abrange uma área estimada superior a 0,4 km², entre as Elevações 350,00 e 370,00 m. Sua topografia apresenta-se praticamente plano no topo (80% da área) e inclinada na lateral de acesso. O nível d'água não foi encontrado durante as escavações dos poços. É área cultivada regularmente (plântio de milho). O acesso é fácil, pela estrada que leva a uma casa de colono próxima. Prevê-se a utilização dessa área para a barragem secundária, com distância média de transporte da ordem de 1 km.

Das quatro áreas é a de maior teor de umidade natural e de umidade ótima, sendo por isso, privilegiada para utilização na construção durante o período seco.

A área apresenta o horizonte superior constituído de solo coluvionar de espessura média da ordem de 2,00 m, que pode ser subdividido em trecho superior e inferior. O trecho superior é composto de fragmentos de rocha (pedras e pedregulhos) dentro de uma matriz argilo-siltosa roxa-avermelhada de consistência média, com espessura variando de 0,60 e 1,20 m.

No trecho inferior os fragmentos de rocha desapareceram. O horizonte inferior é constituído pelo solo residual maduro do metagabro, poroso, argila muito siltosa de consistência média, de espessura média de 2,00 m.

8.2.3 Área MD-9

Situa-se na margem direita, entre 1,5 a 2,5 km a N e a jusante da barragem principal. Abrange uma área pesquisada de cerca de 0,4 km² entre as Elevações 320,00 e 350,00 m, com topografia suavemente inclinada. Por ter sido uma das últimas pesquisadas, não foi fechado o contorno da área. As investigações complementares da próxima fase do projeto deverão ser orientadas para o sul de modo a delimitar adequadamente a área. Não foi constatada a presença do nível d'água. Sua vegetação é rala, típica de campo cerrado. Será necessário abrir acessos para essa área, aproveitando-se o traçado dos caminhos carroçáveis existentes. Prevê-se a utilização dessa área para a margem direita da barragem principal.

A área apresenta o horizonte superior constituído de solo coluvionar, com espessura da ordem de 2,00 m, descrito texturalmente com silte argilo-arenoso amarelado de consistência média. Na base dessa camada ocorrem, em cerca de 0,20 a 0,40 m de espessura, fragmentos de rocha (pedras e pedregulhos). O horizonte inferior é composto pelo solo residual jovem do micaxisto, descrito como silte pouco argiloso, com areia fina a média, micácea, marrom.

8.2.4 Área MD-10

Situa-se na margem esquerda imediatamente a montante do terreno natural entre a barragem principal e a sela topográfica. Abrange uma área pesquisada superior a 0,2 km², entre as Elevações 320,00 e 340,00 m. Sua topografia apresenta-se praticamente plana, suavemente inclinada para as bordas. Sua vegetação é composta por tabocas e árvores espaçadas. Não foi constatada a presença do nível d'água. Praticamente não precisará de acessos, por se situar dentro da área de serviço da barragem principal. Prevê-se a utilização dessa área para a sela topográfica e para a margem direita da barragem principal tendo em vista sua excepcional localização (distância média de transporte da ordem de 300,00 m).

Entretanto, do ponto de vista de homogeneidade da jazida e da qualidade do solo, esta área é a menos atraente das quatro selecionadas.

A área apresenta o horizonte superior constituído de solo coluvionar de espessura variável desde 0,10 a 2,00 m, com valor médio em torno de 0,40 m. Esse colúvio tem textura variável, mas que pode ser descrita basicamente como pedregulhos de quartzo em matriz siltosa, praticamente seco.

O solo residual de micaxisto é muito heterogêneo, variando desde areia pouco siltosa micácea com pedras e pedregulhos remanescentes, até areia silto-argilosa micácea. Entretanto, predomina o silte arenoso pouco argiloso micáceo marrom. Desse material foi coletada a amostra para ensaios especiais.

Em resumo, a utilização dessa área obrigará a uma mistura dos solos ocorrentes de modo a homogeneizá-los.

8.2.5 Ensaios Geotécnicos

Para identificação e classificação dos materiais ocorrentes nas áreas de empréstimo foram executados os seguintes ensaios geotécnicos correntes: limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade); densidade real dos grãos; granulometria com sedimentação; compactação Proctor normal; umidade natural e massa específica aparente natural. A execução dos ensaios seguiu basicamente as recomendações das normas e métodos da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, sendo entretanto a granulometria dos materiais e sua classificação feita conforme a USCS - Sistema Unificado de Classificação de Solos.

Nas áreas promissoras foram coletadas amostras para moldagem de corpos de prova compactados em laboratório, objetivando a execução de ensaios geotécnicos especiais que foram os seguintes: compressão triaxial, adensamento oedométrico e permeabilidade.

Nas Tabelas 7.6 e 7.7 a seguir, estão apresentados os resumos dos resultados dos ensaios geotécnicos correntes e especiais.

A análise e interpretação detalhada dos ensaios geotécnicos consta do Volume V - Relatório Geológico-Geotécnico.

8.3 Jazidas de Areia e Cascalho

As pesquisas de areia e cascalho concentraram-se no leito do rio Tocantins desde aproximadamente 19 km a montante até 7,5 km a jusante da barragem principal.

No trecho a montante as investigações limitaram-se a reconhecimento de algumas ocorrências emersas, dentre as quais destacam-se uma no local conhecido como Porto 1, a cerca de 19 km do eixo, pelo leito do rio, e outra a 5,5 km denominada área A1 (areial do Vezinho). No Porto 1, verificou-se a ocorrência de areia média a grossa cascalho aflorando no lado esquerdo a montante de uma ilha, numa área de aproximadamente 80.000 m², além de provável continuidade submersa no leito do rio. A espessura das camadas destes materiais não foram determinadas.

A área A1 corresponde a pequenos depósitos aluvionares esparsos próximos à margem esquerda do rio, num trecho de aproximadamente

TABELA 7.6

ÁREAS DE EMPRÉSTIMO

RESUMO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS CORRENTES COM AMOSTRAS DOS ENSAIOS ESPECIAIS

ÁREA	POÇO	PROF. DE A (m)	GÊNESE	CARACTERIZAÇÃO						ÍNDICES FÍSICOS "IN SITU"					COMPACTAÇÃO		
				GRANULOMETRIA			LIMITES			δ	CLASS. USCS	γ _{s nat} (tF/m ³)	h _{nat} (%)	e _{nat}	S _{nat} (%)	γ _{s nat} (tF/m ³)	h _{ot} (%)
				% PASS. #4	% PASS. #200	% < 2 m	IL (%)	LP (%)									
NE-5	PE-1	3,0-4,0	Residual Maduro de Metagabro	98	40	4	35	23	2,87	SC	1,147	28,6	1,50	55	1,642	21,9	
NE-11	PE-4	2,0-3,0	Residual Maduro de Metagabro	100	94	30	52	30	2,81	MI	1,220	29,5	1,30	64	1,457	29,4	
ND-9	PE-3	2,0-3,0	Residual Jovem de Micaxisto	100	55	7	35	19	2,78	CL	1,686	10,9	0,65	47	1,769	15,2	
ND-10	PE-2	1,0-1,5	Residual Jovem de Micaxisto	91	45	9	32	19	2,72	SC	-	-	-	-	1,761	17,0	

TABELA 7.7

ÁREAS DE EMPRÉSTIMO

RESUMO DE RESULTADOS DE ENSAIOS ESPECIAIS COM AMOSTRAS COMPACTADAS

ÁREA	COMPRESSÃO TRIAXIAL						ADENSAMENTO			PERMEABILIDADE
	Q			Ssat			GC dos cp (l)	Pa (kgf/cm ²)	Cc	
	GC dos cp (l)	C' (kgf/cm ²)	φ' (°)	GC dos cp (l)	C' (kgf/cm ²)	φ' (°)				
ME-5	96 94 97	0,35	31,5	98 98	0,20	32,5	93	2,0	0,31	7,0 x 10 ⁻⁵
ME-11	95 99 94	0,35	23,0	98 98	0,15	30,0	93	3,0	0,40	2,7 x 10 ⁻⁷
MD-9	-	-	-	96 98	0,35	30,5	98	3,0	0,20	2,2 x 10 ⁻⁶
MD-10	-	-	-	93 97	0,18	33,6	91	1,3	0,26	1,7 x 10 ⁻⁵

(1) Grau de Compactação dos corpos de prova.

(2) Valores de permeabilidade obtidos em ensaio de carga variável na pressão de 2,0 kgf/cm² (ensaio de adensamento).

800,00 m de extensão. Os materiais que constituem os depósitos correspondem a areia média a grossa, dos quais foram coletados aproximadamente 40 kg de amostra para ensaios no laboratório de Goiânia. O volume estimado para a área A1 é de 40.000 a 50.000 m³, admitindo uma espessura média de 2,00 m.

No trecho a jusante da barragem foram identificadas 4 ocorrências de areia e cascalho denominadas A2, A3, A4 e A5, nas quais além da visita de reconhecimento foram feitos também, em alguns pontos, investigação com varejão, cujos dados propiciaram uma boa estimativa de espessura da camada.

A área A2, situa-se a cerca de 2 a 3 km da barragem principal, entre as réguas limnimétricas "S" e "U". Ela é constituída por areia grossa, cuja área de ocorrência tem aproximadamente 1.300,00 m de extensão e 50,00 m de largura, próximo à margem esquerda do rio. Considerando-se a espessura média de 2,00 m, tem-se um volume disponível de 130.000 m³.

Deste local não foram coletadas amostras para ensaios, pelo fato da lâmina d'água estar a 3,00 m do fundo do rio.

A área A3 localiza-se nas proximidades da régua limnimétrica "X", a cerca de 6 km do eixo, ao longo do rio. Ela tem aproximadamente 300,00 m de comprimento e 50,00 m de largura, sendo constituída por areia grossa e cascalho com espessura média estimada em 3,00 m, perfazendo portanto um volume de 45.000 m³.

As áreas A4 e A5 são muito próximas e correspondem a depósitos de areia e cascalho, distantes cerca de 6,5 a 7,5 km. Neste local há duas dragas operando regularmente, uma da propriedade do Sr. Osvaldo Ventura, que explora a área denominada A4 e a outra do Sr. Mário Ribeiro, na área A5.

Através de informações obtidas dos operadores das dragas e das investigações com varejão em pontos esporádicos na área, estima-se que eles se estendam por cerca de 1.000,00 m, com largura de 150,00 m e espessura média de 4,00 m, portanto, com um volume de 600.000 m³.

Foram coletadas e enviadas para ensaios no laboratório de FURNAS em Goiânia, aproximadamente 80 kg de amostra recolhida pelas dragas, sendo 40 kg de cada área.

Este trecho do rio apresenta-se como o mais promissor para exploração de jazida, considerando o volume e qualidade do material depositado e ainda a distância relativamente pequena em relação à obra. Em função do exposto, julga-se necessário que as investigações sejam intensificadas nestas áreas, com seções batimétricas sistemáticas transversais ao rio, com o objetivo de se definir com mais precisão suas características.

8.4 Pedreiras

Após a interpretação fotogeológica e inspeção detalhada de campo nas áreas mais promissoras, tiveram início as investigações por meio de poços manuais e sondagens rotativas nas pedreiras denominadas PE-1 e PE-2 na margem esquerda e PD-1 na margem direita.

Os resultados e localização das campanhas de investigação estão indicados com detalhes no Volume V deste relatório.

As pedreiras PE-1 e PE-2 são partes do mesmo corpo intrusivo de rochas básicas que formam a ombreira esquerda da barragem principal, enquanto que a PD-1 encontra-se na faixa de gnaisses do conjunto cataclástico que ocorre paralela ao rio.

8.4.1 Pedreira PE-1

A pedreira PE-1 ocupa uma área aproximadamente quadrada de 500,00 m de lado na meia encosta da vertente norte do maciço da ombreira esquerda, distando cerca de 1,5 km a 2 km do eixo da barragem. Esta pedreira foi estimada inicialmente com uma área mais abrangente incluindo as partes mais elevadas de um morro contíguo ao da ombreira. Os primeiros estudos, no entanto, indicaram que as investigações deveriam se concentrar nas partes mais próximas da barragem, uma vez que todos os materiais e as características morfológicas e de acesso são semelhantes. Desta forma a segunda área mencionada se constitui numa extensão da pedreira PE-1.

Foram realizados nesta pedreira 6 poços de inspeção (PM-1 a PM-6), com profundidades que variam de 1,5 m a 5,0 m, compreendendo camadas de solo coluvionar e residual de metagabro, e duas sondagens rotativas (SR-131 e SR-132), as quais foram paralizadas com respectivamente 12,08 e 13,63 m de profundidade, uma vez que até aí não se detectou rocha sã e pouco fraturada.

Esta pedreira tem grande potencial no que concerne a volume e qualidade de rocha. No entanto, a ausência de afloramentos e o fato das investigações executadas indicarem o topo de rocha sã a profundidades superiores a 10,00 m, diminuiu sua competitividade.

Julga-se necessário que nova campanha de investigações seja executada no sentido de melhor definir suas características.

Os testemunhos de sondagem SR-3 (fase de inventário), que foi executada para estudo de fundações e que é representativa da pedreira PE-1, foram enviados para ensaios tecnológicos de concreto no laboratório de FURNAS em Goiânia.

8.4.2 Pedreira PE-2

A pedreira PE-2 tem aproximadamente 200,00 m de comprimento e 100,00 de largura e dista cerca de 3 km em linha reta da barragem principal.

Esta área é formada por (micro) metagabro, que ocorre aflorando numa extensão de aproximadamente 50,00 m ao longo de um talvegue. A rocha tem coloração cinza escuro, granulação fina e apresenta-se muito consistente.

Foram executados 3 poços de inspeção (PM-7 a PM-9) para definir a espessura média de capeamento de solo, tendo este atingido profundidade entre 2,50 a 3,50 m; neste local foram executadas duas sondagens rotativas (SR-133 e SR-134) com 11,29 m e 9,60 m de profundidade. Nelas verificou-se um capeamento de 3,5 m e 3,0 m sobre a rocha sã D1, C1, F1 localmente F2/3.

Esta área também apresenta grande volume de material de excelente qualidade como enrocamento ou agregado de concreto. A definição deste local, como fonte de exploração para a barragem, depende de levantamentos topográficos de detalhe a serem realizados na próxima etapa dos estudos, devido à cota relativamente baixa (El. 347,00 m) em relação à crista da barragem secundária (El. 336,00 m) e à proximidade da PE-2 da ombreira direita desta barragem.

8.4.3 Pedreira PD-1

A pedreira PD-1 é estimada com cerca de 500,00 m de comprimento e 250,00 m de largura, distando cerca de 1 a 2 km do local da barragem principal. Ela é constituída por gnaisse facoidal, que ocorre na área em grandes afloramentos com características D1/2, C1/2, F2.

A sondagem rotativa SR-129, executada nesta pedreira, indicou o capeamento superficial de solo e rocha decomposta com 2,00 m de espessura, e a partir daí rocha sã até a profundidade final do furo, 12,00 m.

Os testemunhos de sondagem foram enviados para ensaios tecnológicos de concreto no laboratório de FURNAS, em Goiânia.

Esta pedreira se mostra, na fase atual dos estudos, como uma alternativa promissora, tendo em vista a excelente qualidade geomecânica de rocha e ainda a estimativa de que o volume é suficiente para atender às necessidades da obra. No entanto, há de se considerar que o local da PE-2 tem topografia suave, com as maiores elevações em torno da El. 310,00 m e, portanto, a exploração requererá escavações em cava, tornando este fato um inconveniente a sua utilização.

9. ENSAIOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS "X"

Foram realizados ensaios por difração de raios "X" em 10 amostras representativas dos maciços básicos/ultrabásicos que ocorrem na ombreira esquerda da barragem principal e na área da barra-

gem secundária. As análises destes ensaios revelaram a presença de esmectita (argila expansiva) em algumas das amostras, em quantidades variáveis, não determinadas percentualmente. Os resultados da análise são apresentados no Quadro 7.4, a seguir.

QUADRO 7.4

	AMOSTRA Nº	PROFUNDIDADE (m)	MINERAIS IDENTIFICADOS
ROCHAS	SM-101	34,62 a 34,75	Clorita, illita (muito pouco)
	SM-102	50,81 a 50,94	Esmectita, clorita, illita (?) traços, mineral do grupo da caulinita (?) traços
	SM-104	42,27 a 42,42	Illita, clorita, mineral do grupo da caulinita (muito pouco), camada mista irregular de illita-esmectita (traços)
	SM-106	33,16 a 33,31	Clorita, illita (?) traços
	SM-113	27,27 a 27,42	Illita (predominante), esmectita, clorita
	SR-01	22,24 a 22,27	Esmectita (predominante), clorita
	SR-19	15,43 a 15,62	Illita, clorita, mineral do grupo da caulinita (?) traços
SOLOS	PE-9	2,40 a 2,70	Mineral do grupo da caulinita, illita
	PE-5	4,00 a 4,30	Esmectita, mineral do grupo da caulinita
	PE-5	2,50 a 2,80	Mineral do grupo da caulinita (predominante), camada mista irregular de illita-esmectita (traços), illita (traços)

A CPRM, responsável pela interpretação dos ensaios, informou que a esmectita identificada pertence ao grupo dos argilominerais cálcicos ou magnesianos, portanto os que apresentam menor poder de expansão. A esmectita em quantidade mais expressiva só foi acusada no furo SR-01 a montante, em local de eixo alternativo (Eixo A) descartado na fase de inventário.

A ocorrência de esmectita em si mesma não se constitui em fator preocupante, entretanto poderá requerer alguns cuidados adicionais durante a construção, os quais serão estudados na próxima fase de projeto básico, à luz de resultados de ensaios laboratoriais específicos a serem programados nessa mesma fase.

CAPÍTULO 8

ESTUDOS ENERGÉTICO-ECONÔMICOS

ÍNDICE

	Página nº
1. INTRODUÇÃO	8.1
2. DADOS BÁSICOS	8.1
3. METODOLOGIA E CRITÉRIOS	8.3
4. DEFINIÇÃO DO N.A. NORMAL DO CANAL DE FUGA	8.3
5. DEFINIÇÃO DO N.A. MÁXIMO NORMAL DO RESERVATÓRIO	8.4
6. DEFINIÇÃO DO VOLUME ÚTIL	8.4
7. OUTROS PARÂMETROS	8.5
8. FICHAS RESUMO	8.8

8. ESTUDOS ENERGÉTICO-ECONÔMICOS

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar, de forma resumida, os resultados dos estudos energético-econômicos realizados com vistas ao dimensionamento da UHE Cana-Brava. Este texto corresponde a uma síntese do desenvolvimento apresentado no Volume IV do presente relatório de viabilidade.

Dentro da sistemática usual adotada por FURNAS, os estudos energético-econômicos foram efetuados pelo Departamento de Planejamento do Sistema de Geração - DPS.T, através da sua Divisão de Estudos de Geração - DEGE.T. No caso presente da UHE Cana-Brava, foram determinados progressivamente os seguintes parâmetros básicos que caracterizam a usina:

- Nível d'água normal de jusante;
- Nível d'água máximo normal do reservatório;
- Volume útil do reservatório.

Os estudos foram realizados conforme metodologia recomendada pelo GTPE - Grupo de Trabalho para Estudos de Critérios de Planejamento Energético do GCPS - Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema. Os resultados destes estudos são básicos para a análise de alternativas do aproveitamento, apresentada no Capítulo 9, após o que se define a motorização do projeto.

2. DADOS BÁSICOS

Os dados básicos utilizados foram fornecidos pelos estudos hidrometeorológicos constantes do Capítulo 6 deste relatório, podendo ser destacados os seguintes:

- Descargas médias mensais, no período janeiro/1931 a dezembro/1980, derivadas para os locais de Serra da Mesa e Cana-Brava e constantes das Tabelas 6.7 e 6.8, do Capítulo 6;
- Curvas de capacidade (área e volume) dos reservatórios de Serra da Mesa e Cana-Brava (ver Anexo 12);
- Curvas-chave estimadas para os canais de fuga de Serra da Mesa e Cana-Brava. A curva-chave de Cana-Brava está apresentada no Anexo 12 e as curvas-chave para Serra da Mesa, em função do nível máximo normal em Cana-Brava, determinadas nos estudos de remanso, como descrito no item 6.3 do Capítulo 6 deste relatório, estão apresentadas na Tabela 8.1 a seguir. Estas curvas foram utilizadas para determinação do N.A. Máx. Normal em Cana-Brava.

TABELA 8.1

CURVAS-CHAVE EM SERRA DA MESA
ELEVÇÕES DO N.A. (m) NO CANAL DE FUGA DE SERRA DA MESA (MIRA G)

DESCARGA (m ³ /s)	N.A. MÁXIMO NORMAL EM CANAL - BRAVA (m)	329,00	330,00	331,00	332,00	333,00	334,00	CURVA-CHAVE NATURAL (SEM CANA-BRAVA)
200	329,72	330,42	331,23	332,12	333,07	334,04	334,04	329,02
500	331,35	331,66	332,07	332,65	333,40	334,26	334,26	330,80
750	332,36	332,57	332,82	333,19	333,78	334,51	334,51	332,10
1000	333,18	333,31	333,47	333,72	334,18	334,82	334,82	332,96
1200	333,68	333,84	333,93	334,16	334,53	335,08	335,08	333,58
1500	334,43	334,43	334,43	334,75	335,00	335,43	335,43	334,43
2000	335,56	335,56	335,56	335,68	335,75	336,02	336,02	335,56
2500	336,42	336,42	336,42	336,42	336,48	336,60	336,60	336,42
3000	337,17	337,17	337,17	337,17	337,17	337,25	337,25	337,17
3500	337,85	337,85	337,85	337,85	337,85	337,85	337,85	337,85
4000	338,50	338,50	338,50	338,50	338,50	338,50	338,50	338,50
4500	339,18	339,18	339,18	339,18	339,18	339,18	339,18	339,18
5000	339,82	339,82	339,82	339,82	339,82	339,82	339,82	339,82
6000	341,02	341,02	341,02	341,02	341,02	341,02	341,02	341,02
7000	342,12	342,12	342,12	342,12	342,12	342,12	342,12	342,12
8000	343,16	343,16	343,16	343,16	343,16	343,16	343,16	343,16
9000	344,13	344,13	344,13	344,13	344,13	344,13	344,13	344,13
10000	345,06	345,06	345,06	345,06	345,06	345,06	345,06	345,06
11000	345,94	345,94	345,94	345,94	345,94	345,94	345,94	345,94
12000	346,79	346,79	346,79	346,79	346,79	346,79	346,79	346,79
13000	347,60	347,60	347,60	347,60	347,60	347,60	347,60	347,60
14000	348,39	348,39	348,39	348,39	348,39	348,39	348,39	348,39
15000	349,15	349,15	349,15	349,15	349,15	349,15	349,15	349,15

3. METODOLOGIA E CRITÉRIOS

Genericamente, a metodologia adotada consiste em se avaliar o custo incremental expresso em US\$/MWh, o qual é representado pela relação entre os incrementos de custos e de benefícios anuais envolvidos, decorrentes da diferença entre alternativas sucessivas que apresentam maior e menor custo e benefícios. A preferência por uma determinada alternativa é definida pela comparação deste índice com o custo de referência estabelecido pela ELETROBRÁS. Decide-se pelo investimento adicional enquanto o referido índice não exceder o custo de referência.

Nesta comparação considerou-se uma taxa de atualização de 10% a.a. e vida útil da usina de 50 anos. O custo de referência adotado corresponde ao custo marginal de expansão do sistema, aplicável ao dimensionamento de projetos para o período 1991/95 e calculado em 32,5 US\$/MWh, a preços de junho de 1986 (US\$ 1,00 = Cz\$ 13,84), base de preços do estudo.

Os custos de investimentos considerados foram estimados pela IESA - Internacional de Engenharia S.A., de acordo com os critérios recomendados no Manual de Viabilidade da ELETROBRÁS.

Os benefícios energéticos foram avaliados a partir de simulações estáticas da operação do sistema efetuadas com o modelo SIMUS, código computadorizado desenvolvido no âmbito de FURNAS. O sistema de referência considerado nestas simulações corresponde à configuração hidrotermoelétrica prevista para o ano horizonte do Plano Decenal de Geração do Sistema Sudeste/Sul (1977). O período crítico determinado nestes estudos compreende o intervalo junho de 1949/dezembro de 1955.

4. DEFINIÇÃO DO N.A. NORMAL DO CANAL DE FUGA

O N.A. de jusante da UHE Cana-Brava foi verificado em função das duas alternativas estudadas para a instalação da casa de força: na barragem principal ou em um talvegue localizado um pouco mais a jusante. Entre ambas as localizações, há uma diferença de queda de 1,00 m: no primeiro caso, com a casa de força a montante, o N.A. Normal do canal de fuga seria a El. 287,00 m; no segundo caso, com a casa de força a jusante, o N.A. Normal do canal de fuga seria a El. 286,00 m.

A decisão por uma ou outra alternativa não se resume, todavia, em uma simples comparação de custos, uma vez que há interferência no aproveitamento de Peixe, situado a jusante.

As alternativas formuladas consideram sempre o aproveitamento total do desnível, abrangendo, pois, as situações limites entre o nível do canal de fuga de Cana-Brava e o nível máximo operativo do reservatório de Peixe. Além dessas, considerou-se ainda a possibilidade de afogamento de 1,0 m do canal de fuga de Cana-Brava pelo reservatório de Peixe na El. 287,0 m.

A análise energético-econômica mostrou que a alternativa mais atraente é a que contempla o N.A. Normal do reservatório de Cana-Brava na El. 287,00 m, o mesmo nível considerado para o N.A. Máx. do reservatório de Peixe que, nesta alternativa, é dotado de volume útil operativo.

5. DEFINIÇÃO DO N.A. MÁXIMO NORMAL DO RESERVATÓRIO

Na etapa de inventário o N.A. Máx. do reservatório foi fixado na El. 331,00 m. Posteriormente, a partir de um estudo de remanso do reservatório sobre o canal de fuga da UHE Serra da Mesa, imediatamente a montante, verificou-se a possibilidade de sobrelevação deste nível até a El. 334,00 m, definida como limite, em função de interferências sócio-econômicas na área.

Assim, foram examinadas quatro alternativas para o N.A. Máximo Normal do reservatório da usina, dentro do intervalo anteriormente definido e considerando incrementos de 1,0 m.

Do ponto de vista estritamente energético, seria economicamente justificável a escolha da El. 334,00 m para o N.A. Máx. Normal do reservatório de Cana-Brava, muito embora a diferença entre o custo incremental ao se passar da El. 333,00 m para a El. 334,00 m e o custo de referência tenha se situado em torno de 10%.

Para a decisão final, outros aspectos foram considerados além do estudo energético-econômico. Ainda que de forma incipiente, levou-se em conta aspectos ambientais aos quais vem sendo conferida crescente importância. De fato, é hoje consenso no setor de que os impactos ambientais precisam ser internalizados ao processo de decisão que compreende os estudos de dimensionamento de usinas hidroelétricas. A alternativa de N.A. mais alto não resistiu a uma análise de sensibilidade ao custo de terra. Economicamente, tornou-se menos atraente do que a alternativa com N.A. Máx. na El. 333,00 m para um custo de terra admitido como cerca da metade do valor potencial que teoricamente esta poderia atingir. Além disso, pesou na decisão os riscos que alternativa de N.A. em elevação mais alta oferece relativamente à cidade de Minaçu.

Desse modo, fixou-se a El. 333,00 m como N.A. Máx. Normal para o reservatório da UHE Cana-Brava.

6. DEFINIÇÃO DO VOLUME ÚTIL

Os estudos de inventário hidroelétrico do Alto Tocantins indicaram vantagens energéticas na operação a fio d'água do reservatório da UHE Cana-Brava. Na etapa de viabilidade, este estudo foi revisto em maior profundidade

Era de se esperar que o resultado dos estudos desenvolvidos na fase de viabilidade ratificassem o encontrado preliminarmente. O modelo utilizado, embora contenha algumas simplificações, é conclusivo quanto à consideração ou não de operação a fio d'água de reservatórios cujo volume, por não ser muito grande, não influencia a operação de outras usinas fora da mesma bacia. Este é o caso da UHE Cana-Brava, cujo reservatório conteria, no máximo, pouco mais de um quilômetro cúbico de volume útil.

Foram estudadas cinco alternativas de volume para o reservatório em questão. Analisou-se desde o volume nulo, considerando a usina com operação a fio d'água, até o volume relativo ao máximo deplecionamento adotado no Setor Elétrico, que corresponde a um terço da queda bruta máxima no local.

A análise energética demonstrou que os benefícios de energia são máximos para a alternativa que considera a operação da UHE Cana-Brava a fio d'água, decrescente sempre na medida em que se aumenta o volume do seu reservatório.

Quanto aos custos, de uma forma geral, o aumento do volume útil em uma usina hidroelétrica através do rebaixamento do N.A. Máx. operativo implica em incremento nos custos de investimento.

Assim sendo, a citada alternativa apresenta maiores benefícios energéticos e menor custo de investimento. Este resultado corrobora a conclusão obtida pela análise da fase de inventário que concluiu pela operação a fio d'água da usina Cana-Brava.

Cabe observar que a conclusão acima se refere a um volume útil médio mensal. Deve-se ressaltar a necessidade de um pequeno reservatório de compensação (regularização diária) que permita à usina acompanhar a curva de carga do sistema.

7. OUTROS PARÂMETROS

Além dos parâmetros acima abordados, seguem-se abaixo outros, não derivados de um estudo energético-econômico, mas que complementam a gama de dados energéticos necessários para a elaboração dos arranjos gerais e estimativas de custos.

● Nível d'Água Médio do Reservatório

Para Cana-Brava foi adotado o nível médio igual ao nível máximo normal (El. 333,00 m) já que o reservatório operará a fio d'água.

- Nível d'Água Mínimo

O nível d'água mínimo do reservatório foi obtido através da curva cota-volume quando se depleciona o reservatório de um volume correspondente a 1,5% do deflúvio médio anual. Este volume corresponde a uma depleção de cerca de 3,00 m.

- Área Inundada

A área inundada correspondente ao nível d'água máximo normal foi obtida através da curva cota-área a partir do nível correspondente, 138,67 km².

- Descarga Regularizada

A descarga regularizada é obtida através dos estudos de simulação e corresponde à máxima descarga garantida em qualquer condição hidrológica, considerados o histórico de vazões e a operação dos reservatórios a montante. No caso, a descarga de Cana-Brava é regularizada em Serra da Mesa e seu valor é de 460 m³/s.

- Descarga Média no Período Crítico

A descarga média no período crítico considerado, JUN49 a DEZ55, é de 716 m³/s.

- Energia Firme

A energia firme corresponde ao acréscimo de geração garantida obtida pelo sistema com a inclusão de Cana-Brava. É obtida através da simulação estática da operação do sistema considerando o histórico de vazões, de 1931 a 1980. O valor determinado foi de 267 MW médio.

- Potência de Referência

Foi adotada como potência de referência o valor de 480 MW distribuídos em quatro unidades de 120 MW, proveniente dos estudos de inventário. A definição da motorização é feita através de estudos energético-econômicos específicos que são apresentados no Capítulo 10.

- Quedas Características

- Queda Bruta Máxima

A queda bruta máxima foi definida pela diferença entre o nível d'água máximo normal do reservatório e o nível d'água normal de jusante, ou seja, 46,0 m.

- Queda Líquida Máxima

A queda líquida máxima foi definida como a queda bruta máxima menos as perdas hidráulicas em todo o circuito hidráulico da usina. Adotou-se a perda de 2% da queda bruta máxima para todos os aproveitamentos, conforme critério usual no setor. Assim, a queda líquida máxima é de 45,1 m.

- Quedas Bruta e Líquida Médias

A queda média é calculada pelos estudos de simulação. Obteve-se os valores de 45,0 e 45,4 m para a queda bruta média durante o período simulado e período crítico, respectivamente. As quedas líquidas são obtidas retirando-se destes valores a perda hidráulica conforme já definido.

- Queda de Referência

Define-se queda de referência como sendo aquela na qual se obtém a potência máxima do gerador (igual à potência normal, a nível de projeto com a máxima abertura do distribuidor da turbina - engolimento igual ao engolimento máximo). Para a obtenção da queda de referência é utilizado um processo iterativo, buscando garantir que a potência instalada esteja disponível para geração na hora da ponta, sem restrições impostas pela redução da queda em razão da elevação do canal de fuga. Obteve-se o valor de 42,0 m.

Esta metodologia objetiva a determinação da queda nominal exclusivamente para fornecer subsídios à elaboração dos custos de investimento.

● Fator de Capacidade

O fator de capacidade foi calculado dividindo-se a energia firme pela potência instalada, já que a usina opera a fio d'água. Obteve-se o valor de 56%.

● Características das Máquinas

Para a máquina selecionada, foram ainda calculadas as seguintes características:

- Descarga unitária máxima;
- Velocidade específica;
- Velocidade síncrona;
- Número de polos;
- Diâmetro do rotor;

- Potência do gerador correspondente, adotando-se o fator de potência igual a 0,95.

8. FICHA RESUMO

Na Tabela 8.2 estão reunidos os parâmetros hidroenergéticos da Usina Cana-Brava, componente do Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix, para 4 unidades de 120 MW.



TABELA 8.2 - PARÂMETROS HIDROENERGÉTICOS PRELIMINARES (4 x 120 MW)

APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE CANA-BRAVA - El. 333,00 m

Condições de Regularização	Em Serra da Mesa
Área de Drenagem	57.777 km ²
Descarga Média de Longo Período (1931/1980) ..	820,0 m ³ /s
Deflúvio Médio Anual	25,9 km ³
NA Máximo Normal	333,0 m
NA Médio	333,0 m
NA Mínimo Normal	333,0 m
NA Normal de Jusante	287,0 m
Área Inundada no NA Máximo Normal	138,67 km ²
Volume Total no NA Máximo Normal	2,3 km ³
Volume Disponível em 1/3 da Queda Bruta	1,5 km ³
Volume Útil Local	0,0 km ³
Volume Morto	2,3 km ³
Volume Útil a Montante (Somatório)	43,3 km ³
Volume Útil Total	43,3 km ³
Vazão Regularizada	460,0 m ³ /s
Vazão Média no Período Crítico (JUN49-DEZ55) ..	716,0 m ³ /s
Queda Bruta Máxima	46,0 m
Queda Líquida Máxima (H1)	45,1 m
Queda Bruta Média (Em Período Simulado)	45,0 m
Queda Líquida Média (Em Período Simulado) ...	44,1 m
Queda Bruta Média (Em Período Crítico)	45,4 m
Queda Líquida Média (Em Período Crítico)	44,5 m
Queda de Referência	42,0 m
Energia Firme (PF = 8,4 QRH2)	267,0 MW Med
Fator de Capacidade	0,56
Potência Instalada de Referência	480,000 MW
Número de Unidades	4
Tipo de Turbina	Francis
Potência Unitária das Turbinas	124 MW
Descarga Unitária Máxima das Turbinas	320 m ³ /s
Velocidade Específica	329,3 U.M.
Velocidade Síncrona	100 RPM
Número de Polos	72
Potência do Gerador	126 MVA
Diâmetro do Rotor (D3)	6,2 m

CAPÍTULO 9

ESTUDOS DE ALTERNATIVAS PARA A USINA CANA-BRAVA

ÍNDICE

	Página nº
1. GERAL	9.1
2. ESTUDOS DE SELEÇÃO DE LOCAL E DE EIXO	9.1
2.1 Seleção de Local	9.1
2.2 Seleção de Eixo	9.2
2.2.1 Barragem Principal	9.2
2.2.2 Barragem Secundária	9.2
3. SELEÇÃO DA ALTURA DA BARRAGEM	9.3
4. ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE BARRAGENS	9.4
4.1 Geral	9.4
4.2 Alternativas em Barragens de Terra	9.6
4.2.1 Geral	9.6
4.2.2 Alternativa "A" - Túnel para Desvio Reduzido e Usina Geradora na Ombreira Esquerda da Barragem Principal e Vertedouro no Lado Direito da Barragem Secundária	9.7

4.2.3	Alternativa "B" - Túnel para Desvio Reduzido na Ombreira Esquerda da Barragem Principal - Usina Geradora e Vertedouro no Lado Direito da Barragem Secundária	9.10
4.2.4	Alternativa "C" - Barragem Principal com Usina Geradora e Vertedouro na Margem Direita com Adufas para Desvio Reduzido	9.10
4.3	Alternativa em Barragem de Concreto Compactado Rico em Pasta	9.15
4.3.1	Conceituações Fundamentais	9.15
4.3.2	Aspectos Técnico-Econômicos	9.17
4.3.3	Canteiro de Obras	9.18
4.3.4	Arranjo Geral - Alternativa de Concreto Compactado Rico em Pasta	9.18
4.3.5	Composição de Custo	9.21
4.3.6	Aspectos Tecnológicos Específicos do Concreto Compactado a Rolo, Rico em Pasta, para Cana-Brava	9.22
5.	SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL	9.23
5.1	Geral	9.23
5.2	Estimativas de Quantidades e Custos	9.24
5.3	Seleção do Arranjo Geral	9.24

9. ESTUDOS DE ALTERNATIVAS PARA A USINA CANA-BRAVA

1. GERAL

Os estudos para a definição das alternativas de projeto para a usina Cana-Brava, começaram, mais nitidamente na fase antecedente de inventário final, os quais constam dos relatórios:

- RBU-001 - Inventário da Bacia do Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Fase I - Aproveitamento das Investigações de Campo e dos Estudos em Cana-Brava - Seleção de Eixo de Barragem - Agosto, 1983.
- RBU-002 - Alto Tocantins - Curso Principal do Rio - Inventário Final - Fevereiro, 1984.

Os estudos de alternativas e de arranjo geral, prosseguiram durante a viabilidade na medida que ficaram disponíveis novos dados e informações de investigações de campo e de novos levantamentos. Essas investigações e levantamentos, conforme foi esclarecido em capítulos precedentes, foram programados para execução no início dos estudos de viabilidade e tiveram por base o estágio alcançado no conhecimento do local de Cana-Brava, proporcionado pelos estudos de inventário final, conforme consta das recomendações do relatório RBU-002.

No presente capítulo apresenta-se uma apreciação das alternativas de aproveitamento estudadas para a usina Cana-Brava, em relação aos seguintes aspectos:

- Seleção de local e de eixo;
- Seleção da altura;
- Seleção do tipo de barragem.

2. ESTUDOS DE SELEÇÃO DE LOCAL E DE EIXO

2.1 Seleção de Local

O local da usina Cana-Brava foi considerado pela primeira vez como componente de esquemas de partição de queda do rio Tocantins superior, na proposta da IESA de julho de 1980, para os estudos de viabilidade de São Félix, convertida em contrato. Os estudos conduzidos pela IESA, como previsto, foram elaborados em duas fases: Fase I - Estudo de Locais Alternativos e Fase II - Viabilidade do Local Alternativo Selecionado. Os resultados da Fase I, constam do relatório RAF-008, de abril de 1982 e os resultados da Fase II foram apresentados no relatório RAF-014, de novembro de 1982, nos quais

o local de Cana-Brava resultou, dentre outras alternativas, como componente da divisão de quedas mais atraente para o aproveitamento do Alto Tocantins na área de concessão de FURNAS, sendo mostrado juntamente com o local de Serra da Mesa, como um desdobramento do local de São Félix.

Como consequência da seleção de local de Cana-Brava como componente da divisão de quedas, a ELETROBRÁS determinou o aprofundamento das investigações e estudos em Cana-Brava e de inventário final do Alto Tocantins, sendo os resultados publicados nos relatórios mencionados RBU-001 e RBU-002.

2.2 Seleção de Eixo

2.2.1 Barragem Principal

O relatório RBU-001, de agosto de 1983 é específico sobre os estudos de seleção de eixo de barragem. Nesse relatório foram demonstrados 6 (seis) eixos para a barragem principal, denominados A, B, C, D, E e F, os quais foram sendo definidos com a análise de resultados de investigações de campo e o andamento dos estudos. Foi verificado que as condições de fundação e de arranjo geral de projeto pioram a montante do eixo "A" e melhoram progressivamente para jusante. Por outro lado, os resultados obtidos mostraram a jusante do eixo "A", condições mais favoráveis para o arranjo das estruturas e desvio do rio, sendo dentre os eixos estudados selecionado o eixo "F".

As investigações e levantamentos de campo levados a efeito na fase de viabilidade, consolidaram a seleção do eixo "F" para a barragem principal.

2.2.2 Barragem Secundária

Em relação à barragem secundária, conforme demonstrado no relatório RBU-001, foram examinados três eixos alternativos. Na época, o programa de investigações do talvegue, objetivando um aprofundamento de estudos de feições geológicas e condições de fundação, constaram de sondagens manuais, mecânicas e elétricas incluídas no Capítulo 4 do relatório RBU-001. O posicionamento do eixo de montante correspondeu ao do dique e vertedouro da época dos estudos de viabilidade de São Félix constante dos relatórios RAF-008, de abril de 1982 e RAF-014, de novembro de 1982.

O eixo de jusante foi posicionado, conforme mostrado no relatório RBU-001, para permitir o estudo da influência dos seguintes condicionantes no arranjo geral do projeto: vazões vertidas ao rio em canal de restituição mais curto; localização de estruturas em ombreira mais próxima ao rio, no lado direito do talvegue; disponibilidade de materiais de construção e balanço dos mesmos.

O eixo selecionado, indicado no relatório RBU-001, é uma variante do eixo de jusante para melhoria do arranjo geral de projeto e diminuição do volume necessário para a barragem secundária.

As investigações e levantamentos realizados na fase de viabilidade consolidaram os resultados da fase anterior de inventário final sobre o eixo selecionado para a barragem secundária, cujos resultados estão demonstrados nos relatórios RBU-001 e RBU-002.

3. SELEÇÃO DA ALTURA DA BARRAGEM

Desde o início dos estudos que Cana-Brava foi definida como um local de aproveitamento a fio d'água tendo em vista a operação conjunta com o reservatório de Serra da Mesa que tem 43,25 km³ de volume útil. Neste sentido, para o aproveitamento máximo da queda local, a altura da barragem de Cana-Brava resultou do ajustamento do remanso do seu reservatório ao N.A. Máx. Normal do canal de fuga da usina Serra da Mesa, imediatamente a montante, e da diferença deste nível d'água do reservatório de Cana-Brava para o remanso do reservatório de Peixe, imediatamente a jusante.

Sendo Cana-Brava um local intermediário de partição de queda, entre Serra da Mesa e Peixe, foi incluído na época dos estudos de seleção de local, durante os estudos de viabilidade de São Félix, hipótese de partição de queda com o canal de fuga de Cana-Brava afogado, resultando entretanto, como mais vantajoso sob o aspecto energético-econômico a compatibilização do N.A. Máx. Normal do reservatório de Cana-Brava com o nível médio do rio em Serra da Mesa e o N.A. Máx. Normal do reservatório de Peixe, ajustado para o nível médio do canal de fuga de Cana-Brava. Nos estudos de inventário com este critério, conforme mostrado no relatório RBU-002, resultou para Cana-Brava a El. 331,00 m com a crista da barragem na El. 336,00 m considerando-se sobrelevação do reservatório pela passagem da enchente máxima do vertedouro e folga de borda livre.

Os estudos hidrológicos conduzidos na fase de viabilidade, concluída com o presente relatório e cujos resultados constam do Capítulo 6, demonstraram que o N.A. Máx. Normal do reservatório de Cana-Brava para ajuste ao remanso e aos resultados finais da curva-chave em Serra da Mesa, deveria estar 2,00 m acima da El. 331,00 m determinado na fase de inventário final, ou seja, na El. 333,00 m.

Os estudos de borda livre e de ondas constantes do Capítulo 6 para talude de barragem de terra protegido com enrocamento, permite que se conserve a crista da barragem na El. 336,00 m mantendo-se assim a mesma elevação indicada no relatório RBU-002 para o coroamento.

4. ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE BARRAGENS

4.1 Geral

Os arranjos gerais de projeto foram desenvolvidos desde o início dos estudos, incorporando, a cada estágio do trabalho, os resultados de investigações e dados disponíveis para a organização de concepções de alternativas e disposições de projetos viáveis, as quais proporcionaram estimativas de custos de construção e de caracterização de requisitos técnicos. Estes estudos de arranjos gerais subsidiaram, portanto, logo desde o início, com elementos técnicos e econômicos, o planejamento em geral e a tomada de decisões progressivas ao longo do trabalho. Estes arranjos gerais alternativos, desenvolvidos no curso do trabalho de viabilidade, são objeto de considerações em itens específicos do presente capítulo.

Nos estudos de alternativas de aproveitamento, considerou-se a possibilidade de construção de dois (02) tipos distintos de barragens: barragem de terra zoneada com núcleo de argila e barragem de concreto compactado rico em pasta. O delineamento de disposição e situação, no mesmo local e eixo para esses tipos de barragens são peculiares aos mesmos como apresentado mais adiante. Estes tipos de barragens e respectivos arranjos gerais, foram analisados em maior profundidade, os quais estão também apresentados no presente capítulo.

Após completadas as investigações geológicas de campo, com todos os furos de sondagens executados, foi elaborada interpretação geotécnica cuidadosa, com perfis longitudinais e com seções transversais na barragem e estruturas associadas. Estes perfis e seções executados para as alternativas de barragem de terra e para a alternativa de concreto compactado, permitiram uma avaliação competente das condições de fundação e das escavações, sendo identificadas as áreas de capeamento e rocha extremamente alterada, rocha alterada e rocha sã.

Com os resultados das interpretações geotécnicas, foi possível estabelecer com confiabilidade para os estudos de viabilidade, níveis de fundação e quantitativos para os diferentes materiais escavados.

A intenção dos estudos comparativos de tipo de barragem, considerando alternativa de barragem de terra e de concreto compactado rico em pasta, foi o de determinar custos diferenciais e competitividade das soluções, assim como utilizar dos meios tecnológicos ao alcance do projeto, para tornar mais atraente economicamente a usina Cana-Brava.

A alternativa com barragem de terra zoneada foi selecionada para apresentação final do presente estudo de viabilidade, embora a barragem de concreto compactado tenha apresentado uma estimativa orçamentária ligeiramente inferior (4,3%). A razão da opção pela alternativa de

barragem de terra, conforme melhor explicitado no item 5 - Seleção do Arranjo Geral, deveu-se ao reconhecimento da necessidade de se comprovar melhor a solução de concreto compactado em estudos posteriores, tendo em vista o pioneirismo da aplicação dessa solução no Brasil e devido ao fato de não terem sido esgotados os estudos experimentais tais como: ensaios de laboratório, dosagens do concreto, pistas experimentais e outros que comprovem os parâmetros adotados no projeto e na montagem do custo.

Como se depreende do exposto no item 3 do Capítulo 5 em relação ao alcance técnico-econômico da solução de Cana-Brava para o aproveitamento energético do rio Tocantins, verifica-se que o controle do reservatório de Serra da Mesa, em processo de enchimento, para as obras de desvio do rio em Cana-Brava é um procedimento chave no planejamento. No Capítulo 2 - Introdução, foi enfatizado também este importante marco de planejamento.

Na Figura 5.1 do Capítulo 5 estão mostradas, em cronograma simplificado, as datas críticas do planejamento de Cana-Brava, as quais indicam a necessidade de se iniciar a construção em 1989, de uma ponte sobre o rio Tocantins, de modo a permitir o atendimento dos prazos disponíveis para a construção, que requeiram o máximo de serviços executados na margem direita do rio, no período que antecede o desvio em Cana-Brava previsto para 01 de setembro de 1991, principalmente em relação à barragem que dispõe de um volume razoável na margem direita, resultando apenas 24 meses para construção de um volume considerável da mesma, no leito do rio.

A necessidade da ponte de serviço para abrir uma frente de construção na margem direita desde o início da obra é imperativa para qualquer das alternativas estudadas.

Os critérios adotados para os estudos de arranjos gerais das alternativas de Cana-Brava, obedeceram a diretrizes em comum ou a diretrizes específicas.

Para o pré-dimensionamento hidráulico das estruturas e das casas de força, no referente às turbinas, foram seguidas as recomendações do manual da ELETROBRÁS para Estudos de Inventário de setembro de 1984, exceto em casos específicos, conforme consta do presente relatório.

Os parâmetros hidrológicos e energéticos básicos derivados para Cana-Brava, foram obtidos através de estudos específicos, os quais estão apresentados nos Capítulos 6, 8, 10 e 15 deste relatório.

As alternativas de arranjo geral estudadas nesta fase de viabilidade foram as seguintes:

- Alternativas em Barragem de Terra Zoneada
- Alternativa "A" - túnel para desvio reduzido e usina geradora na ombreira esquerda da barragem principal e vertedouro no lado direito da barragem secundária.

- Alternativa "B" - túnel para desvio reduzido na ombreira esquerda da barragem principal - usina geradora e vertedouro no lado direito da barragem secundária.
- Alternativa "C" - usina geradora e vertedouro na margem direita com adufas para desvio reduzido e dique na sela topográfica.
- Alternativa em Barragem de Concreto Compactado Rico em Pasta
- Alternativa "D" - barragem principal de concreto rico em pasta com usina geradora e adufas para desvio reduzido na margem direita, vertedouro no leito do rio e dique na sela topográfica.

4.2 Alternativas em Barragens de Terra

4.2.1 Geral

Os critérios adotados para a composição e definição de seção de barragens de terra, seja para a barragem principal como para a barragem secundária, levaram em consideração os condicionantes geológico-geotécnicos locais, bem como a disponibilidade de materiais adequados e o balanço de materiais resultantes das escavações requeridas.

As escavações para todas as alternativas de barragens e diques foram concebidas procurando-se garantir a eliminação dos solos residuais maduros e coluvionares de natureza porosa, nos trechos mais solicitados.

Para os estudos de escavações, foram elaborados balanços de materiais e de custos para cada alternativa em barragem de terra e perfis geológico-geotécnicos com interpretação dos níveis de solo de capeamento e rocha extremamente alterada, rocha alterada e rocha sã. Nesses perfis ao longo da linha de centro da crista da barragem e ao longo das estruturas principais, túnel e canais, foram interpretados, com vistas dos testemunhos no campo, os níveis de fundação, seja para o maciço da barragem seja para as estruturas de concreto. Estes níveis estão marcados nos desenhos de seções das alternativas correspondentes.

Ao longo dos perfis geológico-geotécnicos da barragem e demais estruturas e canais, foram elaboradas seções transversais espaçadas a cada 40,00 m de modo a permitir o alcance de melhor precisão nos cálculos dos quantitativos, classificando-se adequadamente os solos e demais litologias do maciço rochoso.

Todas as seções de barragens de terra foram concebidas de tal forma que seu zoneamento interno permita uma grande flexibilidade na utilização dos materiais de escavações obrigatórias.

Prevê-se que os diversos materiais utilizados nas barragens em todas as alternativas, deverão ser aproveitados ao máximo das

escavações obrigatórias. Apenas quando estas escavações não completaram as necessidades de volume dos aterros, os materiais foram obtidos em empréstimos, como no caso da Alternativa C.

Para o desvio do rio em Cana-Brava adotou-se a vazão de desvio reduzida de $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$, entre Serra da Mesa e Cana-Brava, correspondente a um período de retorno médio de 25 anos, admitindo-se a operação de desvio simultaneamente ao enchimento do reservatório de Serra da Mesa.

O vertedouro de Cana-Brava foi projetado para permitir a passagem da enchente máxima de projeto (EMP) amortecida no reservatório de Serra da Mesa e ajustada para a contribuição referente à área de drenagem intermediária entre as duas barragens. Assim sendo, a vazão máxima afluente ao reservatório de Cana-Brava é de $17.802 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta vazão, ao passar pelo reservatório, provocará uma sobrelevação máxima de $1,67 \text{ m}$ acima do N. A. Máx. Normal $333,00 \text{ m}$, correspondendo a uma vazão máxima efluente do vertedouro de $17.761 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta vazão foi adotada para o projeto do canal de aproximação, do vertedouro e de seu canal de restituição.

4.2.2 Alternativa "A"- Túnel para Desvio Reduzido e Usina Geradora na Ombreira Esquerda da Barragem Principal e Vertedouro no Lado Direito da Barragem Secundária

Nesta alternativa a usina geradora está localizada na ombreira esquerda da barragem principal (sobre o rio Tocantins), e o vertedouro no lado direito da barragem secundária que se localiza no talvegue de jusante, na margem esquerda.

O arranjo físico, conforme os Anexos 22 a 24, desenhos RIL-04-015, 016 e 017, tem o canal de adução, tomada d'água, casa de força, e canal de fuga dispostos de modo a se obter o menor volume de obras civis e melhoria das condições de operação das máquinas. O desvio do rio nesta alternativa está localizado na ombreira esquerda da barragem, com túnel de desvio de $11,00 \text{ m}$ de largura, altura de $12,00 \text{ m}$ e tem a seção de vazão retangular com abóbada semi-circular, raio de $5,50 \text{ m}$ e uma estrutura de emboque. Seu comprimento desenvolvido é de aproximadamente $315,00 \text{ m}$.

O canal de adução à tomada d'água, com cerca de $310,00 \text{ m}$ se apresenta em planta curva com largura média de $80,00 \text{ m}$, com taludes de $1V:0,25H$ em rocha sã; $1V:1H$ com bermas de $5,00 \text{ m}$ a cada $10,00 \text{ m}$ em rocha alterada e $1V:2H$ com bermas de $5,00 \text{ m}$ a cada $10,00 \text{ m}$ em solo. A tomada d'água é composta de 4 blocos de concreto, de $25,00 \text{ m}$ com aberturas ($15,00 \times 20,00 \text{ m}$) protegidas por grades. Cada vão poderá ser fechado por comportas e stoplogs.

Cada bloco da tomada d'água une-se à casa de força através de um conduto metálico de $\phi 10,00 \text{ m}$, com aproximadamente $30,00 \text{ m}$ de comprimento.

A casa de força compõe-se de 4 unidades geradoras de 120 MW com turbinas Francis. A casa de força tem 36,00 m de largura e 100,00 m de comprimento. O canal de fuga tem cerca de 620,00 m de comprimento, sendo os primeiros 60,00 m em transição de 1V:6H, partindo da El. 269,50 m até a El. 280,00 m para restituir as vazões turbinadas ao rio.

A estrutura do vertedouro foi implantada isolada no lado direito da barragem secundária. O canal de aproximação foi projetado com capacidade tal que permitisse a passagem da vazão de projeto, mantendo as perdas de carga com valores inferiores a 0,50 m. A velocidade média se mantém em 6,00 m/s para recorrência de 10.000 anos, valor este que garante o escoamento subcrítico ao longo de todo o canal. O canal, com cerca de 600,00 m de comprimento, apresenta em planta uma curva suave, com largura variando de 148,00 m a 105,00 m, junto à estrutura do vertedouro, com taludes de 1V:0,25H em rocha sã, 1V:1H em rocha alterada e 1V:2H em solo. O fundo do canal se mantém na El. 306,00 m até a estrutura do vertedouro.

A estrutura do vertedouro é composta de sete blocos de concreto deixando seis vãos livres, controlados por comportas de segmento de 15,00 x 19,00 m. Estes vãos estão separados por pilares de 3,00 m de largura.

O perfil do vertedouro é constituído de uma soleira baixa com paramento de montante inclinado de 1V:1H e aproximação com soleira localizada 8,00 m abaixo da crista, situada na El. 314,00 m. Após a crista, o paramento de jusante apresenta forma parabólica, determinada pela altura de projeto $H_D = 19,00$ m.

O valor do coeficiente de vazão $C = 2,10$ foi determinado em função das características do escoamento e da geometria da aproximação e do vertedouro.

O escoamento, após sua passagem pelo paramento de jusante, entra em uma curva de transição circular, seguindo com declividade constante até atingir o ponto de concordância com a curva de raio $R = 25,00$ m, que define o "flip bucket". O ponto de lançamento do jato está situado na El. 300,00 m, distante 200,00 m da crista do vertedouro, definindo um ângulo de saída de 30°. O alcance provável do jato para a vazão de projeto é de 45,00 m.

O conjunto estrutural do vertedouro perfaz um total de 111,00 m de largura, por 208,00 m de comprimento.

O canal de restituição apresenta, em planta, um trecho inicial com eixo retilíneo e comprimento de aproximadamente 460,00 m, seguindo com curvatura suave, ao longo de 420,00 m até atingir o leito do rio. Imediatamente a jusante da calha do vertedouro tem-se laje de 20,00 m de comprimento por 130,00 m de largura na El. 294,00 m para proteção de erosão regressiva, seguindo por trecho em transição, mantendo-se o fundo em topo de rocha e estreitando a calha de 130,00 m para 10,00 m de largura ao longo de 85,00 m aproximadamente, chegando na El. 289,00 m.

A partir daí desenvolveu-se um canal piloto de erosão com 10,00 m de largura por 775,00 m de comprimento, até atingir o leito do rio.

O trecho de canal erodível é um recurso de planejamento técnico utilizado para baixar o custo da Alternativa "A" - considerando a natureza do capeamento de solo sobre a rocha, o qual é constituído por colúvio, solo residual e aluvião em seu trecho final. Admitiu-se o carreamento do material pelas próprias descargas do vertedouro, sem que haja sedimentação com formação de barras de assoreamento no leito do rio, prejudiciais ao funcionamento da casa de força.

A barragem principal está apresentada no desenho RIL-04-015, Anexo 22. Tem eixo retilíneo e altura máxima de 64,00 m. Sua seção típica está apresentada no desenho RIL-04-017, Anexo 24. Seu núcleo é composto por solo impermeável proveniente de áreas de empréstimo próximas (ME-5 e MD-9). A aba de jusante é composta por duas partes, sendo a mais próxima do núcleo composta pelos solos compactados provenientes das escavações obrigatórias e a parte externa composta pelo enrocamento de rocha alterada proveniente das escavações obrigatórias. A montante, a aba é de enrocamento de rocha sã com uma transição em rocha alterada. Os taludes têm inclinação de 1,0V:2,5H.

Na calha do rio Tocantins, as enseadeiras são incorporadas à barragem, com vista na El. 299,00 m (montante) e El. 289,00 m (jusante).

A espessura média de escavação na fundação é da ordem de 7,00 m. O prolongamento tem seção simplificada, sendo uma barragem de terra - de eixo retilíneo com altura máxima 12,00 m - composta por dois tipos de solos, do filtro vertical para montante, aterro argiloso compactado proveniente da área de empréstimo MD-9. Do filtro para jusante, é composta por aterros compactados provenientes das escavações obrigatórias. Com proteção superficial, tanto a montante como a jusante foram colocadas camadas de transição (rocha alterada) e de enrocamento.

O talude de montante terá inclinação 1,0V:3,0H e de jusante 1,0V:2,5H.

A seção típica da barragem secundária está figurada no desenho RIL-04-017, Anexo 24. A barragem secundária - de eixo curvilíneo e altura máxima 39,00 m - é zoneada sendo o núcleo composto por solos argilosos provenientes das áreas de empréstimo ME-5 e ME-11. A montante, após uma transição espessa de rocha alterada, foi colocada a aba de enrocamento de rocha sã. A jusante, o aterro é todo composto de solo compactado proveniente das escavações obrigatórias, com proteção superficial de camadas de transição e enrocamento.

Os taludes têm inclinação 1,0V:2,5H. A espessura média da escavação na fundação é da ordem de 2,00 m.

4.2.3 Alternativa "B" - Túnel para Desvio Reduzido na Ombreira Esquerda da Barragem Principal - Usina Geradora e Vertedouro no Lado Direito da Barragem Secundária

Nesta alternativa as estruturas do vertedouro e da usina geradora foram implantadas no lado direito da barragem secundária que se localiza no talvegue de jusante na margem esquerda, sendo projetado um canal único de aproximação ao vertedouro e adução à tomada d'água. O arranjo está mostrado nos Anexos 25, 26 e 27, desenhos RIL-04-020, 021 e 022.

Os canais de adução e aproximação ficam resumidos a um canal único que apresenta, em planta, uma curvatura suave, ao longo de cerca de 600,00 m de comprimento e largura de aproximadamente 200,00 m. O fundo do canal apresenta-se na El. 306,00 m até junto às estruturas.

A tomada d'água, casa de força e canal de fuga estão dispostos de modo a se obter o menor volume de obras civis e manter as mesmas condições de operação das máquinas da Alternativa "A".

O desvio do rio mantém-se como o da Alternativa "A", já descrito.

O conjunto estrutural do vertedouro é idêntico ao descrito para a Alternativa "A".

O canal de restituição apresenta em planta um eixo retilíneo de aproximadamente 920,00 m de comprimento e 116,00 m de largura constante ao longo de todo ele. Imediatamente a jusante da calha do vertedouro o canal apresenta um trecho de 20,00 m de comprimento por 130,00 m de largura na El. 294,00 m, seguindo por um trecho em declive de 20,00 m até atingir a El. 289,00 m, permanecendo ao longo de 110,00 m. A partir daí a elevação desce para a cota 280,00 m até atingir o leito do rio, com um comprimento de 770,00 m.

Para dimensionamento do canal de fuga, foi adotada a velocidade máxima de 5,00 m/s para o deslocamento do fluxo durante o funcionamento do vertedouro.

A Alternativa "B" tem a barragem de terra idêntica a da Alternativa "A".

4.2.4 Alternativa "C" - Barragem Principal com Usina Geradora e Vertedouro na Margem Direita com Adução para Desvio Reduzido

Nesta alternativa as estruturas do vertedouro e da usina geradora foram implantadas na margem direita do rio Tocantins, sendo projetado um canal único de aproximação e adução à tomada d'água, conforme mostrado nos Anexos 28 e 29, desenhos RIL-04-025 e 026.

A estrutura do vertedouro forma um conjunto não alinhado com as estruturas da tomada d'água e casa de força. Os canais de aproximação do vertedouro e adução da tomada d'água ficam resumidos a um único canal possuindo fundo em duas elevações distintas.

O canal de aproximação se estende ao longo de, aproximadamente, 550,00 m, desde o leito do rio até o encontro com as estruturas. O canal, com largura de cerca de 115,00 m, mantém o fundo escavado na El. 295,00 m em toda sua extensão, sendo que os taludes de escavação previstos para a ombreira direita são de 1V:0,25H em rocha sã, 1V:1H em rocha alterada e 1V:2H em solo.

A estrutura do vertedouro é composta de sete blocos de concreto deixando seis vãos livres controlados por comportas de 15,00 x 19,00 m, com capacidade de 17.761 m³/s no N.A. Máx. Normal 333,00 m, e possuindo 2 adufas sob um dos blocos rebaiados até a El. 280,00 m de 5,00 x 7,00 m para passagem da vazão de 1.200 m³/s prevista para o desvio do rio. Os vãos das comportas são separados por pilares de 3,00 m de largura. Essa alternativa é uma das opções para adaptação do projeto para o caso de alteração da programação por falta de recursos financeiros, quando se teria que adotar o desvio pleno.

O perfil do vertedouro é constituído de uma soleira alta com paramento vertical e aproximação com fundo localizado na El. 295,00 m, 19 metros abaixo da crista, situada na El. 314,00 m. O valor do coeficiente de vazão $C = 2,10$ foi determinado em função das características do escoamento e da geometria da aproximação e do vertedouro.

Sobre a crista e após a sua passagem pelo paramento de jusante, o escoamento entra numa curva de transição circular que faz concordância com a laje de fundo de uma bacia de dissipação.

O ressalto da lâmina d'água é contido por muros laterais que se elevam até a El. 308,00 m e sobre os quais se apoia uma ponte provisória prevista para içamento dos stoplogs que serão utilizados para contenção do nível de jusante durante o fechamento das adufas do desvio.

O conjunto estrutural do vertedouro perfaz um total de 111,00 m de largura por 153,00 m de comprimento.

O canal de restituição tem eixo retilíneo e é isolado do canal de fuga em quase toda a extensão, exceto nos 100,00 m próximos ao leito do rio, onde os dois canais se encontram. O canal possui fundo na El. 285,00 m, tendo cerca de 100,00 m de largura por 300,00 m de comprimento até o encontro com o rio.

O dimensionamento dos canais foi efetuado com vistas a manter o escoamento subcrítico e velocidade máxima de 7,00 m/s para uma recorrência de 10.000 anos.

A estrutura da tomada d'água, condutos forçados e casa de força são idênticas às demais alternativas já descritas.

A alternativa "C" tem 2 estruturas principais de terra:

- Barragem principal;
- Dique na sela topográfica.

A barragem principal de eixo composto por duas retas de direções diferentes que convergem para as estruturas de concreto na margem direita, tem sua seção semelhante à da Alternativa "A", a menos de dois fatos relevantes devidos à relativa escassez de rocha sã e alterada proveniente das escavações obrigatórias.

A quantidade de rocha sã disponível das escavações é insuficiente para o enrocamento. Devido a este fato, foi suposto que uma pedreira seria aberta, fornecendo a complementação necessária de volume de rocha sã (cerca de 440.000 m³).

A quantidade de rocha alterada disponível era ligeiramente inferior à necessária, caso se mantivesse a seção padrão da alternativa "A". Duas medidas foram tomadas: a primeira consistiu em substituir o enrocamento de rocha alterada a montante, abaixo da El. 297,00 m por solo compactado. A segunda foi suavizar o talude da interface solo-rocha alterada de jusante que era 1,00V:1,5H e passou para 1,0V:2,0H.

Os taludes permaneceram com as mesmas inclinações da Alternativa "A" a saber 1,0V:2,5H.

Na calha do rio Tocantins, as ensecadeiras incorporadas têm vista na El. 297,00 m (montante) e El. 290,00 m (jusante).

O prolongamento da barragem principal é idêntico ao da Alternativa "A".

Quanto ao dique da sela topográfica, foi mantida a solução da fase de inventário, por não ter havido nenhuma informação adicional, seja geológica ou topográfica. O dique tem eixo retilíneo e altura máxima de 23,00 m, tem seu núcleo e o espaldar de montante compostos por solos argilosos da área de empréstimo próxima ME-4. O espaldar de jusante é constituído pelos solos siltosos da mesma área de empréstimo. Tanto a montante como a jusante, a proteção superficial dos taludes é feita por uma camada de enrocamento sobreposta a uma transição.

Os taludes têm inclinação 1,0V:3,0H (montante) e 1,0V:2,5H (jusante).

As características principais dos arranjos gerais com barragem de terra zoneada são as que se seguem:

	ALTERNATIVAS A E E	ALTERNATIVA C
	Em Serra da Mesa	Em Serra da Mesa
Condições de regularização		
Áreas de drenagem da bacia	57.777 km ²	57.777 km ²
Descarga média de longo período (JAN31/DEZ80)	820 m ³ /s	820 m ³ /s
Deflúvio médio anual	25,9 x 10 ⁹ m ³	25,9 x 10 ⁹ m ³
N.A. Máx. Normal	333,00 m.s.n.m.	333,00 m.s.n.m.
N.A. Médio	333,00 m	333,00 m
N.A. Mínimo	330,00 m	330,00 m
N.A. Máx. a jusante	307,00 m	307,00 m
N.A. Normal a jusante	287,00 m	287,00 m
Área inundada no N.A. Máx. Normal	138,7 km ²	138,7 km ²
Volume total do N.A. Máx. Normal	2,3 x 10 ⁹ m ³	2,3 x 10 ⁹ m ³
Queda bruta máxima	46,0 m	46,0 m
Potência instalada	480 MW	480 MW
● Desvio do Rio		
- Número de túneis	01	-
- Número de adufas	-	2
- Altura x largura do túnel	12,00 m x 11,00 m	-
- Altura x largura da adufa	-	5,00 m x 7,00 m
- Comprimento do túnel	315,00 m	-
- Comprimento da adufa	-	46,00 m
● Barragem Principal		
- Tipo	zoneada: terra e enrocamento	zoneada: terra e enrocamento
- Elevação da crista	336,00 m	336,00 m
- Comprimento	1.620,00 m	1.150,00 m
- Altura máxima estimada	64	56
- Taludes - montante	1,0V:2,5H	-
- - jusante	1,0V:2,5H	-

● Barragem Secundária

- Tipo
- Elevação da crista
- Comprimento
- Altura máxima estimada
- Taludes - montante
- jusante

● Dique

- Tipo
- Elevação da crista
- Comprimento
- Altura máxima estimada
- Taludes - montante
- jusante

● Vertedouro

- Tipo
- Número de comportas
- Comportas de segmento
 - altura
 - largura
- Largura da estrutura
- Comprimento da calha revestida

● Tomada d'água

- Tipo
- Número de tomadas
- Número de comportas-vagão
- Dimensões da comporta
 - altura
 - largura

	ALTERNATIVAS A E B	ALTERNATIVA C
	Terra	-
	336,00 m	-
	1.600,00 m	-
	36	-
	1,0V:2,5H	-
	1,0V:2,5H	-
	-	Terra
	-	336,00 m
	-	850,00 m
	-	23
	-	1,0V:3,0H
	-	1,0V:2,5H
	Superf. c/calha e trampolim	Superf. c/calha e trampolim
	06	06
	17,00 m	17,00 m
	15,00 m	15,00 m
	111,00 m	111,00 m
	200,00 m	100,00 m
	gravidade aliviada	gravidade aliviada
	04	04
	04	04
	20,00 m	20,00 m
	15,00 m	15,00 m

	ALTERNATIVAS A E B	ALTERNATIVA C
- Largura da estrutura	100,00 m	100,00 m
● Condutos Forçados		
- Tipo	metálico	metálico
- Diâmetro	10,00 m	10,00 m
- Comprimento	30,00 m	30,00 m
- Número de condutos	04	04
● Casa de Força		
- Tipo	abrigada	abrigada
- Turbinas	Francis	Francis
- Potência instalada	4 x 120 MW	4 x 120 MW
- Largura da estrutura	100,00 m	100,00 m

4.3 Alternativa em Barragem de Concreto Compactado Rico em Pasta

4.3.1 Conceituações Fundamentais

Paralelamente à execução das grandes obras de engenharia de barragens, têm sido desenvolvidos estudos, pesquisas e mesmo a observação de tecnologias e técnicas aplicadas a outras obras similares ou não, objetivando encontrar soluções construtivas e de emprego de materiais de construção mais eficazes e aprimorados, que apresentem progressos técnicos na execução desses empreendimentos, traduzidos em ganhos econômicos, simplificações construtivas e redução de prazos de execução.

O conceito do concreto compactado aplicado à construção de barragens desenvolveu-se mais nítida e decisivamente na década de 70, principalmente nos Estados Unidos, associando a técnica de construção de estradas de rodagem à técnica de construção de barragens de terra, aliados a estudos de tecnologia de concreto. Esta tecnologia viabiliza a construção de barragens de concreto, utilizando equipamentos de terraplenagem usados na construção de barragens de terra e equipamentos convencionais usados na construção de estradas. A nova técnica denominou-se nos Estados Unidos "Roller Compacted Concrete", "Rollcrete" ou simplesmente "RCC", o que no Brasil convencionou-se chamar de "Concreto Compactado a Rolo".

Atualmente existem no mundo três tecnologias distintas de aplicação do concreto compactado em barragens:

- Concreto compactado magro - "lean roller compacted concrete" (RCC);
- Concreto compactado rico em pasta - "high paste content roller compacted concrete" (RCC);
- Método japonês para barragens em concreto compactado - "roller compacted dam method" (RCD).

A aplicação do concreto compactado a barragens, apresenta-se no mundo, atualmente, como uma nova tecnologia em desenvolvimento, na qual o processo de aquisição de experiência, em contínuo andamento está apresentando rápidos progressos.

A alternativa do concreto compactado, aplicado na construção de barragens, é de prática incipiente no Brasil, devido a se tratar de uma técnica de experiência recente e não convencional, comparativamente àquelas utilizadas nas barragens brasileiras construídas ou em construção. Entretanto, devido à evolução marcante que este método está obtendo em outros países, a inclusão de alternativa de barragem em concreto compactado nos estudos de viabilidade de barragens no Brasil, começa a se tornar cada vez mais importante, sempre que essa solução possa ser colocada competitivamente em cotejo com outras opções. Este foi o caso de Cana-Brava, onde um conjunto de fatores fisiográficos e geomorfológicos favorecem esta competitividade.

Para Cana-Brava foi idealizada, a exemplo da barragem de Upper Stillwater concluída em 1987, a solução em concreto compactado rico em pasta, em que o concreto do núcleo da barragem com alto teor de pasta é projetado e construído para ser impermeável, ao contrário dos demais tipos de concreto compactado magro, em que a impermeabilização é obtida por membrana ou cortina impermeável ou por faixa de concreto convencional colocado na face de montante da barragem.

A barragem de concreto compactado rico em pasta, apresenta as seguintes características genéricas:

- Concreto compactado a rolo do interior da barragem, considerado como um núcleo impermeável;
- Não é usado concreto de ligação entre camadas;

- Não há tratamento de camadas a não ser por uma paralização no lançamento;
- Espessura da camada de 30 cm com a execução em média de uma camada na barragem por dia;
- Teor de cimentícios maior do que 200 kg/m^3 com 75% de pózolana (247 kg/m^3 no caso de Upper Stillwater, sendo 75% cinza volante);
- Permeabilidade de 10^{-9} a 10^{-13} m/s ;
- Uso de elementos de face para permitir um bom acabamento, um recobrimento durável e exclusão de formas.
- Melhoria das propriedades do concreto permitindo um volume menor de barragem (no caso de Upper Stillwater o talude de jusante é 1V:0,6H).

Como a tecnologia do concreto compactado requer proporcionalmente um volume consideravelmente maior de pózolana ou cinza volante e como a pózolana natural é inexistente e a cinza volante (fly-ash) disponível em Santa Catarina e Rio Grande do Sul chegaria ao local da obra por preço muito superior ao do cimento, foi necessário pesquisar-se fontes de suprimento substitutivas desses materiais que apresentassem preços condizentes. O material substitutivo investigado foi a escória de alto forno.

Em adendo, no final desse relatório, são apresentados os estudos realizados com escória de alto forno para emprego no concreto.

Por outro lado, tendo em vista a necessidade da intensidade consideravelmente elevada de consumo de agregado graúdo e de areia, devido a rapidez da construção e portanto de produção de concreto, foram estudadas cuidadosamente: as instalações da obra e a planta industrial necessária; transporte até a obra e moagem da escória granulada, jazidas de areia no leito do rio Tocantins e pedreiras.

Foram igualmente objeto de pesquisas, máquinas extrusoras de elementos de face para execução da face da barragem, e os equipamentos leves para as operações de lançamento, nivelamento e compactação.

4.3.2 Aspectos Técnico-Econômicos

O interesse que o concreto compactado a rolo, rico em pasta, desperta para a construção da barragem de Cana-Brava deriva-se da obtenção e realização dos seguintes aspectos vantajosos:

- Construção rápida que poderá ajudar os prazos apertados existentes para o alcance das datas críticas do cronograma de obras;
- Associação de estruturas hidráulicas principais ao corpo da barragem, tais como vertedouro e adução de geração, conforme já descrito.

4.3.3 Canteiro de Obras

O desenho RIL-04-053, Anexo 46, mostra um arranjo de canteiro de obras para produção de concreto, compreendendo principalmente instalações de britagem, instalações de peneiramento, pilhas de estoque de agregados graúdos e de areia, silos de estoque de cimentícios, controle de concreto e correias transportadoras.

4.3.4 Arranjo Geral - Alternativa de Concreto Compactado Rico em Pasta

Os desenhos RIL-04-030 e RIL-04-031, Anexos 30 e 31, mostram o arranjo geral de projeto para a alternativa de barragem de concreto compactado a rolo, rico em pasta.

A característica marcante do arranjo geral é a associação de funções de estruturas hidráulicas no corpo da barragem como se descreve a seguir.

O eixo da barragem de concreto tem o mesmo desenvolvimento retilíneo do eixo da barragem de terra zoneada, dispondo de um trecho em barragem de terra para preencher a sela topográfica da margem direita e para fechamento da trincheira de vedação na ombreira direita. Por outro lado, o alinhamento retilíneo é um requisito importante à obtenção de rendimento maior nas operações de lançamento, nivelamento e compactação de concreto.

As estruturas principais estão associadas no próprio corpo da barragem a não ser a tomada d'água que está justaposta a este corpo e condutos forçados e adufas de desvio que estão localizados em trincheira na fundação.

Os requisitos de fundação da barragem de concreto são bem mais exigentes do que os requeridos para a barragem de terra, entretanto, em função da área reduzida de fundação, embora a profundidades maiores, os volumes escavados resultam menores.

Como para alternativa de barragem de terra, os níveis de fundação para a barragem de concreto compactado, resultaram de interpretação sobre os testemunhos de sondagem no campo e de interpretação geotécnica de "logs" de furos de sondagem, sobre perfil longitudinal e sobre seções transversais espaçadas a cada 40,00 m.

O vertedouro está locado sobre o corpo da barragem, sendo ao pé do mesmo associado um trampolim de lançamento, com descarga livre no leito do rio.

O rio é desviado através de adufas independentes dos condutos forçados e estão como nesses últimos embutidos em trincheiras escavadas sob a fundação da barragem na margem direita. Para a construção do desvio, em uma primeira fase de execução da obra, será construída uma ensecadeira lateral na margem direita, para garantia do N.A. Máx. na El. 290,00 m correspondente à descarga com o período de retorno médio de 25 anos.

Na área da margem direita ensecada, será construída a estrutura de controle, justaposta ao paramento de montante da barragem, que após cumprir a função de desvio do rio, será sobrelevada até ao nível da crista da barragem para atuar como tomada d'água para as descargas turbinadas.

Na primeira fase de desvio do rio, será também escavado como necessário, um primeiro estágio da casa de força que se situa imediatamente a jusante da barragem na margem direita.

A casa de força será completada após o fechamento do desvio com a barragem concluída e o vertedouro em condições de operação.

As características principais do arranjo geral com barragem de concreto compactado, são as que se seguem:

Condições de regularização	próprias
Áreas de drenagem da bacia	57.777 km ²
Descarga média de longo período (OUT49/DEZ84)	820 m ³ /s
Deflúvio médio anual	25,9 x 10 ⁹ m ³
N.A. Máximo Normal	333,00 m
N.A. Médio	333,00 m
N.A. Mínimo	330,00 m
N.A. Máximo a jusante	307,00 m
N.A. Normal a jusante	287,00 m
Área inundada no N.A. Máximo Normal	138,7 km ²
Volume total do N.A. Máximo Normal	2,3 x 10 ⁹ m ³
Queda bruta máxima	46,00 m
Potência instalada	480 MW
● Desvio do Rio	
- Tipo	adufa
- Número de adufas	2
- Diâmetro das adufas	10,00 m
- Comprimentos das adufas	55,00 m

● Barragem

- Tipo	concreto compactado rico em pasta	
- Elevação da crista		336,00 m
- Comprimento		1.050,00 m
- Altura		60,00 m
- Taludes - jusante		1,0V:0,75H
- montante		vertical
- Volumes de concreto compactado - núcleo (inclusive vertedouro)		713.030 m ³
- face		61.100 m ³

● Vertedouro no Corpo da Barragem

- Tipo	superfície c/calha e trampolim	
- Número de comportas		6
- Comportas de segmento - altura		19,00 m
- largura		15,00 m
- Largura da estrutura		111,00 m
- Comprimento da calha		55,00 m
- Volumes de concreto - convencional		53.000 m ³
- compactado (incluído no item barragem)		

● Tomada d'Água

- Tipo	gravidade aliviada	
- Número de tomadas		4
- Número de comportas-vagão		4
- Dimensões da comporta - altura		11,00 m
- largura		10,00 m
- Largura da estrutura		100,00 m
- Volume de concreto convencional		102.130 m ³

● Condutos Forçados

- Tipo	metálico envolvido em concreto	
- Diâmetro		9,50 m
- Comprimento		50,00 m
- Número de condutos		4

- Casa de Força
- Tipo abrigada
- Número de unidades 4
- Turbinas Francis
- Potência instalada 480 MW

4.3.5 Composição de Custo

Foram elaborados estudos de custos objetivando a barragem de concreto compactado a rolo. Nesses estudos foi considerado o que segue:

- Custo de exploração de pedreira, incluindo: decapagem, escavação a fogo e transporte até a obra;
- Custos de britagem, incluindo: britagem primária e secundária, peneiramento, estocagem e manuseio;
- Custos de exploração de areia no leito do rio Tocantins incluindo: dragagem, transporte até a obra, estocagem e manuseio;
- Custos de preparo do concreto na central e transporte em esteira rolante até a carga de caminhões na barragem;
- Custos de transporte, lançamento, nivelamento e compactação do concreto de núcleo de barragem;
- Custos de transporte e execução "in situ" do concreto dos elementos de face da barragem;
- Custos de cimentícios:
 - cimento incluindo transporte, ensilagem e manuseio;
 - escória de alto forno, incluindo transporte rodoferroviário da escória granulada até a obra, moagem em moinho de bola, ensilagem e manuseio.

Na execução do concreto de núcleo foi considerada uma frota base em operação como se segue:

- 4 caminhões tipo TEREX R22 modificados para nivelamento das camadas junto com a operação de lançamento;
- 1 trator tipo CATD4 equipado com "laser" para controle de nivelamento e alinhamento;
- 3 rolos vibratórios tipo BOMAG de 12 t;
- 1 escovadeira mecânica de estrada;

- 1 caminhão de vácuo aspiração;
- 1 caminhão tanque.

Na execução do concreto de elementos de face da barragem foi considerada a seguinte frota básica em operação.

- 4 caminhões
- 1 máquina extrusora de elementos de face equipada com "laser" para controle de alinhamento - "offset slipform paver".

Determinaram-se os seguintes custos unitários (base junho de 1987):

- Cimentícios
 - Custo do Cimento - US\$ 126.24/t
 - Custo da Escória - US\$ 127.62/t
- Preço do concreto da barragem colocado: foi estimado para concreto compactado de núcleo em US\$ 73,61 e para concreto de elementos de face em US\$ 116,82.

Os custos unitários acima resultaram da formação de custo total incluindo planta industrial para processamento de agregados, central de concreto, equipamentos, cimentícios e mão-de-obra, dividido pelo volume total de concreto não convencional da barragem.

4.3.6 Aspectos Tecnológicos Específicos do Concreto Compactado a Rolo, Rico em Pasta, para Cana-Brava

- Geral

Devido à exigüidade do tempo utilizável na viabilidade não permitir a execução do programa, está disponível apenas uma pequena quantidade dos ensaios previstos, executados até o presente. Esses poucos resultados são analisados nos itens seguintes, sendo suficientes para demonstrar a tendência de obtenção de excelentes resultados no emprego de escória de alto forno, para a execução de concreto compactado a rolo, rico em pasta.

Os resultados dos ensaios disponíveis permitem também recomendar no presente, algumas atividades a serem executadas em estudos posteriores.

- Pesquisa de Materiais

- Agregado Miúdo

A areia natural pesquisada e obtida do leito do rio Tocantins deverá atender às necessidades de projeto, tanto qualitativa quanto quantitativamente.

- Agregado Graúdo.

Tanto o gnaïsse da margem esquerda, como o gabro da margem direita podem ser utilizados como agregado graúdo para concreto. Embora não tenha sido possível durante a viabilidade uma simulação de escavações diretamente nas pedreiras, estima-se que o rendimento em rocha para britagem, separada da parcela de finos, seja adequada. Sem computar as perdas em finos, que não foram medidas em ensaios de escavação e de britagem, amostras submetidas a abrasão Los Angeles mostraram satisfatórias ao seu emprego como agregado para concreto.

- Aglomerantes

Pode-se afirmar que a escolha da escória granulada de alto forno para Cana-Brava como pozolana, para os estudos de concreto compactado a rolo, seria um marco significativo na tecnologia de barragens no Brasil. Afora seu aspecto econômico promissor e do emprego em construção rápida no concreto compactado a rolo, deverá ser explorado convenientemente na busca de soluções inéditas em nosso país.

As pesquisas com a escória granulada de alto forno, deverão ser incrementadas para a obtenção de respostas às inúmeras indagações que os estudos preliminares aqui apresentados levantaram.

5. SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL

5.1 Geral

Em itens anteriores do presente capítulo, foram apresentadas as características principais das alternativas de arranjo geral com barragem de terra e concreto compactado a rolo, rico em pasta. Nos itens que se seguem deste capítulo, é feita uma avaliação técnica e econômica das alternativas de arranjo e definida a disposição geral do projeto, que será mostrado em nível de detalhamento de viabilidade no Capítulo 11 - Disposição Geral do Projeto Selecionado.

5.2 Estimativas de Quantidades e Custos

No Quadro 14.1 - Fls. 1 a 18 e Quadro 14.2 - Fls. 1 a 17 do Capítulo 14 - Estimativas de Custos, estão figurados os quantitativos de serviço com custos unitários e globais para as alternativas estudadas de barragem de enrocamento e barragem de concreto compactado a rolo, respectivamente. O Quadro 9.1, Fls. 1 e 2 apresenta o resumo dos orçamentos dos itens diferenciais das alternativas estudadas que forneceram subsídios para a escolha da alternativa "A" como a alternativa selecionada. No Quadro 9.2, está figurado um resumo dos orçamentos globais das alternativas de aproveitamento estudadas.

5.3 Seleção do Arranjo Geral

Conforme foi descrito em itens anteriores do presente capítulo, apesar das vantagens aparentes obtidas, favoráveis à barragem de concreto compactado a rolo, rico em pasta, persistiu uma certa apreensão em relação à adoção, para os estudos finais de viabilidade, dessa nova idéia. Esta apreensão poderia eventualmente ser vencida, devendo neste sentido, aproveitar-se os resultados já obtidos e os programas de pesquisas estabelecidos e em andamento, para os quais o tempo disponível na fase de viabilidade mostrou-se exíguo, recomendando-se o prosseguimento em etapas posteriores, tendo em vista que:

- Os dados iniciais de resistência à compressão com uma dosagem de apenas 40 kg de cimento e 212 kg de escória de alto forno, mostram ser possível a redução da percentagem de escória, ou da quantidade total de material cimentício, pois na idade de 28 dias, atingiu-se o valor de 17,7 MPa, valor já conservador para concreto de barragem de gravidade;
- A execução de uma pista experimental bem detalhada subsidiaria o projeto com informações precisas sobre parâmetros de projeto, equipamentos e materiais de construção;
- A oportunidade de se iniciar projetos e construções de barragens de concreto compactado a rolo, rico em pasta, para aproveitamento hidroelétrico, será um marco significativo para a tecnologia nacional.
- Os prazos para a construção de Cana-Brava com desvio reduzido aproveitando-se o tempo de enchimento do reservatório de Serra da Mesa, poderiam encontrar nesta solução uma confiabilidade mais confortável de velocidade de construção, em relação aos riscos envolvidos;
- Viabilização de escória de alto forno granulado como aglutinante pozolânico em substituição ao fly-ash a preços competitivos;



FOLHA : 1/2

QUADRO 9.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CIMA-BAVA - ESTIMATIVA DE CUSTOS DOS ITENS DIFERENCIAIS
BARRAGEM ELEVAÇÃO 336 - N. A. ELEVAÇÃO 333

ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDOURO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO COM CASA DE FORÇA E VERTEDOURO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DESCRICAO	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C		ALTERNATIVA D	
	P. UNIT. (CZ\$)	QUANTIDADE (P. TOT. x 10 ³) (CZ\$)	P. UNIT. (CZ\$)	QUANTIDADE (P. TOT. x 10 ³) (CZ\$)	P. UNIT. (CZ\$)	QUANTIDADE (P. TOT. x 10 ³) (CZ\$)	P. UNIT. (CZ\$)	QUANTIDADE (P. TOT. x 10 ³) (CZ\$)
1. ESCAVACAO COMUM	94.00	5,668,060	532,798	7,481,950	94.00	3,794,290	94.00	1,719,860
2. ESCAVACAO EM ROCHA ALTERADA	308.00	2,390,760	736,354	2,369,680	308.00	638,650	308.00	649,680
3. ESCAVACAO EM ROCHA SA (a céu aberto)	570.00	2,504,200	1,427,394	2,507,620	570.00	534,380	570.00	810,690
4. ESCAVACAO SUBTERRANEA	1,153.00	44,130	50,882	44,130	1,153.00	--	--	--
5. CONCRETOS			2,747,428			857,964		823,862
5.1 TOMADA D'AGUA E CONDUITO FORCADO (concreto armado)		103,300	824,927	103,300		122,500		102,130
5.2 CASA DE FORÇA (concreto armado)		111,450	1,106,272	111,450		111,450		111,450
5.3 VERTEDOURO (concreto armado)		107,500	899,113	107,500		229,150		53,000
5.4 DESVIO DO RIO		8,900	70,415	8,900		--		51,000
6. BARRAGENS DE CONCRETO								
6.1 CONCRETO MASSA CONVENCIONAL						197,790		--
6.2 CONCRETO COMPACTADO						--		774,130
7. CONDUITO FORCADO			2,900,726					5,044,762
8. BARRAGENS			103,740			103,740		103,740
8.1 PRINCIPAL								
• solo direto de escavacao	25.00	501,000	12,525	501,000	91.00	159,000	25.00	97,400
• solo de pilha de estoque	168.00	840,000	141,120	840,000	168.00	1,577,000	168.00	2,435
• solo de emprestio	253.00	897,000	226,941	897,000	253.00	577,000	253.00	938
• enrocamento de rocha sa direto de escavacao	51.00	404,000	20,604	404,000	51.00	179,000	51.00	18,400
• enrocamento de rocha sa de pilha de estoque	197.00	998,000	196,606	998,000	197.00	474,000	197.00	51,000
• enrocamento de rocha sa proveniente de pedreira	41.00	292,000	11,972	292,000	41.00	439,000	41.00	9,200
• enrocamento de rocha alterada de escavacao	180.00	910,000	163,800	910,000	180.00	96,000	180.00	2,000
• enrocamento de rocha alterada de pilha de estoque	41.00	79,000	3,239	79,000	41.00	350,000	41.00	9,000
• transicosos direto de escavacoes	295.00	181,000	53,595	181,000	295.00	141,000	295.00	2,000
• transicosos de pilha de estoque	594.00	45,000	26,730	45,000	594.00	35,000	594.00	9,000
• filtro vertical	585.00	219,000	128,115	219,000	585.00	171,000	585.00	9,000
• tapete drenante			985,047					10,204
TOTAL								



FOLHA : 2/2

QUADRO 9.1
RELATÓRIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANGA-BARUA - ESTIMATIVA DE CUSTOS DOS ITENS DIFERENCIAIS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333

ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDOURO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO COM CASA DE FORÇA E VERTEDOURO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DESCRICAO	ALTERNATIVA A			ALTERNATIVA B			ALTERNATIVA C			ALTERNATIVA D		
	P. UNIT. (Cz\$)	QUANTIDADE (TOT. x 10 ³) (Cz\$)	IP. TOT. x 10 ³ (Cz\$)	P. UNIT. (Cz\$)	QUANTIDADE (TOT. x 10 ³) (Cz\$)	IP. TOT. x 10 ³ (Cz\$)	P. UNIT. (Cz\$)	QUANTIDADE (TOT. x 10 ³) (Cz\$)	IP. TOT. x 10 ³ (Cz\$)	P. UNIT. (Cz\$)	QUANTIDADE (TOT. x 10 ³) (Cz\$)	IP. TOT. x 10 ³ (Cz\$)
8.2 SECUNDARIA												
• solo direto de escavacao	25.00	847,000	21,175	25.00	847,000	21,175	253.00	492,000	124,476	253.00	492,000	124,476
• solo de empréstimo	253.00	202,000	51,106	253.00	202,000	51,106	1,170.00	44,200	51,714	1,170.00	44,200	51,714
• enrocamento de rocha sa direto de escavacao	51.00	479,000	24,429	51.00	479,000	24,429	1,170.00	22,000	25,740	1,170.00	22,000	25,740
• rip-rap							594.00	7,000	5,346	594.00	9,000	5,346
• transiçoes direto de escavacoes	41.00	404,000	16,564	41.00	404,000	16,564	585.00	53,000	31,005	585.00	53,000	31,005
• transiçoes de pedreira												
• filtro vertical (de jazidas)	594.00	25,000	14,950	594.00	25,000	14,950						
• tapete drenante (de jazidas)	585.00	151,000	88,335	585.00	151,000	88,335						
TOTAL			216,459			216,459			238,281			238,281
8.3 ENSECDEIRA DE ROCHA E TERRA NAO INCORPORADA												
• solo direto das escavacoes							25.00	87,500	2,188	25.00	137,300	3,433
• rocha e transiçoes direto das escavacoes							51.00	37,500	1,913	51.00	134,200	6,844
TOTAL												10,277
CUSTO DIRETO TOTAL			6,953,400			7,803,580			7,307,123			6,231,125
EVENTUAIS SOBRE CUSTO DIRETO TOTAL			695,340			780,358			730,712			623,112
SUB TOTAL			7,648,740			8,583,938			8,037,836			6,854,237
CUSTO INDIRETO			2,065,160			2,317,663			2,170,216			2,330,441
EVENTUAIS SOBRE CUSTO INDIRETO			309,774			347,649			325,532			349,566
CUSTO TOTAL SEM JUROS			10,023,673			11,249,251			10,533,583			9,534,244
JUROS DURANTE A CONSTRUCAO			2,405,682			2,699,820			2,528,040			1,906,849
CUSTO TOTAL			12,429,355			13,949,071			13,061,644			11,441,093
Indices Comparativos			1.0000			1.1223			1.0509			0.9205

DATA REFERENCIA JUN/87 - US\$ 1.00 = Cz\$ 39,50

11/2/87 - INTERREGIONAL DE ENGENHARIA S. A.

QUADRO 9-2

RELATÓRIO FINAL DE VIABILIDADE

USINA DE CANA-BRAVA - ESTIMATIVA DE CUSTOS DE SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS - QUADRO RESUMO
BARRAGEM ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333

ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDOURO

ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO

DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO COM CASA DE FORÇA E VERTEDOURO

DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I Ç Ã O	A L T E R N A T I V A S			
		A	B	C	D
	CUSTOS DIRETOS				
.10	TERRENOS E SERVIÇOS	1.157,141	1.157,141	1.157,141	1.157,141
.11	ESTRUTURAS E OUTRAS BENEFICIARIAS	1.784,667	1.714,834	1.637,689	1.543,056
.12.15	RESERVATORIO	84,230	84,230	84,230	84,230
.12.16	DESVIO DO RIO	479,880	479,880	38,166	521,258
.12.17	BARRAGENS E DIQUES				
.17.25	DE TERRA				
a	BARRAGEM PRINCIPAL	1.281,681	1.965,899	1.180,982	14,268
b	BARRAGEM SECUNDARIA	396,143	396,162	386,202	386,202
c	DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA				2.574,658
.12.17.26	BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO				
.17.27	VERTEDOUROS, CANAIS DE APROXIMACAO E RESTITUCAO				
.12.18	TRANSDUCES E Muros DE CONCRETO	1.939,680	2.483,763	1.210,995	791,393
.12.19.30	TOMADA D'AGUA	1.227,110	1.131,526	2.522,261	1.067,915
.12.19.31	CANAL DE ADOCAO	420,989		1.238,955	220,198
.12.19.34	CONDUITO FORCADO	103,740	103,740	103,740	103,740
.12.19.35	CANAL DE FUGA	780,645	886,686	325,382	332,197
.12.20	ENERGIA ELETRICA PARA CONCRETO	908,030	1.043,189	965,726	812,245
.12.27	EVENTUAIS DA CONTA 12 - CIVIL	58,916	57,923	57,921	61,211
.12.27	EVENTUAIS DA CONTA 12 - EQUIPAMENTOS	7.689,563	8.635,379	8.041,032	6.900,536
	TOTAL CONTA 12	5.051,050	5.051,050	5.051,050	5.051,050
.13	TURBINAS E GERADORES	469,923	469,923	469,923	469,923
.14	EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ACESSÓRIOS	63,403	63,403	63,403	63,403
.15	EQUIPAMENTOS DIVERSOS DA USINA	16,135,746	17,099,929	16,420,230	15,185,189
.18 ate .15	TOTAL CUSTOS DIRETOS	4.654,964	5.073,966	5.142,663	5.689,744
.17	CUSTOS INDIRETOS				
	CUSTO TOTAL SEM JUROS	21,020,710	22,164,836	21,562,961	20,794,853
	JUROS	5,044,970	5,319,561	5,175,096	4,158,971
	CUSTO TOTAL COM JUROS	26,065,680	27,484,397	26,737,997	24,953,824
	CUSTO TOTAL COM JUROS EM US\$	653,275	680,832	670,125	625,407
	Índices Comparativos	1,000	1,054	1,023	0,9573

VALORES EM MILHARES DE CRUZADOS - DATA REFERENCIAL JUN/87 - US\$ 1,00 = Cr\$ 39,50

- Redução significativa no volume de escavação requerido pelo aproveitamento com barragem de concreto, comparativamente com o aproveitamento com barragem de terra.

Do que foi exposto, tendo em vista o ineditismo no Brasil da solução do concreto compactado a rolo, rico em pasta, e conseqüente inexperiência em relação ao mesmo no meio técnico construtivo, e, por outro lado, considerando que os parâmetros de projeto precisariam de mais tempo para uma demonstração experimental, optou-se pela solução da alternativa "A" em barragem de terra, que se mostrou mais econômica dentre as alternativas estudadas para este tipo de barragem, e que atende com rigor as exigências técnicas e econômicas do Projeto Cana-Brava, estando configurada no Capítulo 11 - Disposição Geral do Projeto Selecionado.

CAPÍTULO 10

DEFINIÇÃO DA MOTORIZAÇÃO

ÍNDICE

	Página nº
1. INTRODUÇÃO	10.1
2. ESTUDO ENERGÉTICO	10.1
3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA	10.3
4. MOTORIZAÇÃO ÓTIMA PARA CANA-BRAVA	10.5
5. DEFINIÇÃO DA ALTURA DE QUEDA NOMINAL	10.6

10. DEFINIÇÃO DA MOTORIZAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar, de forma resumida, a conclusão dos estudos de motorização da Usina Cana-Brava. Um texto mais desenvolvido é apresentado no Volume IV do presente relatório de viabilidade.

No decurso do estudo de viabilidade da Usina Cana-Brava, FURNAS por orientação da ELETROBRÁS, passou a examinar a possibilidade de instalar na usina até quatro das oito unidades geradoras de 160 MW encomendadas pela CESP para a Usina Três Irmãos.

Os estudos iniciais desenvolvidos sobre o assunto concluíram pela compatibilidade das turbinas de Três Irmãos com o local de Cana-Brava, em termos de altura de queda.

Passou-se, então, a examinar, do ponto de vista energético, a influência da instalação de máquinas de grande porte, como as de Três Irmãos, em Cana-Brava.

De acordo com as condições do local, a potência unitária máxima instalável em Cana-Brava é de 120 MW, em 4 unidades. Maior número de unidades e/ou maior potência total, energética e operacionalmente, só se justificam reduzindo-se a potência de modo a preservar a compatibilidade entre as condições de despacho mínimo de Serra da Mesa e Cana-Brava, usinas que formam o aproveitamento hidroelétrico de São Félix.

Assim sendo, realizou-se uma análise energético-econômica através da qual quantificou-se o efeito restritivo das referidas unidades sobre a operação do reservatório de Serra da Mesa e, por via de consequência, sobre o conjunto de usinas a jusante do rio Tocantins.

2. ESTUDO ENERGÉTICO

A instalação das máquinas de Três Irmãos na Usina Cana-Brava, em função do porte das mesmas, afeta as condições de reenchimento do reservatório de Serra da Mesa.

Não existe no setor uma metodologia consensada para se quantificar esta influência uma vez que, usualmente, a motorização é definida somente após decididos os parâmetros físicos do reservatório.

Desta forma, considerou-se como critério a redução do volume útil do reservatório de Serra da Mesa, em função do acréscimo no valor de engolimento mínimo da Usina Cana-Brava, decorrente

da instalação das máquinas de Três Irmãos, de modo a se garantir o reenchimento daquele reservatório em três anos. Esta redução de volume foi avaliada de duas maneiras.

Na primeira, calculou-se de forma analítica, o volume acumulado em 36 meses através da diferença entre a vazão mínima turbinada em Cana-Brava motorizada com as máquinas de Três Irmãos (de 160 MW) e esta mesma vazão, considerando-se quatro unidades de 120 MW. Deste volume deve ser reduzido o volume útil de Serra da Mesa caso se queira preservar o reenchimento de seu reservatório em até 36 meses.

De um segundo modo, através da simulação de operação do reservatório de Serra da Mesa e utilizando o histórico mensal de vazões no período 1931-1980, determinou-se o limite máximo de volume útil em Serra da Mesa que com frequência de 95% seja capaz de atingir pelo menos 90% do volume útil em até 36 meses, considerando apenas os triênios com afluições iguais ou superiores a 90% da MLT.

O despacho mínimo de Cana-Brava, respeitando um esquema de operação apresentado no Volume IV e considerando-se a utilização das unidades de Três Irmãos, define uma vazão de 452 m³/s para a instalação de três máquinas e de 496 m³/s para quatro máquinas. Sendo o valor da afluição incremental entre Serra da Mesa e Cana-Brava 42 m³/s (valor médio em período crítico), obtém-se para vazão defluente mínima em Serra da Mesa, os valores de 410 m³/s e 454 m³/s conforme a utilização de três a quatro unidades em Cana-Brava.

Considerando-se estas vazões mínimas defluentes de Serra da Mesa e os dois critérios descritos acima, obtivemos os seguintes valores de redução do volume útil de Serra da Mesa, de modo a assegurar seu reenchimento em até três períodos hidrológicos:

REDUÇÃO DE VOLUME ÚTIL EM SERRA DA MESA - km ³		
	Motorização de Cana-Brava	
	3 x 160 MW	4 x 160 MW
Critério Analítico	6,7	10,9
Simulação	4,8	8,8

Estas hipóteses configuram duas situações básicas, as quais chamou-se de critério rigoroso àquele que conduz a uma maior redução de volume útil em Serra da Mesa (analítico) e critério otimista ao que leva a uma menor redução (simulação).

Estudos de simulação da operação do sistema indicaram as perdas energéticas na cascata de usinas do rio Tocantins, abaixo discriminadas, caso se imponha uma redução no volume útil de Serra da Mesa.

PERDAS DE ENERGIA FIRME - MW-MÉDIO		
CRITÉRIO	UNIDADES DE TRÊS IRMÃOS	
	TRÊS	QUATRO
Rigoroso	97	115
Otimista	24	72

3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Considerando os custos de referência da expansão do sistema e a programação de obras oriundas dos estudos do Plano 2010, valorizou-se e distribuiu-se temporalmente as perdas energéticas, obtendo-se os seguintes valores atualizados para 1987.

VALOR DAS PERDAS ENERGÉTICAS - 10 ⁶ US\$		
	UNIDADES DE TRÊS IRMÃOS	
	TRÊS	QUATRO
Critério Rigoroso	102,3	168,1
Critério Otimista	34,9	141,9

Atualizando-se monetariamente para condições de preços e custos de junho de 1986 a estimativa preparada pela IESA - Internacional de Engenharia S.A., o custo de unidades geradoras de 160 MW tais como as especificadas para Três Irmãos é de US\$ 100,9 milhões e de US\$ 134,5 milhões relativos a três e quatro unidades, respectivamente.

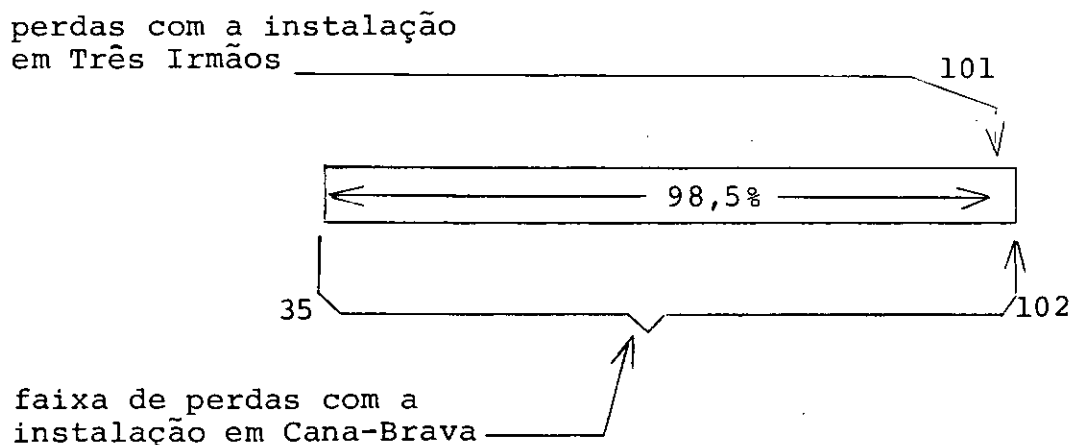
Sabendo-se que a instalação das unidades em questão na Usina Três Irmãos traria somente benefícios de ponta para o Sistema, cujo valor é estimado atualmente como zero, pode-se dizer que a alocação destas máquinas nesta usina, ou seja, o não

aproveitamento delas em qualquer outra usina significará uma perda econômica para o país. O valor desta perda pode ser considerado como igual ao custo de investimento das unidades geradoras.

Verifica-se, então, que a instalação de três unidades geradoras, em questão, na própria Usina Três Irmãos ocasiona uma perda econômica para o país que se situa praticamente no extremo superior da faixa de perdas (correspondente ao critério mais rigoroso) que ocorreriam, caso estas máquinas fossem instaladas na Usina Cana-Brava.

A Figura abaixo ilustra o mencionado acima:

UTILIZAÇÃO DE TRÊS UNIDADES DE TRÊS IRMÃOS
VALORES EM 10^6 US\$



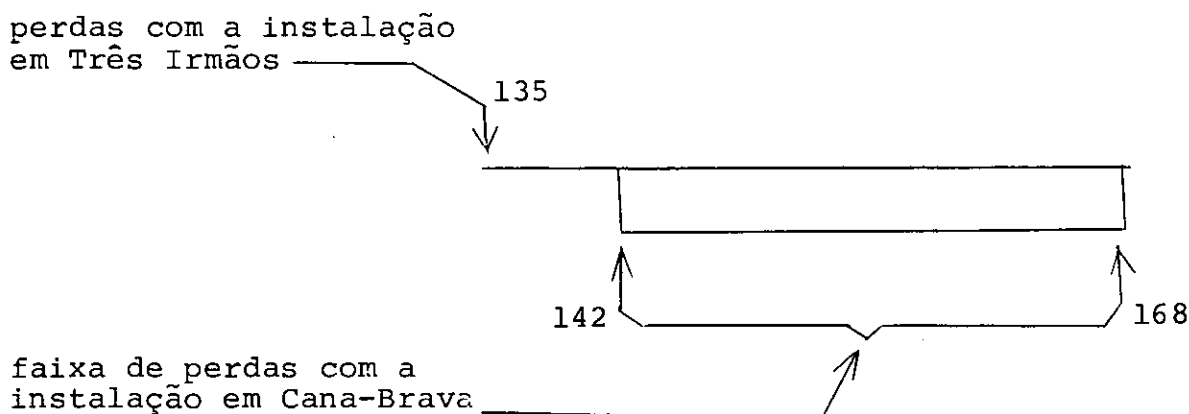
Pode-se observar que a quase totalidade das hipóteses contidas neste intervalo proporciona redução das perdas correspondentes à implantação das unidades geradoras da Usina Três Irmãos.

Assim sendo, tem-se como aceitável a conclusão de que haverá uma redução do nível de perda econômica para o país ao se transferir três unidades de Três Irmãos para FURNAS, instalando-as em Cana-Brava.

Analogamente, a perda econômica decorrente da instalação das quatro máquinas adicionais na própria Usina Três Irmãos, se situa fora da faixa de perdas correspondentes à instalação destas unidades na Usina Cana-Brava e abaixo de seu extremo superior (relativo ao critério menos rigoroso).

A Figura a seguir ilustra o exposto.

UTILIZAÇÃO DE QUATRO UNIDADES DE TRÊS IRMÃOS
VALORES EM 10^6 US\$



Constata-se, pois, que deverá haver um acréscimo de perda econômica para o país com a transferência das quatro unidades para Cana-Brava.

Em função das considerações acima apontadas afigura-se recomendável a transferência de três unidades geradoras de Três Irmãos para FURNAS a fim de serem instaladas na Usina Cana-Brava. Nestas condições, muito embora as negociações em torno da questão não tenham sido concluídas, decidiu-se adotar a motorização de 480 MW distribuída nas 3 unidades FRANCIS de 160 MW, encomendadas para Três Irmãos.

4. MOTORIZAÇÃO ÓTIMA PARA CANA-BRAVA

Devido às incertezas no sucesso das negociações entre CESP e FURNAS, definiu-se também a motorização ótima do ponto de vista energético e econômico para a Usina Cana-Brava. Esta é a potência que deverá ser adotada caso não seja possível, por qualquer motivo, realizar a transferência dos equipamentos de Três Irmãos.

Conforme estudo apresentado detalhadamente no Volume IV do presente relatório, a potência mínima a instalar em Cana-Brava para que seja preservada a compatibilidade operativa entre esta usina e Serra da Mesa nas situações de despacho mínimo é de 450 MW. Além disso, pode-se concluir que o número mínimo de unidades a instalar em Cana-Brava é quatro, pois a instalação de um número menor de máquinas aumentaria a vazão turbinada mínima na usina, reduzindo a flexibilidade operativa em Serra da Mesa e impondo restrições à operação de seu reservatório.

Simulações da operação do sistema mostraram que a potência mínima necessária para maximizar a contribuição de energia firme de Cana-Brava ao Sistema é 450 MW. Um acréscimo na motorização desta usina não traria nenhum benefício adicional de energia.

Com relação ao custo de investimento, sabe-se que este é crescente na medida em que se aumenta a potência de uma usina. Além disso, para uma mesma motorização, este custo é maior, quanto maior for o número de unidades geradoras.

Pelo exposto, conclui-se que a motorização ótima para a Usina Cana-Brava é de 450 MW (potência mínima a instalar) distribuídos em 4 máquinas (número mínimo de unidades a instalar) de 112,5 MW.

5. DEFINIÇÃO DA ALTURA DE QUEDA NOMINAL

Considerando a motorização da Usina Cana-Brava com três máquinas transferidas da Usina Três Irmãos, a altura de queda nominal tornou-se mera consequência, uma vez que estes equipamentos já estão, inclusive, na fase de fabricação. O valor da altura de queda nominal é o mesmo especificado para estas máquinas qual seja, 43,0 m (conforme testes de modelo realizados).

No caso de se adotar motorização indicada nos estudos energético-econômicos, 4 x 112,5 MW, deverá ser realizado um estudo específico para definição de altura de queda nominal.

CAPÍTULO 11

DISPOSIÇÃO GERAL DO PROJETO SELECIONADO

ÍNDICE

	Página nº
1. GERAL	11.1
2. ESTUDOS SETORIAIS	11.1
2.1 Desvio do Rio e Estágios de Construção	11.1
2.1.1 Geral	11.1
2.1.2 Túnel de Desvio	11.1
2.1.3 Ensecadeiras de 1ª Fase (Pré-Ensecadeiras)	11.2
2.1.4 Equipamentos da Estrutura de Controle de Desvio do Rio	11.2
2.2 Usina Geradora e Circuito Hidráulico - Obras Civas e Equipamentos	11.3
2.2.1 Geral	11.3
2.2.2 Canal de Adução	11.3
2.2.3 Tomada d'Água	11.3
2.2.4 Conduitos Forçados	11.3
2.2.5 Casa de Força	11.3
2.2.6 Canal de Fuga	11.5
2.3 Vertedouro - Obras Civas e Equipamentos	11.5
2.3.1 Geral	11.5
2.3.2 Canal de Acesso e Estrutura da Crista	11.5

	Página nº
2.3.3 Calha - Trampolim e Canal de Restituição	11.6
2.3.4 Equipamentos Mecânicos do Vertedouro	11.6
2.4 Barragem de Terra Zoneada	11.6
2.4.1 Geral	11.6
2.4.2 Seções Típicas	11.7
2.4.3 Materiais de Construção dos Maciços	11.9
2.4.4 Análise da Estabilidade dos Taludes	11.10
2.5 Descrição Genérica de Equipamentos Elétricos	11.12
2.5.1 Geradores	11.12
2.5.2 Transformadores Elevadores	11.12
2.6 Equipamentos Mecânicos Principais	11.13
2.6.1 Turbinas e Reguladores	11.13
2.6.2 Pontes e Pórticos Rolantes	11.13
2.6.3 Comportas Ensecadeira de Tubo de Sucção	11.14
2.6.4 Comportas de Emergência da Tomada d'Água	11.14
2.6.5 Comportas Ensecadeira da Tomada d'Água	11.15
2.6.6 Grades da Tomada d'Água	11.16
2.6.7 Comportas-Setor do Vertedouro	11.16
2.6.8 Comportas Ensecadeira do Vertedouro	11.17
2.6.9 Conduitos Forçados	11.18
2.6.10 Comportas do Desvio	11.18
2.6.11 Sistemas Mecânicos Auxiliares	11.19
2.7 Pátio de Manobras e Interligação com a Casa de Força	11.22

	Página nº
2.7.1 Geral	11.22
2.7.2 Esquema de Manobras	11.22
2.7.3 Arranjo Físico	11.22
2.7.4 Casa de Relês	11.23
2.7.5 Dutos e Canaletas	11.23
2.7.6 Rede de Terra	11.24
2.7.7 Desenhos	11.24
2.8 Integração da Usina Cana-Brava ao Sistema de Transmissão	11.24
2.9 Construções Especiais	11.27
2.10 Obras de Infra-Estrutura	11.28
2.10.1 Saneamento Básico	11.28
2.10.2 Vila Residencial e de Operadores	11.28
2.10.3 Canteiro Industrial	11.28
2.11 Estimativas de Quantidades e Custos e Cronograma.	11.29

11. DISPOSIÇÃO GERAL DO PROJETO SELECIONADO

1. GERAL

O arranjo geral selecionado, ou seja, relativo à alternativa "A" mais vantajosa dentre as estudadas, já foi descrito em linhas gerais no item 4.2 - Alternativas em Barragem de Terra, do Capítulo 9 - Estudos de Alternativas para a Usina Cana-Brava. Os desenhos RIL-04-035, RIL-04-036 e RIL-04-037, Anexos 32 à 34 mostram o arranjo geral selecionado para o projeto.

2. ESTUDOS SETORIAIS

2.1 Desvio do Rio e Estágios de Construção

2.1.1 Geral

A estrutura de desvio e túnel de desvio está apresentada nos desenhos RIL-04-035 e RIL-04-041, Anexos 32 e 36. As fases de desvio e controle do rio durante a construção estão descritas a seguir no presente capítulo e mostradas na sequência de construção, nos desenhos RIL-04-047 e RIL-04-048, Anexos 42 e 43.

2.1.2 Túnel de Desvio

O túnel de desvio foi projetado para escoar durante o período construtivo a descarga com um período de retorno $T = 25$ anos, $Q = 1.200 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondendo a vazão incremental após o fechamento do desvio para enchimento do reservatório em Serra da Mesa a montante, dispondo no portal de entrada de uma seção de controle com estrutura guarnecida com comportas vagão.

O canal de aproximação, a montante, com soleira variando desde a El. 280,00 m junto a margem esquerda do rio, e El. 275,00 m na entrada do túnel, tem largura média de 25,00 m e comprimento de 390,00 m. O canal de restituição, a jusante, com soleira variando desde a El. 275,00 m junto a saída do túnel, e El. 280,00 m junto ao rio, tem largura média de 30,00 m e comprimento de 500,00 m.

O túnel tem seção em forma de ferradura modificada, constituída de um semi-círculo com raio de 5,50 m compondo a abóbada associado a seção retangular com altura de 6,50 m, perfazendo uma altura total de 12,00 m. O túnel tem comprimento aproximado de 324,00 m, desenvolvendo-se horizontalmente com piso na El. 275,00 m, o que garante a cobertura de rocha de cerca de 15,00 m no emboque e 50,00 m ao longo de seu desenvolvimento, permitindo assim que o mesmo esteja situado em maciço rochoso competente para estabilidade global da escavação subterrânea.

Com base no atual estágio de conhecimento das características geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas do maciço rochoso no local do túnel de desvio, e a partir da conceituação de projeto do ponto de vista hidráulico, foi verificado como necessário um revestimento estrutural em concreto armado para o túnel de desvio com espessura nominal de 0,50 m. Este revestimento atenderá às condições de estabilização geral do maciço em seus aspectos geomecânicos, de erodibilidade e hidráulicos, entretanto, durante a fase executiva não está excluída a possibilidade de serem necessários tratamentos localizados e eventuais em função da natureza e comportamento do maciço rochoso efetivamente ocorrente durante as escavações.

Este revestimento de concreto propicia uma superfície lisa compatível com um coeficiente de rugosidade da ordem de 0,016, o que ainda assim conduz a uma altura da ensecadeira de montante cerca de 1/3 da altura da barragem principal.

2.1.3 Ensecadeiras de 1ª Fase (Prê-Ensecadeiras)

A prê-ensecadeira natural de jusante tem por finalidade permitir as escavações a seco do desemboque, canal de restituição do túnel de desvio e canal de fuga da casa de força. Tem altura máxima de 20,00 m, e seu desenvolvimento tem cerca de 150,00 m. É constituída por um septo natural deixado na 1ª fase das escavações.

A prê-ensecadeira de montante para a escavação do emboque e do canal de aproximação do túnel de desvio, também é constituída por um septo natural na El. 300,00 m, que será removido por ocasião do desvio do rio pelo túnel.

2.1.4 Equipamentos da Estrutura de Controle de Desvio do Rio

- Comportas

A montante do túnel de desvio, será instalada uma comporta metálica plana, tipo vagão, de rodas com rolamentos, conforme descrito no item 2.6.10 deste capítulo para atender à 1ª fase de fechamento do túnel. O túnel deverá ser tamponado em concreto numa 2ª fase.

- Sistema de Acionamento

O acionamento das comportas será hidráulico conforme descrito no item 2.6.10 deste capítulo.

2.2 Usina Geradora e Circuito Hidráulico - Obras Cíveis e Equipamentos

2.2.1 Geral

O circuito hidráulico e a usina geradora são compostos de canal de adução, tomada d'água, condutos forçados, casa de força e canal de fuga. Essas estruturas permanentes associadas à barragem principal podem ser visualizadas no desenho RIL-04-035, Anexo 32.

2.2.2 Canal de Adução

Com forma curva em planta, devido à conformação topográfica da ombreira esquerda, onde está implantado, tem um desenvolvimento com aproximadamente 290,00 m de extensão. Em um trecho inicial na entrada, com cerca de 200,00 m, o canal tem a soleira sobrelevada para a El. 319,00 m.

2.2.3 Tomada d'Água

A tomada d'água é uma barragem de gravidade com inclinação do paramento de montante 1V:0,25H. A estrutura está figurada no desenho RIL-04-043, Anexo 38.

A tomada possui três aberturas de 20,00 m de largura por 15,00 m de altura que convergem contraindo-se em boca de sino até a seção das comportas com 8,00 m de largura por 11,00 m de altura. À 14,00 m da seção da comporta, inicia-se uma transição com 15,00 m de extensão, convergindo desde a seção retangular até a seção circular, onde encontra o conduto forçado com 10,00 m de diâmetro.

A descarga máxima aduzida para as turbinas é de 1.266 m³/s, com velocidade na entrada das grades de 1,50 m/s.

Os equipamentos mecânicos da tomada d'água compõem-se de comportas, stoplogs, pórtico rolante e grades, conforme descrito no item 2.6 deste capítulo.

2.2.4 Condutos Forçados

A adução às turbinas será feita através de três (03) condutos forçados, com comprimento aproximado de 30,00 m. As chapas componentes deverão ser de aço carbono com resistências em acordo com o código de projeto adotado. Os condutos tem diâmetro interno de 10,00 m.

2.2.5 Casa de Força

No Capítulo 10 - Definição da Motorização e no Capítulo 15- Estudos Energético-Econômicos, está justificada a motorização adotada para a usina e a potência de cada um dos 3 grupos turbina-gerador, com potência unitária instalada de 160 MW.

A casa de força é do tipo abrigada situada na ombreira esquerda do rio. No que diz respeito ao pré-dimensionamento de estruturas da casa de força, foram considerados os dados de definições das turbinas, geradores, caixas espirais e as dimensões usuais de galerias e espaços físicos necessários à implantação dos demais equipamentos e oficinas eletromecânicas, além das áreas de serviço e casa de controle. Destaca-se ainda a importância da redução dos volumes de escavação envolvidos.

Nos desenhos RIL-04-043, RIL-04-044, RIL-04-045 e RIL-04-046, Anexos 38 à 41, está figurado o arranjo geral da casa de força.

A casa de força abrigará três grupos turbina-gerador. Cada grupo constará de uma turbina Francis de eixo vertical, montada com a linha de centro do distribuidor na El. 283,00 m e acoplada a um gerador síncrono trifásico.

Duas pontes rolantes com capacidade aproximada de 250 t cada, darão cobertura à montagem e manutenção das turbinas e geradores tanto na área de serviço quanto nas unidades propriamente.

No lado de montante da casa de força situa-se a plataforma dos transformadores e a área de armazenamento de óleo (lubrificante e isolante) na El. 311,00 m. Os transformadores serão trifásicos, separados por paredes corta-fogo e conectados aos geradores através de barramentos de fases isoladas, contando ainda com uma unidade reserva.

Abaixo da El. 311,00 m, foram previstos, do lado de montante, duas galerias de equipamentos elétricos, respectivamente, às El. 302,50 m e El. 297,00 m e uma galeria de equipamentos mecânicos à El. 290,00 m. Na galeria de equipamentos elétricos à El. 311,00 m serão instalados os cubículos de surto, transformadores de carga CA das unidades, painéis de controle local das unidades e unidades terminais remotas do sistema de supervisão e controle digital da usina.

Ao lado da área de montagem encontram-se as seguintes salas:

- Oficina mecânica;
- Oficina elétrica;
- Sala de compressores;
- Sala de ventilação;
- Vestiários e sanitários;
- Centro de carga (C.A.);
- Sala de baterias (baterias e carga).

Na galeria de equipamentos à El. 297,00 m, encontra-se a galeria de cabos que corre ao longo das unidades pelo lado de montante. Nesta galeria encontram-se os cubículos de neutro, a caixa de terminais dos geradores, quadro de automatismo do sistema de drenagem do grupo além da caixa de terminais e equipamentos eletrônicos de regulação da turbina.

A galeria mecânica situa-se à El. 290,00 m e acomoda o reservatório e o tanque de óleo do regulador das turbinas, os trocadores de calor dos mancais escora das unidades, os reservatórios de ar dos freios e as bombas do óleo do macaco dos geradores.

2.2.6 Canal de Fuga

O canal de fuga apresenta, em planta, uma curvatura em direção ao leito natural do rio. A soleira do canal está na El. 280,00 m e a largura média é de 60,00 m. A sua extensão é de 590,00 m. A vazão máxima escoada é de 1.266 m³/s e velocidade inferior a 1,5 m/s.

2.3 Vertedouro - Obras Civis e Equipamentos

2.3.1 Geral

O vertedouro está implantado na margem direita da barragem secundária compondo-se de canal de acesso, estrutura da crista, calha, trampolim de lançamento e canal de erosão para restituição. O desenho RIL-04-036, Anexo 33, mostra a disposição geral do projeto do vertedouro em planta, vista e seções, complementado, para os canais de acesso e restituição, com a planta do arranjo geral do projeto no desenho RIL-04-042, Anexo 37.

2.3.2 Canal de Acesso e Estrutura da Crista

O acesso à estrutura da crista do vertedouro é feito por canal com soleira na El. 306,00 m. O canal tem cerca de 620,00 m de extensão na linha de centro, apresentando-se curvo em planta.

A estrutura da crista foi projetada para a descarga máxima efluente de 17.761 m³/s, admitindo-se o amortecimento da enchente máxima provável (EMP) afluente de 17.802 m³/s para sobrelevação do N.A. Máximo Normal do reservatório na El. 333,00 m em 1,67 m.

A estrutura tem paramento inclinado a 1V:1H a montante, objetivando aumento do coeficiente de descargas, sendo a superfície da crista conformada em acordo com a forma da lâmina vertente em queda livre para altura de projeto correspondente a descarga máxima efluente. Dispõe de seis (06) vãos de 15,00 m de largura, separados por pilares de 3,00 m.

O centro de cada vão dispõe de junta de contração, separando cada bloco. Os blocos de encontro ligam-se à barragem de terra na lateral esquerda e a margem direita na lateral direita da estrutura. Os muros de encontro dispõem de muros alas de gravidade de concreto massa.

Os pilares e blocos laterais de encontro dispõem de ranhuras para instalação de guias de comportas e stoplogs e de viga de ancoragem em concreto protendido para os munhões de ancoragem das comportas de segmento.

2.3.3 Calha - Trampolim e Canal de Restituição

A calha para restituição das vazões vertidas com cerca de 211,00 m de comprimento, incluindo o trampolim. É ancorada à rocha de fundação, dispondo de ampla drenagem para alívio de subpressões e está separada da estrutura da crista por junta de contração.

O trampolim é uma estrutura de gravidade que eventualmente poderá ter ancoragens para incorporar à sua própria massa, uma massa adicional de rocha para satisfazer condições de estabilidade externa.

As vazões vertidas conduzidas na calha são lançadas no canal piloto de erosão pela concha circular com aproximadamente 25,00 m de raio do trampolim, em salto de esqui, com ângulo de saída de 30°, descrevendo o jato, no lançamento e em queda livre, uma trajetória parabólica. A jusante da estrutura do trampolim, dispõe-se uma laje de proteção contra efeito de erosões regressivas. A estrutura da laje de proteção é ancorada na rocha.

O canal piloto das vazões em trânsito para o leito do rio tem largura de 10,00 m, tendo na linha de centro um desenvolvimento de 780,00 m.

2.3.4 Equipamentos Mecânicos do Vertedouro

● Geral

Os equipamentos mecânicos do vertedouro constarão do pórtico rolante, das comportas e dos stoplogs e estão descritos no item 2.6 deste capítulo.

2.4 Barragem de Terra Zoneada

2.4.1 Geral

A alternativa "A" foi otimizada a nível final de viabilidade, a partir dos aspectos topográficos e geológico-geotécnicos, associados à disponibilidade de materiais naturais de construção.

Na definição da seção transversal da barragem, cuja descrição encontra-se a seguir, procurou-se definir uma solução simples, otimizando técnica e economicamente os materiais naturais de construção provenientes das escavações obrigatórias, utilizando-se somente na proporção do limite necessário, áreas de empréstimo e jazidas. Assim sendo, a disposição interna do zoneamento da seção e os taludes externos foram determinados em conformidade com as características geotécnicas e quantidades dos diversos materiais disponíveis.

Com o objetivo anteriormente descrito e em conformidade com os critérios de projeto pré-estabelecidos, foram feitos estudos de zoneamento internos de materiais, que permitissem levar em conta aspectos de ordem executiva e que atendessem ao cronograma. Em fases posteriores dos estudos, novos detalhes poderão ser introduzidos no projeto, devido a evidências que naturalmente surgirão com o progresso de conhecimentos mais preciso sobre os parâmetros geotécnicos dos materiais de construção utilizados.

2.4.2 Seções Típicas

Em todas as estruturas de terra previstas, a crista tem 10,00 m de largura na El. 336,00 m e tem as seguintes extensões aproximadas:

TRECHO	EXTENSÃO (m)
Barragem Principal	1.120
Prolongamento da Barragem Principal	320
Barragem Secundária	1.160

Os detalhes das seções constam do Anexo 35.

Todas as estruturas de terra estão fundadas sobre a rocha decomposta ou sobre o solo residual compacto (Nspt 25), praticamente impermeável e resistente à erosão interna.

A seção escolhida para a barragem principal nos estudos finais é de terra com núcleo central flanqueado por zonas de solo e enrocamento externo.

A altura máxima é da ordem de 64,00 m, na parte profunda do leito do rio.

A barragem incorpora principalmente a montante e a jusante as enseadeiras construídas para o desvio do rio. Estas enseadeiras têm parcialmente fundação no aluvião existente e serão constituídas com enrocamento lançado diretamente na água. Após dragagem do aluvião arenoso, em trecho de cerca de 30,00 m

de largura, externamente ao enrocamento lançado, serão lançadas transições e as vedações com solo argiloso.

A barragem será composta por espaldares de enrocamento com taludes externos com inclinação 1,0V:2,5H. O espaldar de montante será com enrocamento de rocha sã e o de jusante com solo e rocha alterada.

A montante, a interface núcleo argiloso compactado - solo compactado proveniente das escavações obrigatórias tem inclinação 1,0V:0,5H. A transição única tem largura de 5,00 m e sua interface com o enrocamento tem inclinação 1,0V:1,5H. A jusante os solos provenientes das escavações obrigatórias serão compactados a jusante do filtro vertical, estendendo-se até a interface de inclinação 1,0V:1,8H com o enrocamento de rocha alterada.

Na zona de oscilação do nível d'água a montante entre a crista e 2,00 m abaixo do N.A. Mínimo foi colocada uma camada com 4,00 m de largura de proteção superficial (rip-rap). Para evitar erosão do talude de jusante, foi colocada uma camada com 2,00 m de largura de proteção superficial, constituída por enrocamento fino de rocha sã.

A crista da barragem deverá ter um revestimento, para facilitar o tráfego de veículo considerado com 1,00 m de espessura e composto por cascalho bem graduado.

Os solos provenientes das escavações obrigatórias deverão ser lançados seletivamente, de modo que o material mais fino seja colocado junto ao filtro e o mais graúdo junto ao enrocamento de rocha alterada. Da mesma forma esse enrocamento deverá ter sua parte mais fina lançada junto ao solo mencionado enquanto que a parte graúda deverá ser lançada mais externamente, em contato com o enrocamento de proteção. Este critério seletivo também se aplica para o enrocamento de rocha sã a montante.

Como tratamento subsuperficial das fundações para todas as estruturas de terra, prevê-se que serão necessárias injeções de impermeabilização profundas e rasas. Maiores detalhes sobre condições gerais da fundação e tratamentos superficiais e subsuperficiais estão descritos no Capítulo 7.

A barragem secundária, com 42,00 m de altura máxima, tem a parte de montante idêntica à da barragem principal. Já a parte de jusante é toda em solo compactado proveniente das escavações obrigatórias, o que levou à adoção de taludes 1,0V:2,2H com bermas de 4,00 m de largura a cada 10,00 m de desnível. A proteção superficial do talude de jusante passou a ser grama.

2.4.3 Materiais de Construção dos Maciços

Os materiais naturais de construção destinados à composição dos maciços compactados deverão ser provenientes dos seguintes locais:

- Diretamente da frente das escavações obrigatórias;
- De pilhas temporárias de materiais provenientes das escavações obrigatórias;
- Áreas de empréstimo de materiais argilosos;
- Jazidas de areia e cascalho no leito do rio.

A seguir, descreve-se sucintamente os materiais a serem empregados:

- S1 e S3 - Solo Argiloso Compactado para Núcleo da Barragem e Lançado para Vedação das Ensecadeiras

Trata-se do silte argiloso das áreas ME-5 e ME-11 e do silte argilo-arenoso da área MD-9, com plasticidade alta e média, provenientes do colúvio e do solo residual maduro do metagabro e do micaxisto. Nas áreas mencionadas, esses materiais ocorrem com qualidade adequada e quantidades suficientes. As características destes materiais estão descritas no Capítulo 7.

- S2 - Solos Compactados Provenientes das Escavações Obrigatórias

Este material será utilizado em todas as estruturas de terra. Serão aceitos os solos escavados em todas as litologias (metagabro, xisto, gnaisse e micaxisto), desde que atendam às condições mínimas de compactação, resistência e compressibilidades quais sejam:

- Umidade natural abaixo da saturação;
- Ausência de mica ou presença em pequena quantidade que não afete resistência e compressibilidade;
- Comportamento plástico.

- F1 e F2 - Filtros e Transição Fina

O material granular compactado será proveniente das jazidas de areia e cascalho no leito do rio Tocantins, prevendo-se a utilização do ensaio após beneficiamento primário (separação na peneira 4, por exemplo).

- T2 - Transição Graúda

Este material granular deverá ser obtido, em princípio, por britagem do gabro ou do gnaisse. Secundariamente podem ser considerados aproveitáveis os cascalhos, quando beneficiados, que ocorrem no leito do rio.

- T1 e T3 - Transição Única

A transição única será proveniente, em princípio, das escavações obrigatórias e será constituída pela rocha alterada, seja de gabro, xisto ou gnaisse.

Deverá apresentar uma granulometria ampla, bem graduada e desuniforme desde a fração mais grossa até a mais fina.

- E1, E2 e E3 - Enrocamentos

Esses materiais serão, na sua totalidade, provenientes das escavações obrigatórias. Tendo em vista a grande sobra que ocorrerá, devido ao fato dos volumes de escavações serem superiores aos de aterro, previu-se que os enrocamentos serão selecionados, de forma a se evitar os muito micáceos (micaxistos) e os muito argilosos (camadas superiores do metagabro). Junto às zonas de transição, deverá ser usado o material mais fino, que apresente características granulométricas adequadas de modo que parte do enrocamento funcione também como transição.

- R1 - Rip-Rap

Os blocos de rocha para conformação do rip-rap deverão ser de rocha sã, maciça, sem decomposição incipiente e que não apresentem tendência de desagregação durante o processo de compactação. Serão utilizados provavelmente a partir de estoques formados por blocos selecionados, obtidos das escavações obrigatórias.

2.4.4 Análise da Estabilidade dos Taludes

Foi realizada a verificação da estabilidade dos taludes projetados para as barragens. A verificação foi feita de três modos distintos:

- Taludes homogêneos, por meio de ábaco;
- Taludes compostos, inicialmente pelo programa de computador que utiliza o método de Bishop Simplificado, de modo a detectar a zona de cisalhamento incipiente.
- Finalmente, pelo método de Jambu, o cálculo do coeficiente das prováveis superfícies críticas de ruptura, situadas dentro da zona de cisalhamento incipiente.

Tendo em vista as características favoráveis das seções das barragens, foi analisada apenas as condições mais críticas a saber ao final da construção e operação.

Os parâmetros geotécnicos adotados constam da Tabela 11.1, a seguir. Os parâmetros dos materiais granulares foram estimados a partir de experiências recentes da IESA, enquanto que os dos materiais argilosos compactados foram obtidos dos ensaios triaxiais realizados durante a presente fase dos estudos.

Os coeficientes de segurança obtidos, encontram-se resumidos na Tabela 11.2, a seguir. Pelos resultados obtidos conclui-se que as barragens projetadas, a nível de viabilidade, atendem plenamente aos critérios de estabilidade.

TABELA 11.1

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES
PARÂMETROS GEOTÉCNICOS ADOTADOS

MATERIAL	γ' (tf/m ³)	c' (t/m ²)	ϕ' (graus)	\bar{B} (*) (%)
Núcleo compactado	1,9	3,0	30	15
Vedação das ensecadeiras	1,7	1,5	25	10
Aterro compactado	1,9	1,0	30	20
Filtro vertical e tapete drenante	1,8	-	35	-
Transição compactada	2,0	-	38	-
Transição lançada (alterada)	1,8	-	35	-
Enrocamento de rocha alterada	2,0	-	35	-
Transição/enrocamento lançado de rocha sã	1,9	-	38	-
Enrocamento de rocha sã	2,1	-	40	-
Solo de fundação	1,65	2,0	25	-
(*) \bar{B} somente para final de construção.				

TABELA 11.2

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES
RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA FINAL DE CONSTRUÇÃO

BARRAGEM	MONTANTE OU JUSANTE	COEFICIENTE MÍNIMO DE SEGURANÇA
Principal	Montante	1,61
	Jusante	1,41
Secundária	Montante	1,61
	Jusante	1,46

2.6 Equipamentos Mecânicos Principais

2.6.1 Turbinas e Reguladores

A usina Cana-Brava terá três turbinas Francis de eixo vertical, com caixa espiral metálica, constituída por chapas de aço soldadas, embutidas em concreto, projetadas para rotação no sentido horário, e com as partes girantes sendo suportadas axialmente por um mancal escora apoiado na tampa da turbina. Haverá um eixo único, acoplado ao rotor do gerador e ao rotor da turbina.

A turbina terá um regulador eletrônico do tipo PID com atuador eletro-hidráulico, com tanque de acumulação ar-óleo, reservatório de óleo, bombas de óleo, trocadores de calor instalados na galeria mecânica à El. 297,00 m.

● As características principais da turbina são:

- Número de unidades	3
- Tipo de turbina	Francis, eixo vertical
- Potência unitária	165,4 MW
- Quedas líquidas	44,54 m
- Velocidade síncrona	85,71 rpm
- Engolimento nominal	414,00 m ³ /s
- Linha de centro do distribuidor	El. 283,00 m

2.6.2 Pontes e Pórticos Rolantes

Serão previstos pontes e pórticos rolantes para movimentação dos equipamentos principais para montagem, manutenção e funcionamento da usina em geral. Em pontos específicos serão previstos equipamentos de movimentação de carga conforme as necessidades locais.

A casa de força estará suprida por duas pontes rolantes com capacidade aproximada de 250 t no guincho principal cada. Deverão ser utilizadas para montagem e manutenção das turbinas e geradores bem como para os demais equipamentos dentro da casa de força.

A plataforma a jusante da casa de força deverá conter um semi-pórtico rolante, conforme aparece nos desenhos, com capacidade de 15 t, destinando-se ao manuseio das comportas ensecadeiras do tubo de sucção e ao transporte de cargas na referida plataforma.

Na tomada d'água haverá um pórtico rolante com capacidade de 30 t destinado a manusear os painéis das comportas ensecadeiras, grades e comporta da tomada d'água.

No vertedouro, haverá um pórtico rolante independente com capacidade de 25 t para manusear os painéis de comportas ensecadeira e viga pescadora.

Para equipamentos menores, dentro da casa de força em locais não atendidos pelas pontes rolantes principais, serão previstas talhas eletromecânicas nos seguintes locais:

- Sala de bombas de drenagem e esvaziamento
- Poço das turbinas

2.6.3 Comportas Ensecadeira do Tubo de Sucção

Será previsto um jogo de comportas ensecadeira para isolar o tubo de sucção e permitir o esgotamento de uma unidade geradora. As comportas serão retiradas e inseridas com equilíbrio de pressão.

O jogo constará de duas comportas ensecadeira, uma para cada abertura do tubo de sucção, sendo, portanto, possível isolar-se uma unidade.

Ambas serão dotadas de válvulas "by-pass" para permitir o equilíbrio de pressões entre os lados de montante e jusante. As válvulas serão operadas pela viga pescadora.

As comportas serão metálicas, planas, sem rodas, com duas sapatas de guia em cada lateral. As vedações estarão dispostas nas partes inferior, superior e laterais, utilizando-se borrachas do tipo nota musical (vedação positiva). Essas comportas de manutenção serão armazenadas nos próprios poços de operação, através de travas de armazenamento, o mesmo sendo aplicável à viga pescadora, a qual requererá um poço de armazenamento independente.

As comportas ensecadeira do tubo de sucção serão projetadas para suportar a carga hidráulica máxima de jusante, com o tubo de sucção vazio.

2.6.4 Comportas de Emergência da Tomada d'Água

A finalidade dessas comportas é a abertura e o fechamento da tomada d'água, em condições normais de operação ou em emergência, no caso de disparo ou falha do regulador das turbinas.

Serão 3 comportas planas tipo vagão, verticais, com rodas e rolamentos, com vedação a jusante, adequadas para fechar as aberturas retangulares de 8,00 m de largura por 11,00 m de altura.

Serão acionadas por guinchos hidráulicos, constituídos por servomotores de efeito simples à tração, sendo um para cada comporta, e uma unidade óleo-dinâmica de pressão, podendo ser escolhida para operar qualquer comporta (uma de cada vez). A unidade óleo-dinâmica será dotada de três bombas, sendo uma principal e outra reserva.

Devido a pouca altura disponível na estrutura da tomada d'água os servomotores ficarão dispostos verticalmente acima da plataforma da tomada d'água El. 336,00 m. Posteriormente poderá ser estudado um arranjo alternativo em que o cilindro do servomotor ficará embutido no corpo da própria comporta, destarte reduzindo a altura do pórtico rolante. A decisão deverá basear-se em considerações técnico-econômicas, visto que esta construção envolve custos extras e não faz parte da experiência de todos fabricantes.

Todas as comportas serão iguais e intercambiáveis; a intercambialidade dos dispositivos de suspensão e acionamento, que deverão ser projetados para a condição mais desfavorável, deverá ser estudada posteriormente.

Os movimentos das comportas serão projetados de forma que elas sejam levantadas, e mantidas na posição de plena abertura, pela pressão de óleo no servomotor, e baixadas por gravidade, tanto em emergência como em fechamento normal.

As comportas serão projetadas para a máxima pressão do reservatório com o conduto forçado vazio, podendo, ainda, ser fechadas sob o máximo fluxo de água de disparo da turbina. Para o enchimento do conduto forçado e da caixa espiral da turbina, a comporta deverá ser aberta cerca de 100 mm acima da soleira, até que seja atingido o equilíbrio de pressões ("cracking"). A partir daí, ela será alçada até a posição de plena abertura e mantida nesta posição por intermédio de um circuito automático de restabelecimento de posição. As comportas não deverão ser usadas para outras aberturas parciais e nem para regulação do fluxo d'água.

Cada comporta será provida de um painel de controle individual e de um indicador de posição. A operação normal será comandada e supervisionada da sala de controle central, exceto a operação de abertura que só será possível no local através do painel de controle local das comportas.

Serão montadas e, eventualmente, desmontadas para manutenção, através do pórtico rolante da tomada d'água. Terão paramento suportado por vigas horizontais e longarinas. As vedações, em borracha moldada, atuarão contra o quadro de vedação, composto de blocos laterais, soleira e "lintel". As partes embutidas serão fabricadas em subconjuntos e soldadas na obra, durante a montagem. As superfícies de vedação serão de aço inoxidável.

2.6.5 Comportas Ensecadeira da Tomada d'Água

Haverá um conjunto de comportas ensecadeira para manutenção das comportas da tomada d'água, constituído de um tabuleiro contendo 3 painéis a ser utilizado para o fechamento de qualquer das três passagens de água. Será equipada com duas válvulas "by-pass", para permitir o equilíbrio de pressões montante-jusante, operadas através de viga pescadora.

As operações de colocação e retirada dessa comporta serão realizadas somente com pressões equilibradas e sem fluxo d'água, através do pórtico rolante da tomada d'água.

Será uma comporta metálica plana, sem rodas, com 2 sapatas-guia nas laterais. O painel superior terá vedação nos 4 lados do perímetro respectivo e os painéis inferiores terão vedação em 3 lados.

Os painéis individuais serão armazenados nos topos dos poços respectivos. A viga pescadora será armazenada num poço em separado.

A comporta será projetada para suportar a carga hidráulica máxima do reservatório, sem pressão do lado de jusante.

Todas as superfícies metálicas em contato com as borrachas de vedação serão de aço inoxidável.

2.6.6 Grades da Tomada d'Água

A tomada d'água de cada unidade geradora será protegida por grades de retenção de detritos, constituída por um número adequado de painéis. Serão dimensionadas para uma pressão diferencial de 3 m.c.a. e uma velocidade de aproximadamente 1,5 m/s através de sua área livre.

Os painéis serão constituídos por barras verticais igualmente espaçadas, suportadas por um quadro estrutural formado por dois montantes verticais, um em cada extremidade, e vigas horizontais ligadas aos referidos montantes, que transmitem às peças fixas no concreto a carga aplicada no painel.

Os painéis das grades serão intercambiáveis e serão manuseados com a viga pescadora, através do pórtico rolante da tomada d'água. A sua colocação ou retirada será sempre feita sem fluxo de água através da unidade, com a comporta fechada. Os ganchos da viga pescadora serão comandados automaticamente ao contatarem os painéis das grades. A viga pescadora será armazenada em poço próprio, localizado na estrutura da tomada d'água.

2.6.7 Comportas de Segmento do Vertedouro

Serão previstas para o controle das cheias afluentes ao reservatório e manutenção de seu nível operacional seis comportas radiais tipo setor com 15,00 m de largura por 19,00 m de altura.

Cada comporta será acionada por um guincho hidráulico, constituído por dois servomotores de simples efeito, a tração, atuando um em cada lado. Os servomotores das comportas serão comandados por uma unidade hidráulica centralizada, equipada com dois conjuntos moto-bomba elétricos, funcionando um como principal e o outro como reserva, além de uma bomba acionada por um motor Diesel para emergência.

As comportas poderão ser acionadas no local, ou remotamente, da sala de controle da usina. O acionamento local será individual e independente, com a operação condicionada por uma programação fixa de faixas de abertura permitidas.

Junto ao quadro de controle local das comportas será instalada uma unidade terminal remota do vertedouro para interface do processo com o sistema de supervisão e controle digital contendo os programas necessários para operação automática do vertedouro.

As comportas serão de construção soldada, com uma chapa de paramento suportada por vigas horizontais e longarinas, ligadas a braços radiais, que se apoiam e giram em mancais auto-lubrificantes, ancorados em pilares adjacentes.

As comportas serão fabricadas em subconjuntos e soldadas na obra durante a montagem.

As partes embutidas no concreto serão pré-fabricadas em subconjuntos e unidas na montagem. As comportas serão projetadas de maneira que possam operar segura e eficientemente, sem vibração ou choque, nas mais adversas condições de operação.

As vedações laterais e inferior serão feitas com neoprene, em formato de nota musical ou cantoneira, atuando sobre superfícies metálicas de aço inoxidável.

Todas as comportas e os dispositivos de içamento serão iguais e intercambiáveis.

2.6.8 Comportas Ensecadeira do Vertedouro

Será previsto um jogo de comportas ensecadeira para o vertedouro, podendo ser usado para bloquear a passagem de água de qualquer uma das cinco comportas radiais principais. Ele deverá ser dividido em 6 painéis ou elementos, de maneira que esses painéis possam ser transportados e operados pelo pórtico rolante do vertedouro. Os elementos deverão ser iguais e intercambiáveis, sendo um destes dotado de válvula "by-pass". Serão operados através de viga pescadora, pelo pórtico rolante do vertedouro, operação esta que será sempre realizada com equilíbrio de pressões. Serão comportas metálicas planas, sem rodas, com sapatas de guia nas laterais. As vedações estarão dispostas nas partes inferior, superior e laterais, atuando contra o quadro de vedação (ou contra o outro elemento), composto de blocos laterais e da soleira, utilizando-se borrachas do tipo nota musical (vedação positiva).

As comportas ensecadeira serão armazenadas da seguinte forma: cinco painéis serão suspensos nos próprios poços de operação; a viga pescadora e o sexto painel em nichos de estocagem a serem previstos no vertedouro.

As chapas estanques do painel estarão dispostas do lado de jusante, sustentadas por vigas verticais e horizontais, que transmitem às peças fixas no concreto a carga hidráulica aplicada no painel.

Todas as superfícies metálicas em contato com as borrachas de vedação serão de aço inoxidável.

2.6.9 Conduitos Forçados

Haverá 3 conduitos forçados de aproximadamente 30,00 m de comprimento cada, com 10,00 m de diâmetro interno, estendendo-se desde a tomada d'água até a seção de entrada das caixas espirais das turbinas. Haverá um joelho vertical correspondente à mudança de direção de 55° e que sofre o alinhamento dos conduitos. Os conduitos forçados serão revestidos de aço desde a seção do poço das comportas da tomada d'água até a caixa espiral das turbinas. Próximo à caixa espiral será estudada a instalação de uma junta de dilatação para desacoplar estruturalmente os monoblocos correspondentes à tomada d'água e a casa de força.

2.6.10 Comportas do Desvio

Essas comportas têm por finalidade o fechamento das duas entradas do túnel de desvio do rio, dando início ao enchimento do reservatório da usina.

Serão duas comportas tipo vagão, verticais, apoiadas em base elástica dotada de rodas com rolamentos, e com paramento e vedações situadas a jusante de suas ranhuras. A sua operação se fará da seguinte forma:

- Após o fechamento das comportas, e quando o nível do reservatório atingir o topo do túnel de desvio, será feita a verificação da estanqueidade das vedações, deliberando-se pela continuação do enchimento do reservatório ou pela retirada das comportas em caso de vazamentos excessivos.
- Com a continuação do enchimento do reservatório, a base elástica de apoio das rodas cederá progressivamente sob a pressão d'água, fazendo com que os cutelos laterais substituam as rodas no apoio das comportas sobre as peças fixas embutidas em concreto de 2º estágio. Neste momento, as comportas atuarão como "stoplogs" e não poderão mais ser movimentadas.

O acionamento de cada comporta será feito por um servomotor hidráulico de simples efeito, atuando à tração. Uma única unidade óleo-hidráulica centralizada comandará os servomotores e será equipada com dois conjuntos moto-bomba elétricos, funcionando um como principal e o outro como reserva.

Tanto os servomotores como a unidade óleo-hidráulica serão reaproveitados nas comportas de vertedouro, tendo em vista a similaridade dos cursos dos cilindros e das capacidades dos equipamentos. Para tanto, estudos posteriores definirão a

elevação da plataforma de operação do desvio, de forma a garantir as condições de segurança necessárias para desmontagem e retirada do local destes equipamentos, e assim viabilizar seu reaproveitamento no vertedouro.

As comportas serão de construção em aço soldado, com vigas horizontais principais, vigas verticais secundárias e chapa de paramento, projetadas para suportar a pressão hidráulica provocada pelo nível d'água do reservatório ao fim da concretagem do plug do túnel de desvio. Este nível será utilizado para o cálculo das peças fixas embutidas no concreto, considerando-se as comportas apoiadas nos cutelos laterais.

As vedações serão em borracha moldada nas laterais, soleira e frontal.

As peças fixas embutidas no concreto serão fabricadas em subconjuntos na fábrica e soldadas na obra.

Todas as comportas e dispositivos serão iguais e intercambiáveis.

As operações de montagem da comporta, verificação e eventual desmontagem das vedações, serão efetuadas dentro de uma galeria aberta no concreto para este fim.

2.6.11 Sistemas Mecânicos Auxiliares

Constarão dos seguintes sistemas:

- Sistema de Água de Resfriamento e de Serviço

O sistema de água de resfriamento e de serviço captará água da caixa espiral por meio de tubulações, e depois de filtragem em separadores de sedimentos fornecerá água para:

- Resfriamento das unidades geradoras;
- Alimentação do selo de vedação das turbinas;
- Resfriamento dos equipamentos auxiliares da casa de força (compressores de ar de serviço, das turbinas, dos reguladores etc.) serão resfriados a ar;
- Alimentação do sistema de proteção contra incêndio;
- Usos gerais (lavagens e limpezas, jardinagem e outros).

- Sistema de Ar Comprimido de Serviço

Será previsto um sistema de ar comprimido na usina consistindo de dois compressores, dois tanques de ar comprimido, e as tubulações necessárias para a distribuição de ar comprimido na casa de força e tomada d'água.

Este sistema fornecerá ar comprimido para os seguintes serviços:

- Freios das unidades geradoras;
- Controles pneumáticos;
- Sistema de lubrificação a graxa das turbinas;
- Operação de ferramentas pneumáticas;
- Limpeza dos equipamentos e dos instrumentos eletromecânicos;
- Alimentação do sistema de transporte de peças pesadas em colchão de ar.

● Sistema de Ar Comprimido para Reguladores das Turbinas

Este sistema será composto de dois compressores e dois tanques, o qual fornecerá ar para a pressurização de óleo nos acumuladores de pressão das unidades (reguladores das turbinas).

● Sistema de Óleo Lubrificante e de Óleo Isolante

Será previsto um sistema para a armazenagem, tratamento e condução de óleo lubrificante até os pontos de consumo (mancais, reguladores, etc.). O óleo isolante será conduzido e retirado através de caminhões tanque.

● Sistema de Água Potável

Será instalado um sistema de água potável (castelo d'água) para a distribuição de água na casa de força, na sala de controle, escritórios e em outros locais.

● Sistema de Ventilação

O sistema de ventilação tem por finalidade manter, por meios mecânicos, a renovação do ar nos recintos fechados da casa de força, visando assegurar condições normais de conforto aos operadores e funcionamento adequado dos equipamentos.

Para beneficiar as salas de equipamentos/serviços auxiliares da área de serviço, bem como abastecer o "plenum" de insuflamento, previu-se uma sala de ventilação junto ao eixo 5, na El. 303,50 m. O ar exterior será conduzido à mesma por uma tomada de ar na El. 311,00 m, sendo previamente filtrado antes de alcançar a sucção dos ventiladores.

Nas galerias inferiores (Els. 290,00 m e 297,00 m) o ar será insuflado pelo "plenum", que possuirá ramais para os poços das turbinas, acesso à caixa espiral e ao tubo de sucção.

Para a ventilação dos poços das turbinas, haverá exaustores que descarregarão o ar na fachada de jusante, propiciando assim ventilação cruzada nestes recintos.

A galeria de equipamentos elétricos da El. 303,50 m bem como a área de montagem serão beneficiadas por ventiladores localizados em salas de ventilação auxiliares providas de filtros.

Exceto nos ambientes providos de exaustores próprios, todo ar insuflado na casa de força será exfiltrado para o exterior por venezianas instaladas próximas ao teto da casa de força.

- Sistema de Ar Condicionado

Destina-se a propiciar condições de conforto térmico aos usuários do prédio de controle e ótimas condições de operação aos equipamentos de supervisão e controle, através do controle simultâneo das condições de temperatura, umidade, movimentação e pureza do ar.

Serão utilizados condicionadores do tipo autônomo com condensação a ar, associados a dutos e difusores de insuflamento. Para a sala de controle, onde é necessário controle direto sobre a umidade relativa, serão instaladas resistências de aquecimento e umidificação nos dutos.

- Sistema de Drenagem e Esgotamento

O sistema de drenagem coletará as águas provenientes de infiltrações ou vazamentos e as conduzirá ao poço de drenagem, do qual serão retiradas e lançadas a jusante da usina por bombas verticais tipo turbina.

O esvaziamento total da caixa espiral e do tubo de sucção das turbinas será feito por meio de adufas de fundo que se liguem ao coletor de esgotamento, embutido na laje, situadas sob o tubo de sucção, e que desemboca no poço de esgotamento. Deste poço a água será bombeada para o canal de fuga, por meio de bombas verticais tipo turbina. Será previsto também sistema de esvaziamento parcial que permite menor tempo de acesso para inspeção e reparo do rotor da turbina.

- Sistema de Esgotos Sanitários

O escoamento dos despejos sanitários se fará por gravidade até a sala de tratamento de esgoto, onde serão tratados. O efluente, após tratamento adequado às condições ambientais, será lançado por meio de bombas especiais no canal de fuga.

- Oficinas Mecânicas e Elétricas

Para a manutenção de rotina e pequenos consertos acidentais dos equipamentos elétricos e mecânicos, serão previstas oficinas mecânicas e elétricas equipadas com máquinas, utensílios e ferramentas necessárias.

2.5 Descrição Genérica de Equipamentos Elétricos

2.5.1 Geradores

Os geradores serão do tipo síncrono de eixo vertical e o arranjo dos mancais deverá ser o DIN W1, ou seja, com mancal guia acima do rotor.

• Características Básicas dos Geradores

- Quantidade	3
- Potência nominal	170 MVA
- Fator de potência	0,95
- Tensão nominal	13,8
- Frequência	60 Hz
- Rotação	85,71 rpm

A potência nominal será referida à tensão nominal, frequência e fator de potência nominais e temperatura máxima no rotor e estator igual a 100°C.

A excitação será alimentada através de transformador diretamente ligado aos terminais da máquina e controlado por um regulador de tensão estático com alimentação por fonte de tensão estacionária, com retificadores controlados (tiristores).

2.5.2 Transformadores Elevadores

Os transformadores elevadores serão do tipo trifásico com dois estágios de refrigeração forçada a ar ou ar/óleo. São previstos três transformadores elevadores mais um de reserva.

• Características Básicas dos Transformadores

- Potência	170 MVA
- Tensão primária	13,8
- Tensão secundária	230 kV
- Nível básico de isolamento	
. Alta tensão	850 kV
. Baixa tensão	110 kV

O enrolamento primário será ligado em delta e o secundário em estrela solidamente aterrado. O comutador será para operação sem carga e com derivações $\pm 2 \times 2,5\%$ no secundário.

A elevação máxima de temperatura no ponto mais quente dos enrolamentos, com potência nominal, será de 65°C. O transformador será conectado a barramentos de fases isoladas no primário e a cabo aéreo no secundário.

- Grupo Gerador Diesel de Emergência

Dois geradores auxiliares, acionados por motores Diesel, serão instalados, sendo um na usina e outro na subestação. Estes grupos entrarão em operação automaticamente em caso de falha completa da usina. Destinam-se a alimentar as cargas essenciais da usina e da subestação e permitir sua partida.

2.7 Pátio de Manobras e Interligação com a Casa de Força

2.7.1 Geral

Nos itens seguintes são estabelecidas as diretrizes observadas no estudo de arranjo físico do pátio de manobras da UHE Cana-Brava.

2.7.2 Esquema de Manobras

O esquema de manobras do pátio foi definido por FURNAS em barra dupla, disjuntor com "by-pass" em todos os módulos e na tensão de 230 kV conforme mostrado no desenho RIL-04-700, Anexo 49.

2.7.3 Arranjo Físico

Em face às dimensões relativamente reduzidas do pátio de manobras, optou-se pela definição do arranjo físico do pátio em platô apenas.

O arranjo físico do pátio de manobras será desenvolvido de forma similar ao setor 230 kV da UHE Serra da Mesa visando:

- Simplificação e minimização dos custos de projeto;
- Homogeneização entre os dois pátios.

Com base no exposto nos itens subsequentes o arranjo físico apresentará três níveis de barramentos distintos, conforme indicado a seguir:

- Primeiro Nível - altura de 5,50 m acima do solo, constituindo o nível dos barramentos inferiores;
- Segundo Nível - altura de 10,50 m acima do solo, constituindo o nível dos barramentos intermediários;
- Terceiro Nível - altura de 17,00 m acima do solo, constituindo o nível dos barramentos superiores.

O primeiro nível de barramento é formado por condutores flexíveis CAA-954MCM - "Rail" que interligam os diversos equipamentos entre si.

O segundo nível corresponde aos barramentos principais e será formado por tubos de alumínio Ø 5" sch. 40, suportados por colunas de isoladores tipo "cap and pin". Prevê-se no atual estágio a utilização de duas colunas por ponto de apoio, devido a baixa resistência mecânica apresentada pelas colunas deste tipo, aos esforços de vento e curto-circuitos. Sobras de cabos serão instaladas no interior dos tubos, para prevenir contra vibrações eólicas.

O terceiro nível será também constituído por condutores flexíveis do tipo CAA-954MCM-Rail.

O setor 230 kV será constituído pelos seguintes vãos:

- Três saídas de LT para Serra da Mesa;
- Vão de interligação de barras;
- Três saídas de LT para a Usina Cana-Brava;
- Uma saída de LT futura.

2.7.4 Casa de Relés

A casa de relés está sendo prevista inicialmente com um pavimento apenas. O acesso dos cabos aos painéis, dar-se-á por meio de canaletas, e/ou bandejas, a ser definido posteriormente e localizadas adequadamente. A casa contará pelo menos com as seguintes dependências:

- Sala de painéis;
- Sala de baterias;
- Sala de ar condicionado;
- Sala de comunicações;
- Copa;
- Banheiro;
- Sala de Cabos (eventual).

2.7.5 Dutos e Canaletas

Será previsto um sistema de dutos e canaletas em conformidade com as últimas revisões dos padrões de FURNAS (RIS-012) procurando-se estabelecer um encaminhamento tal que permita a minimização nos comprimentos de cabos que interligam os equipamentos e o sistema de canaletas; serão previstos eletrodutos nas bitolas adequadas.

2.7.6 Rede de Terra

Será previsto um sistema de aterramento de acordo com as últimas revisões dos padrões de aterramento de FURNAS (RIS-014). A rede estará situada à 0,50 m de profundidade e deverá ser interligada aos cabos pára-raios das LT's. Esta medida é fundamental para garantir o bom desempenho do sistema.

2.7.7 Desenhos

RIL-04-701 - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Usina Cana-Brava - Pátio de Manobras - Arranjo Geral

RIL-04-700 - Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix - Usina Cana-Brava - Diagrama Unifilar Simplificado - Setor 230 kV

2.8 Integração da Usina Cana-Brava ao Sistema de Transmissão

A transmissão que permitirá a integração de Cana-Brava ao sistema elétrico da região foi planejada levando-se em conta os demais aproveitamentos do Alto Tocantins de cerca de 3.400 MW distribuídos em 5 (cinco) usinas na região.

A escolha de um esquema de transmissão de referência foi realizada pelo DSE.T - Departamento de Sistemas Elétricos de FURNAS e considerou os seguintes aspectos:

- Geração de Cana-Brava;
- Geração global do aproveitamento do Alto Tocantins;
- Padrões de transmissão usuais no sistema de FURNAS.

Este esquema consiste em 3 (três) linhas de transmissão em 230 kV (650 km) interligando Cana-Brava a Serra da Mesa, conforme abaixo:

- 1 circuito duplo em condutor ACSRL 795 - MCM em 230 kV (50 km);
- 1 circuito simples em condutor ACSRL 795 - MCM em 230 kV (50 km);
- 5 transformadores trifásicos, 13.8/230 kV de 150 MVA, sendo um reserva.
- 4 transformadores trifásicos, 230/500 kV de 300 MVA, sendo um reserva.

As hipóteses de aproveitamento dos equipamentos excedentes da usina de Três Irmãos em Cana-Brava dependem do seu estágio de fabricação e da possibilidade de se interceder junto aos fabricantes no sentido de reformular os projetos. Desta forma, abrem-se naturalmente duas linhas que devem ser exploradas em termos de análise:

- É viável a reespecificação dos equipamentos.
- É impossível modificar suas características.

Na 1ª hipótese a interligação da Usina Cana-Brava ao sistema de transmissão seria aquele definido pelos estudos do DSE.T de FURNAS, em 230 kV, conforme abaixo:

- 1 circuito duplo em condutor ACSR 1 x 795 MCM em 230 kV (50 km);
- 1 circuito simples em condutor ACSR 1 x 795 MCM em 230 kV (50 km);
- 4 transformadores trifásicos 13.8/230 kV de 200 MVA, sendo um reserva;
- 4 transformadores trifásicos 230/500 kV de 300 MVA, sendo um reserva.

Na 2ª hipótese, esta integração deverá ocorrer na tensão de 440 kV, tensão esta não encontrada no sistema FURNAS, seja o atual, seja o projetado.

Esta alternativa consiste em 2 (duas) linhas de transmissão em 440 kV (50 km) interligando Cana-Brava à Serra da Mesa, conforme abaixo:

- 1 circuito duplo em condutor ACSR 4 x 636 MCM em 440 kV (50 km);
- 4 transformadores trifásicos 13.8/440 kV de 200 MVA, sendo um reserva;
- 4 transformadores trifásicos 230/500 kV de 300 MVA, sendo um reserva;
- 7 transformadores monofásicos 230/440 kV de 200 MVA, sendo um reserva.

Na análise econômica desta alternativa depreende-se que na hipótese de se aproveitar os transformadores 13.8/440 kV, isto implicaria em elevação dos custos de investimento no sistema de integração da usina (ver Tabela 11.3). Tal elevação é estimada em cerca de 46 milhões de dólares, em função da elevação do nível de tensão de 230 kV (alternativa adotada atualmente em FURNAS) para 440 kV para a transmissão associada a Cana-Brava.

Além disto, devem ser mencionadas as dificuldades e os acréscimos de custo de operação e manutenção resultantes de equipamentos e linhas em 440 kV, que não é uma tensão padrão da empresa.

TABELA 11.3
ANÁLISE DOS CUSTOS ENTRE AS ALTERNATIVAS VISUALIZADAS
PARA INTEGRAÇÃO DA USINA CANA-BRAVA

OBRA	CUSTO (US\$ 10 ³)
ALT.DSE.T (230 kV):	
. 1 CD, 230 kV, 50 km, 1 x 795 MCM + 4 vãos associados	8738,
. 1 CS, 230 kV, 50 km, 1 x 795 MCM + 2 vãos associados	4904,
. 5 TR (TRIF), 13.8/230 kV, 150 MVA + 4 vãos associados de 230 kV + 4 vãos associados de 13.8 kV	7016,
. 4 TR (TRIF), 500/230 kV, 300 MVA + 3 vãos associados de 500 kV + 3 vãos associados de 230 kV	20007,
TOTAL:	40665,
1ª Hipótese (230 kV):	
. 1 CD, 230 kV, 50 km, 1 x 295 MCM + 4 vãos associados	8758,
. 1 CS, 230 kV, 50 km, 1 x 795 MCM + 2 vãos associados	4904,
. 4 TR (TRIF), 13.8/230 kV, 200 MVA + 3 vãos associados de 230 kV + 3 vãos associados de 13.8 kV	5487,
. 4 TR (TRIF), 500/230 kV, 300 MVA + 3 vãos associados de 500 kV + 3 vãos associados de 230 kV	20007,
TOTAL	39156,
2ª Hipótese (440 kV):	
. 1 CD, 440 kV, 50 km, 4 x 636 MCM + 4 vãos associados	22401,
. 4 TR (TRIF), 13.8/440 kV, 200 MVA + 3 vãos associados de 440 kV + 3 vãos associados de 13.8 kV	13594,
. 4 TR (TRIF), 500/230 kV, 300 MVA + 3 vãos associados de 500 kV + 3 vãos associados de 230 kV	20007,
. 7 TR (MONO), 440/230 kV, 200 MVA + 6 vãos associados de 440 kV + 6 vãos associados de 230 kV	30625,
TOTAL	86627,

OBS.: A comparação entre os custos das diferentes alternativas é possível, de maneira direta, por se tratarem de obras que entram no mesmo ano.

2.9 Construções Especiais

Não são previstas a nível de viabilidade para aproveitamento hidroelétrico, construções especiais, seja para a navegação, como para outras finalidades. Entretanto, caso no futuro as mesmas sejam justificadas, poderão ser feitos convênios com entidades interessadas, tendo em vista o que se segue.

- Obras de Navegação

Não há tráfego paralelo no rio Tocantins que justifique atualmente obras declusagem para ultrapassagem da barragem.

O rio Tocantins no trecho de interesse ao aproveitamento de Cana-Brava, não oferece condições de navegação devido à existência de várias corredeiras nas condições naturais do rio. O primeiro passo para viabilização de navegação fluvial, neste caso, é exatamente a construção de obras de barramento que eliminam os obstáculos naturais existentes, por um lado e que permite e regularização de tirantes d'água compatíveis com a navegação a qualquer época do ano.

Do exposto conclui-se que as barragens de Serra da Mesa e Cana-Brava podem ser consideradas um primeiro passo para uma obra de navegação fluvial integradas com as barragens ainda por executar, quando houver interesse do ponto de vista de políticas de transporte, econômicas e comerciais para esse empreendimento.

- Recreação

A exemplo do que é feito em outros países haverá com o lago, todas as condições para as municipalidades e entidades ligadas ao turismo, estabelecerem: rampas para descida de barcos, áreas de lazer e piqueniques, pesca esportiva e/ou comercial. Esta atividade não prejudica também a geração hidroelétrica.

- Abastecimento d'Água Industrial e Urbana

A elevação substancial do N.A., proporcionará em múltiplos casos, facilidade para abastecimento de água, seja de natureza industrial, seja de natureza urbana. Os efluentes dessas captações poderão ser compatibilizados com os requisitos de produção de energia elétrica.

- Irrigação

Pela mesma razão mencionada em item anterior, poderão ser estabelecidos convênios para implantação de tomadas d'água, objetivando desvio de água para irrigação e quantidades requeridas de água, para esse uso também ser compatibilizados com a produção de energia elétrica.

● Piscicultura

O vertedouro permite a incorporação de escada de peixe se assim for requerido no futuro pelos estudos de meio ambiente relacionados com a fauna aquática. Esta facilidade, em acordo com os mesmos estudos, em futuro poderá ser descartada para favorecer estações de piscicultura que viessem a criar condições favoráveis para peixamento do reservatório com espécies propícias de desenvolvimento em regime lacustre.

2.10 Obras de Infra-Estrutura

2.10.1 Saneamento Básico

A cidade de Minaçu tem infra-estrutura para alojar uma vila capaz de atender o contingente humano, direta ou indiretamente, ligado à construção da usina, possui água encanada, ruas pavimentadas, luz e algumas outras facilidades que somadas poderão propiciar aos operários da obra, um nível de conforto bastante razoável.

2.10.2 Vila Residencial e de Operadores

O contingente de operários solteiros poderá ser alojado no próprio canteiro, em barracões apropriados e convenientemente dispostos. Além disso a obra teria refeitórios, ambulatório e área de lazer.

Operários com família, com um mínimo de especialização, encarregados, feitores, etc., poderiam ser alojados na área leste da cidade Minaçu em casas a serem construídas por FURNAS.

Está sendo construído às margens do córrego Bateinho a vila de operadores das usinas de Serra da Mesa e Cana-Brava.

2.10.3 Canteiro Industrial

Será adequado à construção de uma usina de médio porte. A jusante, na margem esquerda, em torno da El. 305,00 m, será construído um platô com dimensões adequadas para nele se instalar a totalidade do canteiro industrial.

O referido platô absorveria todo o material indesejável, transformando-se em ponto de despejo de material imprestável.

Para maiores detalhes, veja desenho RIL-04-052, Anexo 45.

2.11 Estimativas de Quantidades e Custos e Cronograma

Nos itens anteriores do presente capítulo foram apresentadas as principais características da alternativa de arranjo geral com barragem de terra selecionada nos estudos de viabilidade.

No Quadro 14.3 fls. 1 a 16 do capítulo 14 - Estimativa de Custos, é apresentada a planilha detalhada das estimativas de quantidades e custos desta alternativa.

No Quadro 11.1 deste capítulo está figurado um resumo do orçamento da alternativa selecionada.

No Quadro 14.5 do capítulo 14 - Estimativa de Custos, está mostrado o resumo do cronograma econômico de desembolso anual acumulado, determinado conforme estabelecido no manual para a alternativa selecionada onde se obtém os juros durante a construção adotado em 24,41% para a alternativa selecionada.

71/E/S/A/ - INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S. A.

QUADRO 11.1

RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE

USINA DE CANA-BRAGA - ESTIMATIVA DE CUSTOS DA ALTERNATIVA SELECIONADA - QUADRO RESUMO

BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333

CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

CONTA	DESCRICAO	CUSTO TOTAL
CUSTOS DIRETOS		
.10	TERRENOS E SERVIÇOS	1.157.141
.11	ESTRUTURAS E OUTRAS BENEFICÍARIAS	5.465.918
.12.15	RESERVATÓRIO	84.236
.12.16	DESVIO DO RIO	479.680
.12.17	BARRAGEM E DIQUE DE TERRA	
.17.25 a	BARRAGEM PRINCIPAL E ENSEADEIRA INCORPORADA	1.300.300
.17.25 b	BARRAGEM SECUNDARIA	463.195
.12.18	VERTEDOUROS, CANAIS DE APROXIMACAO E RESTITUCAO	1.939.800
.12.19.30	TOMADA D'AGUA	971.274
.12.19.31	CANAL DE ADOCAO	352.987
.12.19.34	CONDUTO FORCADO	77.820
.12.19.35	CANAL DE FUGA	544.381
.12.20	ENERGIA ELÉTRICA PARA CONCRETO	9.200
.12.27	EVENTUAIS DA CONTA 12 - CIVIL	853.540
.12.27	EVENTUAIS DA CONTA 12 - EQUIPAMENTOS	53.206
	TOTAL CONTA 12	7.129.094
.13	TURBINAS E GERADORES	4.885.972
.14	EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ACESSÓRIOS	392.279
.15	EQUIPAMENTOS DIVERSOS DA USINA	63.483
.16 ate .15	TOTAL CUSTOS DIRETOS	15.114.806
.17	CUSTOS INDIRETOS	4.689.870
	CUSTO TOTAL SEM JUROS	19.724.676
	JUROS	4.814.793
	CUSTO TOTAL COM JUROS	24.539.470
	CUSTO TOTAL COM JUROS EM US\$	615.824

VALORES EM MILHARES DE CRUZADOS - DATA REFERENCIA JUN/87 - US\$ 1.00 = C.R. 39,98

RIL-002
RO
DEZ87



CAPÍTULO 12

ESTUDOS DO MEIO AMBIENTE

12. ESTUDOS DO MEIO AMBIENTE

O contrato nº 8064 se estendeu também aos estudos ambientais que estão apresentados no Vol. III - Meio Ambiente objetivando:

- Estruturação dos programas de controle ambiental visando a minimização dos efeitos negativos causados pela usina no meio ambiente;
- Indicação de medidas que otimizem os usos múltiplos do reservatório.

A proposta técnica de estudos do meio ambiente emitida em março/86, que norteou o referido contrato, baseou-se nas diretrizes definidas pela ELETROBRÁS na emissão preliminar do Manual de Estudos de Efeitos Ambientais dos Sistemas Elétricos de 1984 além de portarias do DNAEE e da SUDEPE. Posteriormente, novas recomendações surgiram, com a edição final e oficial do "Manual de Estudos de Efeitos Ambientais", (junho de 1986) e com a emissão, também pela ELETROBRÁS, do Plano Diretor para Proteção e Melhoria do Meio Ambiente nas Obras e Serviços do Setor Elétrico (novembro de 1986) e adicionalmente, em consequência da Resolução nº 001 do CONAMA de 23 de janeiro de 1986, que determinou a elaboração do RIMA - Relatório de Impacto no Meio Ambiente - para ser submetido à Superintendência Estadual de Meio Ambiente para fins de licenciamento das atividades. Assim, estudos adicionais, mais complexos e mais detalhados, foram incorporados aos inicialmente previstos em proposta.

Por razões metodológicas, os estudos ambientais foram subdivididos, de acordo com o meio ambiente a que pertencem, em meio físico, meio biológico e meio sócio-econômico e cultural. Foram desenvolvidos em níveis sucessivos de aproximação, abrangendo os diferentes aspectos envolvidos em cada meio ambiente, e compatíveis com a profundidade de cada tema pesquisado.

Conforme conceituado no Manual de Estudos de Efeitos Ambientais dos Sistemas Elétricos, os estudos ambientais se referem a duas áreas: "área de influência" e "área diretamente afetada". No presente trabalho, a área de influência definida pelos limites político-administrativos dos municípios que terão parte de suas terras inundadas, Minaçu e Cavalcante, foi considerada como "área de influência indireta". Nesta área está contida a "área de influência direta", definida essencialmente a partir de um critério físico-biológico, ou seja, pelos grandes divisores de água - Serra Dourada e Serra das Palmas. E como parte desta, foi destacada a "área de entorno do reservatório", que é, na área de influência, a que será mais comprometida pelo empreendimento, limitada pelo primeiro divisor de águas.

Os estudos ambientais foram feitos sobre bases cartográficas nas escalas adequadas a cada área de estudo, como se segue:

- Escala 1:1.000.000 - enfoque regional inserindo o aproveitamento de São Félix na bacia do Alto Tocantins;
- Escala 1:500.000 - área de influência indireta abrangendo os municípios de Minaçu e Cavalcante;
- Escala 1:250.000 - área de influência direta limitada pelas serras Dourada e das Palmas;
- Escala 1:100.000 - área de entorno do reservatório, que corresponde à de maior comprometimento, por estar mais próxima à área diretamente afetada;
- Escala 1:50.000 - área diretamente afetada pela implantação das obras e formação do reservatório;
- Escala 1:10.000 - área urbana de Minaçu, cidade onde está sendo construída a vila residencial de FURNAS, e que sofrerá grande impacto social e econômico com a construção e operação de Serra da Mesa e Cana-Brava.

A seqüência dos estudos atendeu às normas e recomendações para o planejamento ambiental, conforme relacionado a seguir:

- Levantamentos básicos, desenvolvidos com o uso de dados secundários (bibliográficos e cartográficos) que complementaram o conhecimento da região, já obtido com os estudos ambientais da UHE Serra da Mesa, e de dados primários obtidos nas pesquisas de campo específicas, que permitiram uma completa e atualizada identificação e caracterização da área que será afetada pelo reservatório;
- Diagnóstico ambiental, elaborado a partir da análise, interpretação e avaliação dos dados levantados;
- Análise dos impactos causados pela usina no meio ambiente, incluindo classificação e avaliação dos impactos ambientais;
- Definição de medidas mitigadoras que visam atenuar e minimizar os impactos negativos e de medidas para promover os impactos positivos;
- Programas de controle ambiental que contêm as medidas mitigadoras: justificativas, atividades, normas, providências a serem adotadas para implantação, resultados esperados;

- Plano de utilização do reservatório, incluindo programas de usos múltiplos da água e seu entorno e de exploração dos recursos da área a ser inundada, "visando a otimização técnico-econômica e obtenção dos benefícios e custos associados";
- Plano de inserção regional, através do qual se define a participação de FURNAS no desenvolvimento regional, a ser promovido numa coordenação integrada de órgãos e instituições federais, estaduais e municipais; operacionalmente, considera-se três níveis de ação:
 - Apoio regional direto;
 - Programas de usos múltiplos;
 - Programas de reativação econômica e recomposição social.
- Prognóstico das condições emergentes, com projeções da qualidade ambiental da área após construção e operação da usina, considerando-se implantados todos os programas propostos; comparação com outra projeção de mesmo horizonte, sem qualquer intervenção de FURNAS na área.

Este último tópico, fornece a dimensão das ações projetadas sobre o meio ambiente e suas conseqüências. Pode-se afirmar que, ao se desenvolver os estudos ambientais para a região de influência do Aproveitamento Hidroelétrico de São Félix (Serra da Mesa e Cana-Brava) pretende-se assegurar um desenvolvimento econômico harmonioso, compatível com o equilíbrio de seu ecossistema, em que todas as ações propostas consideram essencialmente a relação Homem-Natureza.

13. ÁREA DO RESERVATÓRIO

1. GERAL

Ao longo dos estudos de viabilidade foram desenvolvidos trabalhos de compilação, análise e integração de todos os dados referentes à área a ser diretamente afetada pelo reservatório, que forneceram subsídios necessários ao diagnóstico ambiental e à avaliação das interferências ocasionadas pela implantação da usina e formação do reservatório.

A partir da caracterização do meio ambiente físico, biológico e sócio-econômico e cultural, procedeu-se à identificação e dimensionamento dos principais impactos. Seu estudo gerou medidas minimizadoras dos efeitos negativos, com a definição de programas de controle ambiental, sempre inseridos no contexto de desenvolvimento regional, de modo a assegurar o máximo benefício à comunidade atingida.

2. MAPEAMENTO DO RESERVATÓRIO

A área a ser inundada equivale a 139 km² no N.A. Máximo Normal, El. 333,00 m. Como base para os estudos cartográficos, foram utilizados os mapas do DSG na escala 1:100.000 e a restituição aerofotogramétrica, realizada pela Geofoto S.A. na escala de 1:25.000, que encobre a maior parte da área diretamente afetada pelo reservatório. Contudo, vale a pena ressaltar que, em virtude de todos os trabalhos terem sido desenvolvidos a partir deste mapeamento, devem ser levadas em consideração as discrepâncias observadas em tal documentação cartográfica que foram detectadas nas primeiras investigações de campo e que aparecem descritas no Capítulo 3 - Estudos Antecedentes e Dados Utilizados, item 2.1.1.

Em virtude das deficiências verificadas na restituição aerofotogramétrica, a quantificação das interferências não é rigorosamente precisa. Citamos entre outros locais, os limites do reservatório com o núcleo urbano de Minaçu, uma vez que tal documentação ao ser elaborada teve seu domínio interrompido antes de atingir a cota de inundação em trecho compreendendo dois afluentes da margem esquerda do Tocantins, córrego do Varjão e rio Bonito, através dos quais se desenvolve a expansão da referida sede municipal. Outro trecho de interrupção foi na área de domínio do rio do Carmo, onde ocorrem áreas de formação calcárea.

Foi possível, entretanto, verificar a interferência do reservatório na área da vila residencial provisória ao longo do rio Bonito, através de plantas topográficas na escala 1:1.000 nº RG-612-002-81, originárias de levantamentos de campo executados por FURNAS, que encobrem a área da futura vila residencial.

Quanto a esta última, FURNAS está adequando o projeto da vila residencial à cota de inundação. No que se refere à parte da cidade que será margeada pelo reservatório, FURNAS está providenciando levantamento plani-altimétrico detalhado, para que todos os pontos críticos possam ser rigorosamente identificados e as medidas mitigadoras adotadas a tempo.

3. PONTOS CRÍTICOS ESTUDADOS

Relacionamos a seguir os principais pontos críticos, observados na análise das alterações provocadas no meio ambiente.

3.1 Áreas de Recursos Minerais

Dentre os minerais que ocorrem na área do reservatório da usina Cana-Brava, apenas o ouro encontra-se atualmente em exploração, sendo garimpado intensamente nos aluviões do leito, ilhas e terraços do rio Tocantins. Os garimpos são em geral pequenos, quase sempre com menos de 5 garimpeiros itinerantes, que se instalam nas margens do rio em acampamentos provisórios.

Alguns garimpos isolados são encontrados nos afluentes do rio Tocantins pela margem direita, no trecho entre os rios do Carmo e São Félix, a montante do qual, em área fora do reservatório, ocorrem diversos garimpos com grande aglomerado populacional, explotando depósitos tanto em solos aluvionares e residuais como em rocha decomposta. O ouro destes depósitos é originário dos metassedimentos dos Grupos Bambuí, Araí e Serra da Mesa.

Associados aos corpos graníticos, tipo Serra da Mesa e Serra Branca, em áreas que não são inundadas, ocorre uma grande variedade de minerais, tais como cassiterita, berilo, tantalite, quartzo, feldspato (amazonite), muscovite e outros, que são explotados geralmente em garimpos isolados. Algumas faixas aluvionares formadas por materiais provenientes destes corpos intrusivos contêm pequenos depósitos minerais, os quais são garimpados esporadicamente dentro da área do reservatório.

No complexo intrusivo de Cana-Brava, margem esquerda do rio Tocantins, foram requeridas, junto ao D.N.P.M., áreas para pesquisa de cromo, chumbo, níquel e platina. Algumas destas áreas serão parcialmente inundadas.

Três faixas de rochas calcáreas ocorrem cruzando o reservatório, sendo que até o momento nenhuma delas foi explorada. Os trechos destas faixas que serão alagadas possuem raros afloramentos.

3.2 Terras Férteis com Atividades Agropecuárias

As atividades agropecuárias ocorrem na parte noroeste da área do reservatório. Com a inundação, serão provavelmente

transferidas na direção oeste, para o sopé da serra de Cana-
-Brava, incrementando a ação antrópica sobre a encosta, o que
poderá acarretar focos de instabilidade.

3.3 Ecossistema Terrestre

A formação vegetal característica da área é o cerrado, com
algumas ocorrências de mata ciliar ao longo do rio Tocantins, em
geral bastante descaracterizadas em decorrência da ação antró-
pica. As alterações provocadas pelo enchimento do reservatório
serão o desaparecimento destas formações, com prejuízos para os
componentes faunísticos que nelas ocorrem, destruindo seus
habitats e reduzindo a oferta de alimentos.

3.4 Ecossistema Aquático

O enchimento do reservatório trará profundas alterações no meio
ambiente aquático e conseqüentemente na sua ictiofauna,
provocando o desaparecimento de espécies que não se adequarão
às novas condições lênticas da água. Por outro lado, o reser-
vatório, ao ser povoado com espécies regionais sensíveis a
estas condições, propiciará um amplo programa de incentivo à
pesca junto à comunidade.

3.5 População Rural

O levantamento aerofotogramétrico identificou na área diretamente
afetada cerca de 175 unidades prediais. Estima-se que 112 destas
unidades sejam residenciais.

A população total da área a ser inundada é de aproximadamente
560 habitantes, distribuída espacialmente de forma rarefeita e
vivendo em precárias condições de habitabilidade, com pouco
acesso aos serviços governamentais. Sua base econômica é
fundamentada em atividades agropastoris de subsistência.

Outras unidades identificadas são 3 escolas, 1 olaria e 1
serraria, todas caracterizadas pela precariedade de suas
instalações. Cada escola possui apenas 1 sala de aula.

3.6 Rede Viária

A rede viária da região é bastante precária, constituída de
rodovias de leito natural, algumas transitáveis apenas na época
da seca. A comunicação entre a margem esquerda e a margem
direita só se faz por balsas, instaladas em dois portos (porto
dos Paulistas e porto do Garimpo), funcionando precariamente
na época das chuvas.

Com a inundação, serão atingidas as seguintes estradas:

- Estrada municipal que liga Minaçu a Palmeirópolis, e que atende atualmente ao canteiro de obras de Cana-Brava; serão inundados aproximadamente 8 km;
- Estrada municipal que, partindo de Minaçu, corta os rios Bonito e Tocantins, e articula-se com o serviço de balsa existente na localidade do porto dos Paulistas, estabelecendo o fluxo com a margem direita do rio Tocantins, servindo, entre outros, ao garimpo do Carmo, à FOM Mineração e às fazendas da região; serão atingidos quatro trechos;
- Estrada municipal, conhecida como estrada da Cortera, que partindo da rodovia estadual GO-241, corta os córregos Grotão e da Caieira, onde existem duas pontes de concreto, e articula-se com o serviço de balsa, na localidade do porto do Garimpo, permitindo o acesso aos garimpos da Serra Branca, dos rios Vermelho e São Félix; serão atingidos quatro trechos.

Destas estradas, os trechos a serem inundados serão previamente relocados ou atravessados por pontes. Os percursos fluviais pelo rio Tocantins serão ampliados, com o redimensionamento do serviço de balsas. A estrada que dá acesso ao canteiro de obras será redimensionada para atender ao fluxo da construção.

3.7 Quadro Urbano

O reservatório irá margear a periferia de Minaçu na sua parte nordeste, o que torna necessário, desde já, o controle da expansão urbana quanto ao uso do solo.

3.8 Aspectos de Recreação e Lazer

Um dos pontos mais freqüentados pela população de Minaçu para recreação e lazer é a praia do Porto Um no rio Tocantins, que ficará submersa com a inundação. Por outro lado, propõe-se que com o programa de usos múltiplos, sejam criadas outras áreas de recreação e lazer ao longo do reservatório, com adequado tratamento paisagístico.

3.9 Patrimônio Histórico e Arqueológico

As ruínas do antigo arraial de São Félix, datada do século XVII, próximas à foz do rio do mesmo nome, ficarão submersas com a inundação. Recomenda-se uma prospecção arqueológica, para fins de registro deste patrimônio.

CAPÍTULO 14

ESTIMATIVA DE CUSTOS

ÍNDICE

	Página nº
1. GERAL	14.1
2. CRITÉRIOS	14.1
3. CRONOGRAMAS	14.2
4. CRONOGRAMA FÍSICO-ECONÔMICO	14.2
5. ESTIMATIVAS	14.3

14. ESTIMATIVA DE CUSTOS

1. GERAL

O presente capítulo estabelece as bases sob as quais foram determinadas as estimativas de custos e suas quantificações, com o objetivo de comparar as alternativas de Arranjo Geral estudadas em Cana-Brava dentre as opções possíveis com o desvio do rio reduzido para a descarga incremental entre Serra da Mesa e Cana-Brava, devido a retenção das enchentes afluentes pelo reservatório de Serra da Mesa em processo de enchimento, para decidir pela melhor localização das estruturas, considerando-se as alternativas de arranjo nas margens esquerda ou direita do rio.

2. CRITÉRIOS

Os itens principais na formação dos custos das alternativas foram objeto de composições de custos específicos, tendo em vista a sua grande influência nas decisões a serem tomadas, como sejam: escavações em rocha e solo a céu aberto, escavações subterrâneas, aterros da barragem, concretos, construção e remoção de ensecadeiras.

Os custos de turbinas e geradores basearam-se em ajustamento, elaborado por FURNAS, em função de consulta a fabricantes, da curva de experiência do Manual de Inventário da ELETROBRÁS - setembro de 1984.

Para os custos indiretos adotou-se os critérios da ELETROBRÁS contidos nas Instruções para Elaboração das Estimativas de Custos em Estudos de Viabilidade para Projetos de Usinas Hidroelétricas, dezembro de 1978.

Os juros durante a construção foram calculados com taxa de 10% ao ano, sendo indicados todos os custos dos trabalhos de construção e montagem previstos no cronograma de obras. Para maiores detalhes poderá ser consultado o Cronograma Físico-Econômico.

O custo unitário de aquisição de terras na área do reservatório, as relocações, instalações e acabamentos, instrumentação de controle, vila de operadores, equipamentos, equipamento elétrico, acessórios, diversos equipamentos da usina e outros custos, foram estimados com base no "Manual de Inventário" da ELETROBRÁS - setembro de 1984 e atualizados para a data de referência da estimativa, utilizando-se o índice geral de preços - Col. 2 da revista Conjuntura Econômica da FGV. As estimativas de custos foram referidas a junho de 1987, com US\$ 1.00 = CZ\$ 39,90.

3. CRONOGRAMAS

Os cronogramas de construção com as principais operações de construção e datas de marcos contratuais mais importantes da alternativa selecionada em barragem de terra e da alternativa em barragem de concreto compactado rico em pasta estão mostrados nos desenhos Anexos 47 e 48 respectivamente.

Para a alternativa selecionada, estas atividades mais importantes estão descritas e estabelecidas a seguir.

As obras de desvio do rio serão iniciadas em 01 de setembro de 1989 com a escavação dos canais de acesso e restituição do túnel.

Tão logo as frentes de escavação em rocha dos canais e túnel de desvio permitam, serão iniciados os trabalhos de concretagem da estrutura de controle e de revestimento na seção de entrada dos túneis.

O lançamento das pré-ensecadeiras de montante e jusante será iniciado em setembro de 1991 devendo estar concluído em 01 de outubro de 1991, quando estará completado o desvio do rio pelo túnel, após totalmente removidas as enseadeiras naturais dos canais de entrada e saída do túnel.

O fechamento das comportas dos túneis de desvio deverá ocorrer até 01 de março de 1994.

Os trabalhos de construção das estruturas principais deverão iniciar em setembro de 1989 com as escavações do canal de fuga. A escavação dos canais de aproximação e restituição do vertedouro, deverão ocorrer até 01 de abril de 1990. A concretagem das estruturas da tomada d'água, vertedouro e casa de força, deverá iniciar-se e prosseguir tão logo seja permitido pelas frentes de escavação.

A montagem dos equipamentos eletromecânicos, iniciando-se em 01 de maio de 1992, deverá estar concluída de modo a possibilitar a colocação da primeira unidade da usina em operação em 01 de maio de 1994 e as duas posteriores a cada três (03) meses de intervalo.

4. ESTIMATIVAS

As planilhas de estimativas de quantidades e custos detalhados, das alternativas A, B, C e D, com as máquinas de 120 MW, referidas no Capítulo 9 - Estudos de Alternativas para a Usina Cana-Brava, deste relatório, seguem a itemização de custos da ELETROBRÁS e estão figurados nos Quadros 14.1, folhas 1 a 18 e 14.2, folhas 1 a 17, a seguir.

No Quadro 14.3, folhas 1 a 16, a seguir, está mostrada a planilha detalhada da alternativa selecionada em barragem de terra com 3 máquinas de 160 MW, descrita no Capítulo 11 - Disposição Geral do Projeto Selecionado, deste relatório.

5. CRONOGRAMA FÍSICO-ECONÔMICO

Os cronogramas físico-econômicos foram elaborados a partir dos cronogramas de construção, para possibilitar a avaliação dos custos financeiros e a análise de investimentos em geral.

O cronograma de desembolso de capital foi integrado mensalmente e os juros compostos calculados com taxa de dez por cento (10%) ao ano. Para apreciação dos desembolsos de capital, juros durante a construção e investimento acumulado mensalmente, poderão ser consultados os Quadros 14.4 (Fls. 1 e 2) e 14.5 (Fls. 1 e 2), a seguir, respectivamente para a alternativa "D" de concreto compactado (4 x 120 MW) e a alternativa selecionada em barragem de terra (3 x 160 MW).



QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LETTO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C	
		UNID. : (Cz\$)	TOTALS EM (Cz\$ X 1000):	UNID. : (Cz\$)	TOTALS EM (Cz\$ X 1000):	UNID. : (Cz\$)	TOTALS EM (Cz\$ X 1000):
.10	TERRENOS E SERVIÇOS						
.10.10	Aquisicao de Terras e Benefitorias						
.10.11	Terranos e Propriedades Rurais	ha	367,218	13,800	26,610,000	13,800	26,610,000
.10.11.10	Terranos						
.10.12	Despesas Legais e de Aquisicao	X	55,083	15	55,083	15	55,083
.10.13	Outros Custos	X	12,669	3	12,669	3	12,669
.10.11	RELOCACOES						
.11.14	Estradas de Rodage	Km	523,597	65	8,855,310,000	65	8,855,310,000
.11.16	Pontes	m	31,005	110	281,868	110	281,868
.11.13	Outros Custos	X	16,638	3	16,638	3	16,638
	Sub Total da Conta .10		1,006,209		1,006,209		1,006,209
.10.27	Eventuais da Conta .10	X	159,931	15	159,931	15	159,931
	TOTAL DA CONTA .10		1,157,141		1,157,141		1,157,141

422.301

554.602



PAGINA : 2 / 18

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Cz\$ 39,90

BUBURO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAGA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	UNID.	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C	
			TOTALS EM (Cz\$ X 1000)	CUSTO UNITARIO (Cz\$)	TOTALS EM (Cz\$ X 1000)	CUSTO UNITARIO (Cz\$)	TOTALS EM (Cz\$ X 1000)	CUSTO UNITARIO (Cz\$)
..11	ESTRUTURAS E OUTRAS BENFEITORIAS							
..11.12	Benfeitorias na Area da Usina	vb	82,610		82,610		82,610	
..11.13	Casa de Força							
..13.00.12	Escavacao	m3	3,157	94,00	8,560	94,00	77,780	7,311
..13.00.14.10	Escavacao Comum	m3	25,259	388,00	19,540	388,00	19,380	5,944
..13.00.14.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	122,795	570,00	141,750	570,00	38,190	21,768
..13.00.14.12	Rocha Alterada	m3						
..13.00.14.13	Rocha Sa	m3						
..13.00.14.14	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	1,372	297,00	4,620	297,00	4,620	1,372
..13.00.14.15	Limpeza							
..13.00.14	Concreto	t	168,387	5,837,00	33,430	5,837,00	33,430	168,387
..13.00.14.13	Cimento	m3	367,339	3,296,00	111,450	3,296,00	111,450	367,339
..13.00.14.14	Concreto sem Cimento	t	570,546	51,170,00	11,150	51,170,00	11,150	570,546
..13.00.14.15	Armadura	t						
..13.00.15	Instalacoes e Acabamentos	g1	125,886		120,382		114,267	
..13.00.16	Instrumentacao de Controle	g1	4,425		4,425		4,425	
..11.14	Vila dos Operadores	g1	80,100		80,100		80,100	
..11.26	Sub-Total da Conta .11		1,551,684		1,490,464		1,424,878	
..11.27	Eventuais da Conta .11		232,783		223,570		213,612	
	TOTAL DA CONTA .11		1,784,467		1,714,034		1,638,490	

PAGINA : 3 / 18

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,99

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE UTABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

CONTA	DESCRICAO	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C					
		UNID.	CUSTO UNITARIO (C\$)	TOTALS EM (C\$ X 1000)	UNID.	CUSTO UNITARIO (C\$)	TOTALS EM (C\$ X 1000)	UNID.	CUSTO UNITARIO (C\$)	TOTALS EM (C\$ X 1000)	
.12	RESERVATORIO, BARRAGENS E ADUTORAS										
.12.15	Reservatorio										
.15.00.18	Limpeza de Reservatorio	ha	40.000,00	74.800	ha	40.000,00	74.800	ha	40.000,00	74.800	
.15.00.21	Impacto Ecologico	vb		9.430	vb		9.430	vb		9.430	
Sub-Total da Conta .12.15				84.230	Sub-Total da Conta .12.15				84.230	84.230	



PAGINA : 4 / 18

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39.90

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDEIRO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I Ç A O	U N I D A D E	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C	
			Q U A N T I D A D E S	T O T A L E S (Cz\$ X 1000)	Q U A N T I D A D E S	T O T A L E S (Cz\$ X 1000)	Q U A N T I D A D E S	T O T A L E S (Cz\$ X 1000)
.12.16	Desvio do Rio							
.16.22	Ensecadeira							
.16.22.17	Ensecadeira de Rocha e Terra	m3					37,500	1,913
	-Enrocamento lançado	m3					87,500	2,188
.16.22.21	-Argila Compactada de Escavação Obrigatória							
	Remoção de Ensecadeira	m3					125,000	18,750
	-Ácua do N. A.							
.16.23	Túnel de Desvio ou Adufas							
.16.23.12	Escavação	m3	94,00	92,878	94,00	92,878		
.16.23.12.10	Escavação Comum							
.16.23.12.11	Escavação em Rocha a Céu Aberto	m3	368,00	113,113	367,250	113,113		
	-Rocha Alterada	m3	570,00	139,780	229,799	139,780		
	-Rocha Sa	m3	1,153,00	50,882	44,130	50,882		
.16.23.12.12	Escavação Subterrânea em Rocha	m3	297,00	4,182	14,800	4,182		
.16.23.13	Limpeza e Tratamento de Fundação	m2						
	-Limpeza	m2						
	-Intervenções Sistematizadas-Chumbadores	m						
.16.23.14	Concreto	m3	2,670	13,449	2,670	13,449		
.16.23.14.13	Cimento	t	3,296,00	29,334	3,296,00	29,334		
.16.23.14.14	Concreto sem Cimento	m3	51,170,00	27,632	51,170,00	27,632		
.16.23.14.15	Armadura	t						
.16.23.23	Equipamento de Fechamento							
.16.23.23.16	Comparto Vagao							
.16.23.23.16.10	Custo FOB	vb						
.16.23.23.16.11	Transporte e Seguro	vb						
.16.23.23.16.12	Montagem e teste	vb						
	Sub-Total da Conta .12.16		479,880	479,880	479,880	479,880		
	-Obras Civis		463,350	463,350	463,350	463,350		
	-Equipamentos		15,730	15,730	15,730	15,730		
	* INCLUIDO NO VERTEDEIRO							



PÁGINA : 5 / 18

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Cz\$ 39,90

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 33s - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LEITO DO RIO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	UNID.	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C	
			CUSTO UNITARIO: (Cz\$)	TOTALS EM (Cz\$ X 1000):	CUSTO UNITARIO: (Cz\$)	TOTALS EM (Cz\$ X 1000):	CUSTO UNITARIO: (Cz\$)	TOTALS EM (Cz\$ X 1000):
.12.17	Barragens e Diques							
.17.25	De Terra e Enrocamento							
a) Barragem Principal e Ensecadeira Incorporada								
.17.25.12	Escavacao	m3	94,00	1.657,410	94,00	1.657,410	94,00	1.483,170
.17.25.12.10	Escavacao Comum			155,797		155,797		
.17.25.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao							
	.Limpeza	m2	148,00	280,390	148,00	280,390	148,00	134,150
	.Tratamento	g1		4,400		4,400		2,300
.17.25.24	Solo Compactado							
	.De Escavacao	m3	25,00	581,000	91,00	581,000	91,00	159,000
	.De Emprestimo	m3	253,00	897,000	253,00	897,000	253,00	577,000
	.De Pilha de Estoque	m3	160,00	840,000	234,00	840,000	168,00	1.497,000
.17.25.25	Enrocamento de Rocha Sa							
	.De Escavacao	m3	51,00	404,000	259,00	404,000	51,00	179,000
	.De Pilha de Estoque	m3	197,00	998,000	485,00	998,000	197,00	474,000
	.De Pedreira	m3					480,00	439,000
.17.25.26	Enrocamento de Rocha Alterada							
	.De Escavacao	m3	41,00	292,000	249,00	292,000	41,00	96,000
	.De Pilha de Estoque	m3	180,00	910,000	308,00	910,000	180,00	358,000
.17.25.29	Transicosos							
	.De Escavacao	m3	41,00	79,000	249,00	79,000	41,00	61,000
	.De Pilha de Estoque	m3	295,00	181,000	583,00	181,000	295,00	141,000
.17.25.30	Filtro Vertical							
	.De Pilha de Estoque	m3	594,00	45,000	594,00	45,000	594,00	35,000
.17.25.31	Tapete Horizontal							
	.De Pilha de Estoque	m3	585,00	219,000	585,00	219,000	585,00	171,000
.17.25.17	Outros Custos	g1		94,940		94,940		62,300
Sub-Total da Conta .12.17.25.a				1.281,481		1.965,899		1.188,942

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,98

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CHINA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEUCAO 336 - N. A. ELEUCAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C		
			QUANTIDADES:	TOTALS EM (Czs X 1000):	QUANTIDADES:	TOTALS EM (Czs X 1000):	QUANTIDADES:	TOTALS EM (Czs X 1000):	
			UNID.:	CUSTO UNITARIO: (Czs)	UNID.:	CUSTO UNITARIO: (Czs)	UNID.:	CUSTO UNITARIO: (Czs)	
b) Barragem Secundaria									
.17.25.12	Escavacao	m3	551.000	94.00	539.360	94.00	50.700		
.17.25.12.10	Escavacao Comum	m3	551.000	94.00	539.360	94.00	50.700		
.17.25.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	195.610	148.00	162.590	148.00	24.063		
		g1		4.000			4.000		
.17.25.24	Solo Compactado	m3	847.000	25.00	847.000	25.00	21.175		
	.De Escavacao	m3	847.000	25.00	847.000	25.00	21.175		
.17.25.25	Enrocamento de Rocha Sa	m3	282.000	253.00	282.000	253.00	51.106		
	.De Escavacao	m3	479.000	51.00	479.000	51.00	24.429		
	.De Emprestimo	m3							
.17.25.29	Transicao de Rocha Alterada	m3	404.000	41.00	404.000	41.00	16.564		
	.De Escavacao	m3	404.000	41.00	404.000	41.00	16.564		
.17.25.30	Filtro Vertical	m3	25.000	594.00	25.000	594.00	14.050		
.17.25.31	Tapete Horizontal	m3	151.000	585.00	151.000	585.00	88.335		
	Outros Custos	g1		94.940		94.940	94.940		
Sub-Total da Conta .12.17.25.b							396.143	390.162	

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BrAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C	
		QUANTIDADES:	TOTALS EN (Czs X 1000):	QUANTIDADES:	TOTALS EN (Czs X 1000):	QUANTIDADES:	TOTALS EN (Czs X 1000):
	c) Dique na Sela Topografica						
.17.25.12	Escavacao						
.17.25.12.10	Escavacao Coma	m3				68,710	6,459
.17.25.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao						
	.Limpeza	m2				54,000	7,992
.17.25.24	Solo Compactado						
	.De Esprestimo	m3				492,000	124,476
.17.25.25	Rip-Rap de Rocha Sa						
	.De Esprestimo	m3				44,200	51,714
.17.25.29	Transicao de Rocha Alterada						
	.De Esprestimo	m3				22,000	25,740
.17.25.30	Filtro Vertical	m3				594,000	5,346
.17.25.31	Tapete Horizontal	m3				585,000	31,005
	Outros Custos	91					47,470
	Sub-Total da Conta .12.17.25.c						300,282

PAGINA : 8 / 18

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,96

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - M. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEURO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEURO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEURO NO LETTO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C			
		UNID.	CUSTO UNITARIO: (C\$)	QUANTIDADES:	TOTAIS EM (C\$ X 1000):	UNID.	CUSTO UNITARIO: (C\$)	QUANTIDADES:	TOTAIS EM (C\$ X 1000):
.17.27	Transicoes e Muros de Concreto								
.12.17.27.12	Escavacao	m3							
.17.27.12.10	Escavacao Comum	m3	94,00	153,240				14,405	
.17.27.12.11	Escavacao em Rocha a Deu Aberto	m3	308,00	67,300				20,728	
	.Rocha Alterada	m3	570,00	10,340				5,894	
	.Rocha Sa								
	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	9,200				2,732	
	.Limpeza	91						2,508	
	.Tratamento								
	Concreto	t	5,037,00	37,580				189,290	
	Cimento	m3	3,296,00	197,790				651,916	
	Concreto sem Cimento	t	51,170,00	5,940				303,950	
	Armadura								
.17.27.27	Outros Custos	91						19,580	
	Sub-Total da Conta .12.17.27								1,210,995

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE DAMA-BRANVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 335 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LETTO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C					
		UNID.	CUSTO UNITARIO: QUANTIDADES: (Czs)	TOTALS EN (Czs X 1000):	UNID.	CUSTO UNITARIO: QUANTIDADES: (Czs)	TOTALS EN (Czs X 1000):	UNID.	CUSTO UNITARIO: QUANTIDADES: (Czs)	TOTALS EN (Czs X 1000):	
.12.18	Vertedouros, Canais de Aproximacao e Restituicao										
.18.28.12	Escavacao	m3	94,00	1,454,610	m3	94,00	2,873,000	m3	94,00	637,070	59,885
.18.28.12.10	Escavacao Comum										
.18.28.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	388,00	924,690	m3	388,00	1,496,160	m3	388,00	227,200	69,978
	.Rocha Alterada	m3	570,00	489,360	m3	570,00	988,530	m3	570,00	237,870	135,586
.18.28.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	29,170	m2	297,00	29,170	m2	297,00	36,340	9,611
.18.28.14	Concreto	t	5,037,00	31,713	t	5,037,00	31,713	t	5,037,00	67,600	340,561
.18.28.14.13	Cimento	m3	3,296,00	107,500	m3	3,296,00	107,500	m3	3,296,00	229,150	755,278
.18.28.14.14	Concreto sem Cimento	t	51,170,00	7,525	t	51,170,00	7,525	t	51,170,00	16,040	820,767
.18.28.14.15	Araadura										
.18.28.23	Equipamentos										
.18.28.23.16	Equipartas	vb		166,980	vb		166,980	vb		166,980	
.18.28.23.16.10	Custo FOB			15,720			15,720			15,720	
.18.28.23.16.11	Transporte e Seguro	vb		36,660	vb		36,660	vb		36,660	
.18.28.23.16.12	Montagem e Teste										
.18.28.23.17	Stoploys	vb		47,070	vb		47,070	vb		47,070	
.18.28.23.17.10	Custo FOB			7,830			7,830			7,830	
.18.28.23.17.11	Transporte e Seguro	vb		15,210	vb		15,210	vb		15,210	
.18.28.23.17.12	Montagem e Teste										
.18.28.23.20	Guindaste Portico	vb		7,670	vb		7,670	vb		7,670	
.18.28.23.20.10	Custo FOB			530			530			530	
.18.28.23.20.11	Transporte e Seguro	vb		1,330	vb		1,330	vb		1,330	
.18.28.23.20.12	Montagem e Teste										
.18.28.16	Instrumentacao de Controle	g1		3,596	g1		3,596	g1		3,596	7,666
.18.28.17	Outros Custos	g1		34,119	g1		34,119	g1		34,119	34,119
Sub-Total da Conta .12.18				1,939,680			2,483,703			2,522,261	
.Obras Civis				1,640,800			2,194,233			2,832,791	
.Equipamentos				299,000			289,470			289,470	

* INCLUIDO NA TOMADA D'AGUA



DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CAMA-BRAVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - M. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDEIRO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C											
		UNID.	CUSTO UNITARIO: (C\$)	QUANTIDADES:	TOTALS EM (C\$ X 1000):	UNID.	CUSTO UNITARIO: (C\$)	QUANTIDADES:	TOTALS EM (C\$ X 1000):	UNID.	CUSTO UNITARIO: (C\$)	QUANTIDADES:	TOTALS EM (C\$ X 1000):				
.12.19	Tomada d'Água																
.19.30	Tomada d'Água																
.19.30.12	Escavacao	m3	94,00	52,810	4,964	154,860	14,482	94,00	125,450								
.19.30.12.10	Escavacao Comum	m3	388,00	139,630	43,086	33,620	10,355	388,00	32,700								
.19.30.12.11	.Rocha Aliterada	m3	570,00	230,350	135,860	111,230	63,401	570,00	35,860								
.19.30.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	7,810	2,320	7,810	2,320	297,00	7,810								
.19.30.14	Concreto	t	5,037,00	22,730	114,491	22,730	114,491	5,037,00	26,950								
.19.30.14.10	Cimento	m3	3,296,00	103,300	340,477	340,477	340,477	3,296,00	122,500								
.19.30.14.11	Concreto sem Cimento	t	51,170,00	7,230	369,959	369,959	369,959	51,170,00	8,570								
.19.30.14.15	Armadura																
.19.30.23	Equipamentos																
.19.30.23.16	Equipamentos	vb	59,160		59,160		59,160		59,160								
.19.30.23.16.10	Custo FOB	vb	5,860		5,860		5,860		5,860								
.19.30.23.16.11	Transporte e Seguro	vb	12,340		12,340		12,340		12,340								
.19.30.23.16.12	Montagem e Teste	vb	9,170		9,170		9,170		9,170								
.19.30.23.17	Stoplogs	vb	1,500		1,500		1,500		1,500								
.19.30.23.17.10	Custo FOB	vb	2,910		2,910		2,910		2,910								
.19.30.23.17.11	Transporte e Seguro	vb	26,030		26,030		26,030		26,030								
.19.30.23.17.12	Montagem e Teste	vb	1,820		1,820		1,820		1,820								
.19.30.23.20	Perfuro	vb	4,580		4,580		4,580		4,580								
.19.30.23.20.10	Custo FOB	vb	29,600		29,600		29,600		29,600								
.19.30.23.20.11	Transporte e Seguro	vb	6,240		6,240		6,240		6,240								
.19.30.23.20.12	Montagem e Teste	vb	11,400		11,400		11,400		11,400								
.19.30.23.20	Grades e Limpa-Grades	vb	3,815		3,815		3,815		3,815								
.19.30.23.20.10	Custo FOB	vb	41,537		41,537		41,537		41,537								
.19.30.23.20.11	Transporte e Seguro	vb															
.19.30.23.20.12	Montagem e Teste	vb															
.19.30.16	Instrumentacao de Controle	vb	1,227,118		1,227,118		1,227,118		1,227,118								
.19.30.17	Outros Custos	gl	1,056,428		1,056,428		1,056,428		1,056,428								
	Sub-Total da Conta .12.19.30				1,70,690		1,70,690		1,70,690								
	.Obras Civis																
	.Equipamentos																



PAGINA : 11 / 18

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CARA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 333 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO NO PARCELO DIREITA E VERTEDEIRO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C			
		UNID.	CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES	TOTAIS EM (C\$ X 1000)	UNID.	CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES	TOTAIS EM (C\$ X 1000)
.12.19.31	Canal de Aducao								
.19.31.12	Escavacao								
.19.31.12.10	Escavacao Comum	m3	94,00	431,300	40,542	*	94,00	35,730	3,359
.19.31.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	388,00	479,430	147,664				
	.Rocha Alterada	m3	570,00	408,300	232,782				
	.Rocha Sa								
	Sub-Total da Conta .12.19.31				420,909				3,359

* INCLUIDO NO VERTEDEIRO



PAGINA : 12 / 18

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDEIRO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C	
		UNID.	CUSTO UNITARIO; (Czs)	TOTALS EM (Czs X 1000)	QUANTIDADES;	CUSTO UNITARIO; (Czs)	TOTALS EM (Czs X 1000)
.12.19.34	Conduto Forcado						
.19.34.23.23	Tubulacao Forcada						
.19.34.23.23.10	Custo FOB	vb	55,700	55,700		55,700	
.19.34.23.23.11	Transporte e Seguro	vb	14,620	14,620		14,620	
.19.34.23.23.12	Montagem e Teste	vb	33,420	33,420		33,420	
	Sub-Total da Conta .12.19.34		103,740	103,740		103,740	
	.Obras Civis		0	0		0	
	.Equipamentos		103,740	103,740		103,740	

PAGINA : 13 / 18

QUADRO 14.1

RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRABA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS

BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333

ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDEIRO

ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARDEH DIREITA E VERTEDEIRO NO LEITO DO RIO

DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Cz\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C	
		QUANTIDADES	TOTALS EM (Cz\$ X 1000)	QUANTIDADES	TOTALS EM (Cz\$ X 1000)	QUANTIDADES	TOTALS EM (Cz\$ X 1000)
.19.35	Canal de Fuga						
.19.35.12	Escavacao						
.19.35.12.10	Escavacao Comum	m3	46.932	m3	110.826	m3	114.035
.19.35.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	122.507	m3	139.558	m3	89.982
	.Rocha Alterada	m3	531.286	m3	636.382	m3	121.364
	.Rocha Sa						
	Sub-Total da Conta .12.19.35		700,645		886,686		325,382
.12.20	Energia Eletrica para Concreto		9,200		9,200		9,200
	Sub-Total da Conta .12		6.642,627		7.534,226		7.017,385
	.Obras Civis		6,053,467		6,954,596		6,430,175
	.Equipamentos		589,160		579,630		579,210
.12.27	Eventuais da Conta .12						
	.Eventuais sobre Obras Civis	%	15	%	15	%	15
	.Eventuais sobre Equipamentos	%	10	%	10	%	10
	TOTAL DA CONTA .12		7,689,563		8,635,379		8,441,032



DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

ENTIDDO EN : 02-may-88

/I/E/S/A/ - INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S. A.

QUADRO 14.1

RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE

USINA DE CANA-BRAGA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS

BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333

ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORCA E VERTEDEIRO

ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDEIRO NO LETTO DO RIO

DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C	
		QUANTIDADES:	TOTALS EM (C\$ X 1000):	QUANTIDADES:	TOTALS EM (C\$ X 1000):	QUANTIDADES:	TOTALS EM (C\$ X 1000):
.13	TURBINAS E GERADORES						
.13.00.23.28	Turbinas						
.13.00.23.28.10	Custo FOB	vb	1,867,770		1,867,770		1,867,770
.13.00.23.28.11	Transporte e Seguro	vb	42,740		42,740		42,740
.13.00.23.28.12	Montagem e Teste	vb	146,540		146,540		146,540
.13.00.23.28.13	Outros Custos	x	61,712	3	61,712	3	61,712
.13.00.23.16	Stoplogs do Tubo de Succao						
.13.00.23.16.10	Custo FOB	vb	95,940		95,940		95,940
.13.00.23.16.11	Transporte e Seguro	vb	7,200		7,200		7,200
.13.00.23.16.12	Montagem e Teste	vb	13,980		13,980		13,980
.13.00.23.16.13	Outros Custos	x	3,514	3	3,514	3	3,514
.13.00.23.29	Guindaste para Operacao dos Stoplogs do tubo de Succao						
.13.00.23.29.10	Custo FOB	vb	5,420		5,420		5,420
.13.00.23.29.11	Transporte e Seguro	vb	360		360		360
.13.00.23.29.12	Montagem e Teste	vb	950		950		950
.13.00.23.29.13	Outros Custos	x	203	3	203	3	203
.13.00.23.29	Geradores						
.13.00.23.29.10	Custo FOB	vb	2,026,730		2,026,730		2,026,730
.13.00.23.29.11	Transporte e Seguro	vb	44,960		44,960		44,960
.13.00.23.29.12	Montagem e Teste	vb	205,510		205,510		205,510
.13.00.23.29.13	Outros Custos	x	68,316	3	68,316	3	68,316
	Sub-Total da Conta .13		4,591,864		4,591,864		4,591,864
.13.27	Eventuais da Conta .13	x	459,186	10	459,186	10	459,186
	TOTAL DA CONTA .13		5,051,050		5,051,050		5,051,050



PAGINA : 15 / 18

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

QUADRO 14.1
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO
ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORCA E VERTEDOURO
ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

CONTA	DESCRICAO	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C	
		UNID.	CUSTO UNITARIO (C\$)	TOTALS EM (C\$ X 1000)	QUANTIDADES	TOTALS EM (C\$ X 1000)	QUANTIDADES
.14	EQUIPAMENTOS ELETRICOS ACESSORIOS						
.14.00.00.23.30.10	Custo F08	vb		338,220		338,220	
.00.00.23.30.11	Transporte e Seguro	vb		33,820		33,820	
.00.00.23.30.12	Montagem e Teste	vb		42,720		42,720	
.00.00.23.30.13	Outros Custos	z	3	12,443	3	12,443	3
	Sub-total da Conta .14			427,203		427,203	
.14.27	Eventuais da Conta .14	z	10	42,720	10	42,720	10
	TOTAL DA CONTA .14			469,923		469,923	

PAGINA : 16 / 18

ENTIDO EM : 02-May-88

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

717E/S/R/ - INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S. A.

GRUPO 14.1

RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE

USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS

BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333

ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDOURO

ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO

DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C	
			TOTALS EM (C\$ X 1000)	QUANTIDADES	TOTALS EM (C\$ X 1000)	QUANTIDADES	TOTALS EM (C\$ X 1000)	QUANTIDADES
.15	DIVERSOS EQUIPAMENTOS DA USINA							
.15.13.00.23.20	Ponte Rolante							
.13.00.23.20.10	Custo FOB	vb	43,240		43,240		43,240	
.13.00.23.20.11	Transporte e Seguro	vb	2,870		2,870		2,870	
.13.00.23.20.12	Montagem e teste	vb	9,850		9,850		9,850	
.13.00.23.20.13	Outros Custos	x	1,679	3	1,679	3	1,679	3
	Sub-Total da Conta .15		57,639		57,639		57,639	
.15.27	Eventuais da Conta .15	x	5,764	10	5,764	10	5,764	10
	TOTAL DA CONTA .15		63,403		63,403		63,403	
	CUSTO DIRETO TOTAL		16,135,746		17,090,929		16,420,238	



PAGINA : 17 / 18

ENTITDO EH : 02-May-88

/I/E/S/A/ - INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S. A.

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

QUADRO 14.1

RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE

USINA DE CHINA-BARVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS

BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333

ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORÇA E VERTEDOURO

ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO NA MARGEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO

DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C	
			TOTALS EM (C\$ X 1000)	CUSTO UNITARIO: QUANTIDADES: (C\$)	TOTALS EM (C\$ X 1000)	CUSTO UNITARIO: QUANTIDADES: (C\$)	TOTALS EM (C\$ X 1000)	CUSTO UNITARIO: QUANTIDADES: (C\$)
.17	CUSTOS INDIRETOS							
.17.21	Canteiro e Acampamento							
.21.38	Construcoes do Canteiro e Acampamento	vb	871,627	5	981,867		962,162	
.21.38.37	Outros Custos	z	43,581		45,853		48,108	
.21.39	Manutencao e Operacao do Canteiro e Acampamento	vb	274,227		288,462		317,819	
.17.22	Engenharia e Administracao do Proprietario							
.22.40	Engenharia	vb	982,320		979,613		958,120	
.22.41	Administracao do Proprietario	vb	2,076,040		2,197,957		2,185,672	
	Sub-Total da Conta .17		4,247,795		4,412,892		4,471,881	
.17.27	Eventuais da Conta .17	z	637,169	15	661,814	15	670,782	
	TOTAL DA CONTA .17		4,884,964		5,074,706		5,142,663	



PAGINA : 18 / 18

ENTIDO EM : 02-May-88

/I/E/S/A/ - INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S. A.

GUARO 14.1

RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE

USINA DE CANA-Brava - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS

BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333

ALTERNATIVA A - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

ALTERNATIVA B - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA

BARRAGEM SECUNDARIA COM CASA DE FORCA E VERTEDOURO

ALTERNATIVA C - CAPACIDADE NOMINAL 4 X 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO NA MARDEM DIREITA E VERTEDOURO NO LEITO DO RIO

DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A A		A L T E R N A T I V A B		A L T E R N A T I V A C			
		UNID.	CUSTO UNITARIO	QUANTIDADES	TOTALS EM	CUSTO UNITARIO	QUANTIDADES	TOTALS EM	
			(Czs)		(Czs X 1000)		(Czs)		(Czs X 1000)
	CUSTO TOTAL SEM JUROS		21.020,710		22.164,836		21.562,991		
1.18	JUROS DURANTE A CONSTRUCAO	24	5.044,970	24	5.319,561	24	5.175,096		
	CUSTO TOTAL COM JUROS		26.065,681		27.484,396		26.737,998		



PAGINA : 1 / 17

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = Cz\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D.	A L T E R N A T I V A D		T O T A I S E N (Cz\$ x 1000)
			C U S T O U N I T A R I O (Cz\$)	Q U A N T I D A D E S	
.10	TERRENOS E SERVIÇOS				
.10.10	Aquisição de Terras e Benfeitorias				
.10.11	Terras e Propriedades Rurais	ha	26.610,00	13,000	367,218
.10.11.10	Terras				
.10.12	Despesas Legais e de Aquisição	%		15	55,883
.10.13	Outros Custos	%		3	12,669
.10.11	RELOCACOES				
.11.14	Estradas de Rodagem	km	8.955,340,00	65	523,597
.11.16	Pontes	m	281,860	110	31,005
.11.13	Outros Custos	%		3	16,638
Sub-Total da Conta .10					1.006,209
.10.27	Eventuais da Conta .10	%		15	150,931
TOTAL DA CONTA .10					1.157,141

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 336 - M. A. ELEVACAO 303
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	A L T E R N A T I V A D O		
			C U S T O U N I T A R I O (C\$)	Q U A N T I D A D E S	T O T A I S E N (C\$ x 1000)
.11	ESTRUTURAS E OUTRAS BENFEITORIAS				
.11.12	Benfeitorias na Area da Usina	vb			82,610
.11.13	Casa de Força				
.13.00.12	Escavacao				
.13.00.12.10	Escavacao Comum	m3	94,00	36,000	3,384
.13.00.12.11	Escavacao em Rocha a Teu Aberto				
	.Rocha Alterada	m3	388,00	28,200	8,486
	.Rocha Sa	m3	570,00	83,750	47,738
.13.00.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao				
	.Limpeza	m2	297,00	7,300	2,168
.13.00.14	Concreto				
.13.00.14.13	Cimento	t	5,037,00	33,430	168,387
.13.00.14.14	Concreto sem Cimento	m3	3,388,00	111,450	388,677
.13.00.14.15	Armadura	t	47,200,00	11,150	526,280
.13.00.15	Instalacoes e Acabamentos	gl			49,416
.13.00.16	Instrumentacao de Controle	gl			4,253
.11.14	Vila dos Operadores	gl			80,190
.11.26	Sub-Total da Conta .11				1,341,788
.11.27	Eventuais da Conta .11				241,268
	TOTAL DA CONTA .11				1,543,056

PAGINA : 3 / 17

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVAÇÃO 336 - N. A. ELEVAÇÃO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDOURO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	C U S T O U N I T A R I O (C\$)	A L T E R N A T I V A D	
				Q U A N T I D A D E S	T O T A I S E N (C\$ x 1000)
.12	RESERVATORIO, BARRAGENS E ADUTORAS				
.12.15	Reservatorio				
.15.00.18	Limpeza de Reservatorio	ha	40.000,00	1,870	74,800
.15.00.21	Impacto Ecologico	vb			9,438
Sub-Total da Conta .12.15					84,238



QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
RELATORIO FINAL DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
USINA DE CAMA-BAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RIO EM PASTA ELEVACAO 336 - M. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = Czs 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D.	A L T E R N A T I V A D		
			C U S T O U N I T A R I O (Czs)	Q U A N T I D A D E S	T O T A I S E N (Czs x 1000)
.12.16	Desvio do Rio				
.16.22	Ensecadeiras de Rocha e Terra				
.16.22.19	Ensecadeira Primeira Fase	m3	51.00	37,500	1,913
	-Enrocamento Lancado	m3	25.00	87,500	2,188
.16.22.21	Remocao da Ensecadeira				
	-Acima do M. A.	m3	150.00	125,000	10,750
.16.22.29	Ensecadeira Segunda Fase				
	-Enrocamento Lancado	m3	51.00	96,700	4,932
	-Argila Compactada de Escavacao Obrigatoria	m3	25.00	49,800	1,245
.16.22.31	Remocao da Ensecadeira				
	-Abaixo do M. A.	m3	800.00	28,100	22,480
	-Acima do M. A.	m3	150.00	26,500	3,975
.16.22.32	Esgotamento	z		15	4,895
Sub-Total da Conta .12.16.22					60,376



PAGINA : 5 / 17

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDOURO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA D		TOTALS EM (C\$ x 1000)
			CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES	
.16.23	Adufas de Desvio				
.16.23.12	Escavacao	m3	94,00	16,100	1,513
.16.23.12.10	Escavacao Comum	m3	308,00	12,700	3,912
.16.23.12.11	Escavacao em Rocha a Deu Aberto .Rocha Alterada .Rocha Sa	m3	579,00	45,000	25,658
.16.23.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao .Limpeza	m2	297,00	3,100	921
.16.23.14	Concreto Estrutural	t	5,837,00	15,300	77,066
.16.23.14.13	Cimento	m3	3,388,00	51,000	168,788
.16.23.14.14	Concreto sem Cimento	t	47,200,00	3,068	144,432
.16.23.14.15	Armadura				
.16.23.23	Equipamento de Fechamento				
.16.23.23.16	Comporta Vagao	vb			29,588
.16.23.23.16.10	Custo FOB	vb			2,938
.16.23.23.16.11	Transporte e Seguro	vb			6,178
.16.23.23.16.12	Montagem e Teste	vb			
Sub-Total da Conta .12.16.23					468,882
.Obras Civis					422,282
.Equipamentos					38,688

31.075 x 16.735



PAGINA : 6 / 17

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$5 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	A L T E R N A T I V A D		T O T A I S E M (C\$ x 1000)
			C U S T O U N I T A R I O (C\$)	Q U A N T I D A D E S	
.12.17	Barragens e Diques				
.17.25	De Terra e Enrocamento				
.17.25.12	Escavacao	m3	94.00	88.040	8.276
.17.25.12.10	Escavacao Coara				
.17.25.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao .Limpeza	m2	148.00	69.190	10.240
.17.25.24	Solo Compactado (Nucleo) .De Escavacao .De Emprestimo	m3 m3	25.00 253.00	97.400 492.000	2.435 124.476
.17.25.25	Enrocamento de Rocha Sa .De Escavacao Rip-Rap e Protecao de Talude de Rocha Sa .De Emprestimo	m3 m3	51.00 1.170.00	18.400 44.200	938 51.714
.17.25.29	Transicao de Rocha Alterada .De Escavacao .De Emprestimo	m3 m3	41.00 1.170.00	9.200 22.000	377 25.740
.17.25.30	Filtro Vertical	m3	594.00	11.000	6.534
.17.25.31	Tapete Horizontal	m3	505.00	62.000	36.270
.12.27	Outros Custos	91			47.470
	Sub-Total da Conta .12.17.25				314.470

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1,00 = C\$ 37,90

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A D			T O T A L S E N (C\$ x 1000)
		U N I D .	C U S T O U N I T A R I O (C\$)	Q U A N T I D A D E S	
.12.17.26	Barragem de Concreto Compactado				
.17.26.12	Escavacao	m3	94,00	654,400	61,521
.17.26.12.10	Escavacao Comum				
	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	300,00	80,790	24,803
	.Rocha Alterada				
.17.26.13	Lispeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	23,600	7,009
	.Lispeza				
	.Tratamento	g1			4,800
.17.26.14.	Concreto				
.17.26.14.13	Cimento e Pozolana	t	5,037,00	77,410	389,914
	.Cimento				
	.Pozolana	t	5,092,00	147,210	749,593
.17.26.14.14	Concreto sem Cimento				
	.Concreto Compactado do Nucleo	m3	1,407,00	713,030	1,068,276
	.Concreto de Elemento de Face	m3	2,843,00	61,100	173,707
.17.26.16	Instrumentacao de Controle	g1			9,494
.17.26.17	Outros Custos	g1			93,460
	Sub-Total da Conta .12.17.26				2,574,658

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVAÇÃO 336 - N. A. ELEVAÇÃO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDOURO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = Czs 397,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D.	A L T E R N A T I V A D		
			C U S T O U N I T A R I O (Czs)	Q U A N T I D A D E S	
			T O T A L I S E N (Czs x 1000)		
.12.18	Vertedouros, Canais de Aproximacao e Restituicao				
.18.28.12	Escavacao	m3	94,00	78,300	7,360
.18.28.12.10	Escavacao Comum				
.18.28.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	578,00	28,700	16,359
	.Rocha Sa				
.18.28.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	12,200	3,623
	.Limpeza				
.18.28.14	Concreto Estrutural	t	5,837,00	15,440	78,779
.18.28.14.13	Cimento	m3	3,398,00	53,000	175,324
.18.28.14.14	Concreto sem Cimento	t	47,200,00	3,710	175,112
.18.28.14.15	Armadura				
.18.28.23	Equipamentos				
.18.28.23.16	Comportas				
.18.28.23.16.10	Custo FOB	vb			166,980
.18.28.23.16.11	Transporte e Seguro	vb			15,720
.18.28.23.16.12	Montagem e Teste	vb			36,660
.18.28.23.17	Stoplogs				
.18.28.23.17.10	Custo Fob	vb			47,070
.18.28.23.17.11	Transporte e Seguro	vb			7,830
.18.28.23.17.12	Montagem e Teste	vb			15,210
.18.28.23.20	Guindaste Portico				
.18.28.23.20.10	Custo Fob	vb			7,670
.18.28.23.20.11	Transporte e Seguro	vb			530
.18.28.23.20.12	Montagem e Teste	vb			1,330
.18.28.16	Instrumentacao de Controle	vb			1,717
.18.28.17	Outros Custos				34,119
Sub-Total da Conta .12.18					791,393
.Obras Civis					492,393
.Equipamentos					299,000



QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 336 - M. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FONCA, VERTEDOURO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = Czs 30,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D.	C U S T O U N I T A R I O (Czs)	A L T E R N A T I V A D	
				Q U A N T I D A D E S	T O T A I S E N (Czs x 1000)
.12.19	Tomada d'Agua				
.19.30	Tomada d'Agua				
.19.30.12	Escavacao	m3	94,00	32,250	3,032
.19.30.12.10	Escavacao Comca	m3	380,00	25,500	7,854
.19.30.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	570,00	90,000	51,300
	- Rocha Alterada				
	- Rocha Sa				
.19.30.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	6,200	1,841
	- Limpeza				
.19.30.14	Concreto Estrutural	t	5,837,00	22,470	113,181
.19.30.14.13	Cimento	m3	3,308,00	192,130	337,846
.19.30.14.14	Concreto sem Cimento	t	47,200,00	7,150	337,480
.19.30.14.15	Armadura				
.19.30.23	Equipamentos				
.19.30.23.16	Coporta	vb			59,160
.19.30.23.16.10	Custo FOB	vb			5,860
.19.30.23.16.11	Transporte e Seguro	vb			12,340
.19.30.23.16.12	Montagem e Teste	vb			
.19.30.23.17	Stopplos	vb			9,170
.19.30.23.17.10	Custo Fob	vb			1,500
.19.30.23.17.11	Transporte e Seguro	vb			2,910
.19.30.23.17.12	Montagem e Teste	vb			
.19.30.23.20	Portico	vb			26,030
.19.30.23.20.10	Custo FOB	vb			1,820
.19.30.23.20.11	Transporte e Seguro	vb			4,500
.19.30.23.20.12	Montagem e Teste	vb			
.19.30.23.20	Grades e Limpa-Grades	vb			28,680
.19.30.23.20.10	Custo FOB	vb			6,240
.19.30.23.20.11	Transporte e Seguro	vb			11,400
.19.30.23.20.12	Montagem e Teste	vb			
.19.30.16	Instrumentacao de Controle	vb			3,154
.19.30.17	Outros Custos	z			41,537
Sub-Total da Conta .12.19.30					
.1.667,915					
.Obras Civis					
.Equipamentos					
170,690					

PAGINA : 10 / 17

QUADRO 14.2
RELATÓRIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CIMA-BRAVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RÍDO EM PASTA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	C U S T O U N I T A R I O (C\$)	A L T E R N A T I V A D	
				Q U A N T I D A D E S	T O T A I S E N (C\$ x 1000)
.12.19.31	Canal de Aducao				
.19.31.12	Escavacao	m3	94.00	337.590	31.733
.19.31.12.10	Escavacao Comum				
.19.31.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	348.00	185.840	57.239
	.Rocha Alternada	m3	570.00	230.220	131.225
	.Rocha Sa				
Sub-Total da Conta .12.19.31					220.198

PAGINA : 11 / 17

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 334 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDOURO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D.	A L T E R N A T I V A D	
			C U S T O U N I T A R I O (C\$)	T O T A I S E N (C\$ x 1000)
.12.19.34	Conduto Forçado			
.19.34.23.23	Tubulacao Forçada			55,700
.19.34.23.23.10	Custo F08	91		14,620
.19.34.23.23.11	Transporte e Seguro	91		33,420
.19.34.23.23.12	Montagem e Teste	91		
Sub-Total da Conta .12.19.34				
.Obras Civis				
.Equipamentos				
				103,740
				103,740

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CAMA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVAÇÃO 336 - N. A. ELEVAÇÃO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = Czs 37,90

C O N T A	D E S C R I C A O	A L T E R N A T I V A D			T O T A L S E N (Czs x 1000)
		U N I D.	C U S T O U N I T A R I O (Czs)	Q U A N T I D A D E S	
.19.35	Canal de Fuga				
.19.35.12	Escavacao	m3	94.00	477.100	44.847
.19.35.12.10	Escavacao Comum				
.19.35.12.11	Escavacao em Rocha a Dev Aberto	m3	388.00	316.650	97.528
	.Rocha Alterada	m3	570.00	333.820	109.821
	.Rocha Sa				
	Sub-Total da Conta .12.19.35				332.197
.12.20	Energia Eletrica para Concreto				
	.Estrutural	g1			4.830
	.Compactado	g1			12.190
	Sub-Total da Conta .12.20				17.020
	Sub-Total da Conta .12				6.827.880
	.Obras Civis				5.414.970
	.Equipamentos				612.110
.12.27	Eventuais da Conta .12				
	.Eventuais sobre Obras Civis	%		15	812.245
	.Eventuais sobre Equipamentos	%		10	61.211
	TOTAL DA CONTA .12				6.949.536

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVAÇÃO 336 - N. A. ELEVAÇÃO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDOURO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIBUJE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	A L T E R N A T I V A D		T O T A I S E M (C\$ x 1000)
			C U S T O U N I T A R I O (C\$)	Q U A N T I D A D E S	
1.13	TURBINAS E GERADORES				
1.13.13.00.23.28	Turbinas	vb			1.067.770
1.13.00.23.28.10	Custo F08	vb			42.740
1.13.00.23.28.11	Transporte e Seguro	vb			146.540
1.13.00.23.28.12	Montagem e Teste	z		3	61.712
1.13.00.23.28.13	Outros Custos				
1.13.00.23.16	Stoplogs do Tubo de Succao				
1.13.00.23.16.10	Custo F08	vb			95.940
1.13.00.23.16.11	Transporte e Seguro	vb			7.200
1.13.00.23.16.12	Montagem e Teste	vb			13.980
1.13.00.23.16.13	Outros Custos	z		3	3.514
1.13.00.23.20	Buidaste para Operacao dos Stoplogs do Tubo de Succao				
1.13.00.23.20.10	Custo F08	vb			5.420
1.13.00.23.20.11	Transporte e Seguro	vb			380
1.13.00.23.20.12	Montagem e Teste	vb			950
1.13.00.23.20.13	Outros Custos	z		3	283
1.13.00.23.29	Geradores				
1.13.00.23.29.10	Custo F08	vb			2.026.730
1.13.00.23.29.11	Transporte e Seguro	vb			44.960
1.13.00.23.29.12	Montagem e Teste	vb			205.510
1.13.00.23.29.13	Outros Custos	z		3	68.316
	Sub-total da Conta .13				4.591.864
1.13.27	Eventuais da Conta .13	z		10	459.186
	TOTAL DA CONTA .13				5.051.050

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELEÇÃO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELETRICAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDOURO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,98

CONTA	DESCRICAO	UNID.	CUSTO UNITARIO (C\$)	ALTERNATIVA D	
				QUANTIDADES	TOTALS EM (C\$ x 1000)
14	EQUIPAMENTOS ELETRICOS ACESSORIOS				
14.00.23.30.10	Custo FOB	vb			338,220
00.00.23.30.11	Transporte e Seguro	vb			33,820
00.00.23.30.12	Montagem e Teste	vb			42,720
00.00.23.30.13	Outros Custos	z		3	12,440
	Sub-Total da Conta .14				427,200
14.27	Eventuais da Conta .14	z		10	42,720
	TOTAL DA CONTA .14				469,920

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVAÇÃO 306 - N. A. ELEVAÇÃO 303
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDOURO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	A L T E R N A T I V A D	
			C U S T O U N I T A R I O (C\$)	T O T A I S E N (C\$ x 1000)
.15	DIVERSOS EQUIPAMENTOS DA USINA			
.15.13.00.23.20	Ponte Rolante			43.240
.13.00.23.20.10	Custo FOB	v6		2.570
.13.00.23.20.11	Transporte e Seguro	v6		9.850
.13.00.23.20.12	Montagem e Teste	v6		1.679
.13.00.23.20.13	Outros Custos	x	3	
	Sub-Total da Conta .15			57.639
.15.27	Eventuais da Conta .15	x	10	5.764
	TOTAL DA CONTA .15			63.403
	CUSTO DIRETO TOTAL			15.185.109

QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CIMA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ABRANHO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 336 - M. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1,00 = C\$ 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA D		TOTALS EM (C\$ x 1000)
			CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES	
.17	CUSTOS INDIRETOS				
.17.21	Canteiro e Acampamento				
.21.38	Construcoes do Canteiro e Acampamento	vb			1,184,281
.21.38.37	Outros Custos	x			59,214
.21.39	Manutencao e Operacao do Canteiro e Acampamento	vb			424,767
.17.22	Engenharia e Administracao do Proprietario				
.22.40	Engenharia	vb			948,440
.22.41	Administracao do Proprietario	vb			2,276,632
	Sub-Total da Conta .17				4,887,334
.17.27	Eventuais da Conta .17	x		15	733,100
	TOTAL DA CONTA .17				5,620,434



QUADRO 14.2
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DE SELECAO DO ARRANJO GERAL - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO RICO EM PASTA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
ALTERNATIVA D - CAPACIDADE NOMINAL 4 x 120 MU - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA, VERTEDEIRO E DESVIO DO RIO NA MARGEM DIREITA
DIQUE NA SELA TOPOGRAFICA

DATA BASE : JUN / 87
US\$ 1.00 = C\$ 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	CUSTO UNITARIO (C\$)	ALTERNATIVA D	
				QUANTIDADES	TOTALS EM (C\$ x 1000)
CUSTO TOTAL SEM JUROS					20.794,853
JUROS DURANTE A CONSTRUCAO				20	4.158,971
CUSTO TOTAL COM JUROS					24.953,824



PAGINA : 1 / 16

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVAÇÃO 336 - N. A. ELEVAÇÃO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES
			TOTALS (C\$ X 1000)	
.10	TERRENOS E SERVIÇOS			
.10.10	Aquisicao de Terras e Benfeitorias			
.10.11	Terrenos e Propriedades Rurais	ha	26.610,00	367.218
.10.11.10	Terrenos			13.800
.10.12	Despesas Legais e de Aquisicao	X		15
.10.13	Outros Custos	X		3
.10.11	RELOCACOES			
.11.14	Estradas de Rodagem	Km	8.055.340,00	523.597
.11.16	Pontes	m	281.860	31.005
.11.13	Outros Custos	X		3
Sub-Total da Conta .10				1.046.209
.10.27	Eventuais da Conta .10	X		15
TOTAL DA CONTA .10				1.157.141

42.230,9 = US\$

54602 : 39,9 = US\$



QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,98

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (C\$)	TOTALS (C\$ X 1000)
.11	ESTRUTURAS E OUTRAS BENFEITORIAS			
.11.12	Benfeitorias na Area da Usina	vb		82,610
.11.13	Casa de Força			
.13.00.12	Escavacao	m3	94,00	3,109
.13.00.12.10	Escavacao Comum	m3	368,00	24,917
.13.00.12.11	Escavacao em Rocha a Teu Aberto	m3	570,00	127,375
	.Rocha Alterada			
	.Rocha Sa			
.13.00.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	1,111
	.Limpeza			
.13.00.14	Concreto	t	5,837,00	136,402
.13.00.14.13	Cimento	m3	3,296,00	297,563
.13.00.14.14	Concreto sem Cimento	t	51,170,00	462,065
.13.00.14.15	Armadura			
.13.00.15	Instalacoes e Acabamentos	91		105,256
.13.00.16	Instrumentacao de Controle	91		3,584
.11.14	Vila dos Operadores	91		48,760
.11.26	Sub-Total da Conta .11			1,292,972
.11.27	Eventuais da Conta .11	X	15	193,946
	TOTAL DA CONTA .11			1,486,918

PAGINA : 3 / 16

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - M. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORCA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D.	A L T E R N A T I V A S E L E C I O N A D A	
			C U S T O U N I T A R I O (C\$)	Q U A N T I D A D E S
			T O T A L S (C\$ X 1000)	
.12	RESERVATORIO, BARRAGENS E ADUTORAS			

.12.15	Reservatorio			

.15.00.18	Limpeza de Reservatorio	ha	40.000.00	74.800
.15.00.21	Impacto Ecologico	vb		9.430
Sub-Total da Conta .12.15				84.230

PAGINA : 4 / 16

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES TOTALS (C\$ X 1000)
.12.16	Desvio do Rio			
.16.23	Tunel de Desvio			
.16.23.12	Escavacao	m3	94,00	92,878
.16.23.12.10	Escavacao Comum	m3	308,00	113,113
.16.23.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto - Rocha Alterada - Rocha Sa	m3	570,00	130,908
.16.23.12.12	Escavacao Subterranea em Rocha	m3	1,153,00	50,882
.16.23.13	Limpeza e Tratamento de fundacao - Limpeza - Intervencoes Sistematicas-Chubadores - Concreto	m2	297,00	4,182
.16.23.14	Concreto	gl		900
.16.23.14.13	Cimento	t	5,037,00	13,449
.16.23.14.14	Concreto sem Cimento	m3	3,296,00	29,334
.16.23.14.15	Armadura	t	540	27,632
.16.23.23	Equipamento de Fechamento			
.16.23.23.16	Comporta Vagao			
.16.23.23.16.10	Custo FOB	vb		12,240
.16.23.23.16.11	Transporte e Seguro	vb		1,140
.16.23.23.16.12	Montagem e Teste	vb		2,350
Sub-Total da Conta .12.16.23				
-Obras Civis				
-Equipamentos				
			479,800	
			463,350	
			15,730	



PAGINA : 5 / 16

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CIMA-BAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - M. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEBUQUO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA		
			CUSTO UNITARIO (Czs)	QUANTIDADES	
			TOTALIS (Czs X 1000)		
.12.17	Barragens e Diques				
.17.25	De Terra e Enrocamento				
a) Barragem Principal, Ensecadeira e Pre-Ensecadeira Incorporadas					
.17.25.12	Escavacao	m3	94.00	1.439.470	135.310
.17.25.12.10	Escavacao Comum	m3	90.00	99.000	8.910
.17.25.13	Dragagem				
	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	148.00	280.390	41.498
	.Liapeza	q1			4.400
	.Tratamento	q1			17.100
.17.25.24	Esgotamento				
	Solo Compactado	m3	25.00	587.000	14.675
	.De Escavacao Obrigatoria	m3	253.00	988.000	249.944
	.De Emprestimo	m3	168.00	1.760.000	295.680
.17.25.25	Enrocamento de Rocha Sa				
	.De Escavacao Obrigatoria	m3	51.00	301.000	15.251
	.De Pilha de Estoque	m3	197.00	890.000	175.330
.17.25.26	Enrocamento de Rocha Alterada				
	.De Escavacao Obrigatoria	m3	41.00	142.000	5.822
	.De Pilha de Estoque	m3	180.00	430.000	77.400
.17.25.29	Transicoes				
	.De Escavacao Obrigatoria	m3	41.00	55.000	2.255
	.De Pilha de Estoque	m3	285.00	150.000	44.250
.17.25.30	Filtro Vertical	m3	594.00	55.000	32.670
.17.25.31	Tapete Horizontal	m3	585.00	145.000	84.825
.17.25.17	Outros Custos	q1			94.940
Sub-total da Conta .12.17.25.a					1.300.380

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D.	A L T E R N A T I V A S E L E C I O N A D A		
			C U S T O U N I T A R I O (C\$)	Q U A N T I D A D E S	T O T A I S (C\$ X 1000)
b) Barragem Secundaria					
.17.25.12	Escavacao	m3	94,00	551,000	51,794
.17.25.12.10	Escavacao Comum				
.17.25.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	148,00	195,610	28,958
	Limpeza	g)			4,000
	Tratamento				
	Protecao de Talude	m2	100,00	97,000	9,700
	Plantio de Grama				
.17.25.24	Solo Compactado				
	.De Escavacao Obrigatoria	m3	25,00	700,000	17,500
	.De Emprestio	m3	253,00	255,000	64,515
	.De Pilha de Estoque	m3	168,00	232,000	38,976
.17.25.25	Enrocamento de Rocha Sa				
	.De Escavacao Obrigatoria	m3	51,00	350,000	17,850
	.De Pilha de Estoque	m3	197,00	169,000	33,293
.17.25.29	Transicao de Rocha Alterada				
	.De Escavacao Obrigatoria	m3	41,00	116,000	4,756
.17.25.30	Filtro Vertical	m3	594,00	44,000	26,136
.17.25.31	Tapete Horizontal	m3	585,00	121,000	70,785
	Outros Custos	g)			94,940
Sub-Total da Conta .12.17.25.b					463,195



QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVAÇÃO 336 - H. A. ELEVAÇÃO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	A L T E R N A T I V A S E L E C I O N A D A		
			C U S T O U N I T A R I O (Czs)	Q U A N T I D A D E S	T O T A L S (Czs X 1000)
.12.18	Vertedouros, Canais de Aproximacao e Restituicao				
.18.28.12	Escavacao	m3	94,00	1,454,610	136,733
.18.28.12.10	Escavacao Comum	m3			
.18.28.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto .Rocha Alterada .Rocha Sa	m3	388,00 578,00	924,690 480,300	284,885 273,771
.18.28.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	29,170	8,663
.18.28.14	Concreto	t	5,037,00	31,713	159,738
.18.28.14.13	Concreto sem Cimento	m3	3,276,00	107,500	354,320
.18.28.14.14	Armadura	t	51,178,00	7,525	385,654
.18.28.23	Equipamentos				
.18.28.23.16	Emporitas				
.18.28.23.16.10	Custo FOB	vb			166,980
.18.28.23.16.11	Transporte e Seguro	vb			15,720
.18.28.23.16.12	Montagem e Teste	vb			36,660
.18.28.23.17	Stoplogs				
.18.28.23.17.10	Custo FOB	vb			47,070
.18.28.23.17.11	Transporte e Seguro	vb			7,830
.18.28.23.17.12	Montagem e Teste	vb			15,210
.18.28.23.20	Bundaste Portico				
.18.28.23.20.10	Custo FOB	vb			7,670
.18.28.23.20.11	Transporte e Seguro	vb			530
.18.28.23.20.12	Montagem e Teste	vb			1,330
.18.28.16	Instrumentacao de Controle	gl			3,596
.18.28.17	Outros Custos	gl			34,119
Sub-Total da Conta .12.18					1,939,800
.Obras Civis					1,640,800
.Equipamentos					299,000



PAGINA : 8 / 16

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA		
			CUSTO UNITARIO (Czs)	QUANTIDADES	TOTALIS (Czs X 1000)
.12.19	Tomada d'Água				
.19.30	Tomada d'Água	m3	94,00	51,190	4,812
.19.30.12	Escavacao	m3	308,00	129,930	40,018
.19.30.12.10	Escavacao Comum	m3	570,00	212,430	121,065
.19.30.12.11	- Rocha Alterada				
	- Rocha Sa				
.19.30.13	Limpeza e Tratamento de Fundacao	m2	297,00	6,330	1,880
.19.30.14	Concreto	t	5,037,00	17,050	85,881
.19.30.14.13	Cimento	m3	3,296,00	77,480	255,374
.19.30.14.14	Concreto sem Cimento	t	51,170,00	5,420	277,341
.19.30.14.15	Armadura				
.19.30.23	Equipamentos				
.19.30.23.16	Coerpta	vb			44,370
.19.30.23.16.10	Custo FOB	vb			4,390
.19.30.23.16.11	Transporte e Seguro	vb			9,260
.19.30.23.16.12	Montagem e Teste				
.19.30.23.17	Stoplogs				
.19.30.23.17.10	Custo FOB	vb			9,170
.19.30.23.17.11	Transporte e Seguro	vb			1,500
.19.30.23.17.12	Montagem e Teste	vb			2,910
.19.30.23.20	Partico				
.19.30.23.20.10	Custo FOB	vb			26,030
.19.30.23.20.11	Transporte e Seguro	vb			1,820
.19.30.23.20.12	Montagem e Teste	vb			4,580
.19.30.23.20	Grades e Limpa-Grades				
.19.30.23.20.10	Custo FOB	vb			22,260
.19.30.23.20.11	Transporte e Seguro	vb			4,680
.19.30.23.20.12	Montagem e Teste	vb			8,560
.19.30.16	Instrumentacao de Controle	vb			3,815
.19.30.17	Outros Custos	91			41,537
Sub-Total da Conta .12.19.20					971,274
-Obras Civis					831,744
-Equipamentos					139,530



PAGINA : 9 / 16

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,90

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CIMA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - H. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RITO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA		
			CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES	TOTAIS (C\$ X 1000)
.12.19.31	Canal de Aducao				
.19.31.12	Escavacao	m3	94,00	382,410	36,041
.19.31.12.10	Escavacao Comum				
.19.31.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	388,00	401,880	123,779
	.Rocha Alterada	m3	570,00	338,890	193,167
	.Rocha Sa				
Sub-Total da Conta .12.19.31					352,987

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 140 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (Czs)	TOTALS (Czs X 1000)
.12.19.34	Conduto Forcado			
.19.34.23.23	Tubulacao Forcada			
.19.34.23.23.10	Custo FOB	vb		41,700
.19.34.23.23.11	Transporte e Seguro	vb		10,970
.19.34.23.23.12	Montagem e Teste	vb		25,070
Sub-Total da Conta .12.19.34				
.Obras Civis				
.Equipamentos				
				77,820
				77,820

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CAMA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - H. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDEIRO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,96

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES
			TOTALS (C\$ X 1000)	
.19.35	Canal de Fuga			
.19.35.12	Escavacao	m3	94,00	37,469
.19.35.12.10	Escavacao Comum			
.19.35.12.11	Escavacao em Rocha a Ceu Aberto	m3	308,00	182,992
	.Rocha Alterada	m3	578,00	403,919
	.Rocha Sa			
	Sub-Total da Conta .12.19.35			544,381
.12.20	Energia Eletrica para Concreto	g		9,200
	Sub-Total da Conta .12			6,222,346
	.Obras Civis			5,699,266
	.Equipamentos			523,080
.12.27	Eventuais da Conta .12			
	.Eventuais sobre Obras Civis	X		853,540
	.Eventuais sobre Equipamentos	Z	10	53,288
	TOTAL DA CONTA .12			7,129,094



PAGINA : 12 / 16

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANH-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 140 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA ONDREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Cz\$ 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (Cz\$)	QUANTIDADES
				TOTAIS (Cz\$ X 1000)
.13	TURBINAS E GERADORES			
---	---			
.13.13.00.23.28	Turbinas	vb		1.846,560
.13.00.23.28.10	Custo FOB	vb		40,790
.13.00.23.28.11	Transporte e Seguro	vb		139,870
.13.00.23.28.12	Montagem e Teste	z	3	60,817
.13.00.23.28.13	Outros Custos			
.13.00.23.16	Stoplogs do Tubo de Succao			
.13.00.23.16.10	Custo FOB	vb		95,940
.13.00.23.16.11	Transporte e Seguro	vb		7,200
.13.00.23.16.12	Montagem e Teste	vb		13,980
.13.00.23.16.13	Outros Custos	z	3	3,514
.13.00.23.20	Guindaste para Operacao dos Stoplogs do Tubo de Succao			
.13.00.23.20.10	Custo FOB	vb		5,420
.13.00.23.20.11	Transporte e Seguro	vb		380
.13.00.23.20.12	Montagem e Teste	vb		950
.13.00.23.20.13	Outros Custos	z	3	203
.13.00.23.29	Geradores			
.13.00.23.29.10	Custo FOB	vb		1.907,030
.13.00.23.29.11	Transporte e Seguro	vb		45,640
.13.00.23.29.12	Montagem e Teste	vb		288,640
.13.00.23.29.13	Outros Custos	z	3	64,800
Sub-Total da Conta .13				4.441,793
.13.27	Eventuais da Conta .13	z	10	444,179
TOTAL DA CONTA .13				4.885,972

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 37,90

C O N T A	D E S C R I C A O	U N I D .	A L T E R N A T I V A S E L E C I O N A D A		
			C U S T O U N I T A R I O (C\$)	Q U A N T I D A D E S	T O T A L S (C\$ X 1000)
.14	EQUIPAMENTOS ELETRICOS ACESSORIOS				
---	---				
.14.00.00.23.30.10	Custo FOB	vb			275,920
.00.00.23.30.11	Transporte e Seguro	vb			27,570
.00.00.23.30.12	Montagem e Teste	vb			42,720
.00.00.23.30.13	Outros Custos	x		3	10,387
	Sub-Total da Conta .14				356,617
.14.27	Eventuais da Conta .14	x		10	35,662
	TOTAL DA CONTA .14				392,279

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDURO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,99

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES TOTAIS (C\$ X 1000)
.15	DIVERSOS EQUIPAMENTOS DA USINA			

.15.13.00.23.20	Ponte Rolante	vb		43,240
.13.00.23.20.10	Custo FOB	vb		2,870
.13.00.23.20.11	Transporte e Seguro	vb		9,854
.13.00.23.20.12	Montagem e Teste	z	3	1,679
.13.00.23.20.13	Outros Custos			
	Sub-Total da Conta .15			57,639
.15.27	Eventuais da Conta .15	z	10	5,764
	TOTAL DA CONTA .15			63,403
	CUSTO DIRETO TOTAL			15,114,806

PAGINA : 15 / 16

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CAMA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - H. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 160 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VERTEDOURO

DATA BASE : JUN/87
US\$ 1 = Czs 39,90

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (Czs)	QUANTIDADES
			TOTALS (Czs X 1000)	
.17	CUSTOS INDIRETOS			
.17.21	Canteiro e Acampamento			
.21.38	Construcoes do Canteiro e Acampamento	vb		815,317
.21.38.37	Outros Custos	z		49,766
.21.39	Manutencao e Operacao do Canteiro e Acampamento	vb	5	247,115
.17.22	Engenharia e Administracao do Proprietario			
.22.40	Engenharia	vb		981,933
.22.41	Administracao do Proprietario	vb		1,923,452
Sub-Total da Conta .17				4,488,583
.17.27	Eventuais da Conta .17	z	15	681,287
TOTAL DA CONTA .17				4,689,870

PAGINA 16 / 16

ENTIDO EN 02-MAY-88

/I/E/SA/ - INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S. A.

QUADRO 14.3
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CAMA-BRAVA - ESTUDO DA ALTERNATIVA SELECIONADA - ESTIMATIVA DE CUSTOS
BARRAGEM DE TERRA ELEVACAO 336 - N. A. ELEVACAO 333
CAPACIDADE NOMINAL 3 X 168 MW - BARRAGEM PRINCIPAL COM CASA DE FORÇA E DESVIO DO RIO NA OMBREIRA ESQUERDA
BARRAGEM SECUNDARIA COM VENTEDOURO

DATA BASE 1-JUN/87
US\$ 1 = C\$ 39,98

CONTA	DESCRICAO	UNID.	ALTERNATIVA SELECIONADA	
			CUSTO UNITARIO (C\$)	QUANTIDADES
			TOTALS (C\$ X 1000)	
	CUSTO TOTAL SEM JUROS			19,724,676
.18	JUROS DURANTE A CONSTRUCAO	%	24.41	4,814,793
	CUSTO TOTAL COM JUROS			24,539,479



QUADRO 14.4
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ALTERNATIVA EM CONCRETO COMPACTADO
RESUMO DO CRONOGRAMA ECONOMICO

	1990											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
11 - DESEMBOLSO	0	0	85.402	256.286	341.688	341.688	293.956	264.781	168.832	179.125	163.612	224.269
12 - DESEMBOLSO ACUMULADO			85.402	341.688	683.376	1.024.964	1.318.780	1.583.561	1.743.592	1.922.717	2.086.330	2.310.599
13 - VETORES	4.291.667	4.288.333	4.125.000	4.041.667	3.958.333	3.875.000	3.791.667	3.708.333	3.625.000	3.541.667	3.458.333	3.375.000
14 - JUROS COMPOSTOS NO PERIODO	0	0	41.134	120.398	156.558	152.617	127.984	112.256	66.044	71.922	63.879	85.895
15 - JUROS ACUMULADOS	0	0	48.786	159.431	312.767	460.491	582.343	687.386	745.685	809.837	863.851	939.898
16 - INVESTIMENTO ACUMULADO	0	0	126.188	581.039	995.923	1.405.315	1.981.123	2.270.947	2.489.197	2.731.755	2.950.181	3.249.589

	1991											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
11 - DESEMBOLSO	468.670	471.575	588.300	410.940	204.594	198.314	195.484	207.432	184.261	217.043	155.940	161.214
12 - DESEMBOLSO ACUMULADO	2.779.269	3.250.844	3.839.144	4.250.084	4.462.679	4.660.993	4.856.396	5.043.828	5.240.089	5.465.132	5.631.073	5.782.286
13 - VETORES	3.291.667	3.288.333	3.125.000	3.041.667	2.958.333	2.875.000	2.791.667	2.708.333	2.625.000	2.541.667	2.458.333	2.375.000
14 - JUROS COMPOSTOS NO PERIODO	172.714	168.679	204.112	148.888	66.641	62.516	59.565	61.091	52.379	59.493	41.173	46.953
15 - JUROS ACUMULADOS	1.101.921	1.259.365	1.458.409	1.591.297	1.657.938	1.726.454	1.788.019	1.841.110	1.893.489	1.952.983	1.994.155	2.035.188
16 - INVESTIMENTO ACUMULADO	3.881.198	4.510.149	5.289.553	5.849.381	6.120.617	6.381.447	6.636.416	6.984.938	7.141.578	7.418.115	7.615.228	7.817.395

	1992											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
11 - DESEMBOLSO	168.498	1.279.424	534.787	228.187	1.238.469	212.649	250.433	1.319.513	478.513	626.916	1.669.881	673.885
12 - DESEMBOLSO ACUMULADO	5.942.776	7.222.200	7.756.987	7.985.174	9.223.644	9.436.292	9.686.725	11.006.238	11.484.751	12.111.667	13.781.548	14.454.553
13 - VETORES	2.291.667	2.288.333	2.125.000	2.041.667	1.958.333	1.875.000	1.791.667	1.708.333	1.625.000	1.541.667	1.458.333	1.375.000
14 - JUROS COMPOSTOS NO PERIODO	39.177	289.726	128.861	49.018	254.139	41.889	46.633	233.325	88.159	99.229	249.888	94.239
15 - JUROS ACUMULADOS	2.074.285	2.374.011	2.494.872	2.543.898	2.797.229	2.830.838	2.885.471	3.118.796	3.198.955	3.298.184	3.517.192	3.641.438
16 - INVESTIMENTO ACUMULADO	8.017.062	9.596.212	10.251.059	10.528.244	12.060.873	12.275.138	12.572.198	14.125.834	14.683.766	15.489.851	17.328.748	18.895.983



71/E/S/A/ - INTERNACIONAL DE ENGENHARIA S. A.

QUADRO 14.4
RELATORIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CARA-BAVA - ALTERNATIVA EM CONCRETO COMPACTADO
RESUMO DO CRONOGRAMA ECONOMICO

	1993												1994												1995													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
11 - DESEMBOLSO	723.417	758.786	937.276	582.402	480.484	349.107	347.021	316.832	252.814	192.316	144.529	123.175	118.354	115.879	113.412	110.953	109.724	108.495	106.037	104.807	103.578	101.120	99.891	74.918	118.354	115.879	113.412	110.953	109.724	108.495	106.037	104.807	103.578	101.120	99.891	74.918		
12 - DESEMBOLSO ACUMULADO	15.177.970	15.936.756	16.874.032	17.376.434	17.776.918	18.126.035	18.473.047	18.789.879	19.042.693	19.235.009	19.379.530	19.502.713	19.621.067	19.736.945	19.850.357	19.961.311	20.071.835	20.179.530	20.285.566	20.390.374	20.493.952	20.595.072	20.694.762	20.789.880	20.794.853	19.621.067	19.736.945	19.850.357	19.961.311	20.071.835	20.179.530	20.285.566	20.390.374	20.493.952	20.595.072	20.694.762	20.789.880	20.794.853
13 - VETORES	1.291.667	1.208.333	1.125.000	1.041.667	0.958.333	0.875.000	0.791.667	0.708.333	0.625.000	0.541.667	0.458.333	0.375.000	0.291.667	0.208.333	0.125.000	0.041.667	0.208.333	0.125.000	0.041.667	0.208.333	0.125.000	0.041.667	0.208.333	0.125.000	0.041.667	0.291.667	0.208.333	0.125.000	0.041.667	0.208.333	0.125.000	0.041.667	0.208.333	0.125.000	0.041.667	0.208.333	0.125.000	0.041.667
14 - JUROS COMPOSTOS NO PERIODO	94.773	92.618	166.084	52.439	38.382	30.363	27.197	22.128	15.517	10.109	6.454	4.482	3.336	2.324	1.359	442	2.200	1.300	422	2.102	1.241	402	2.003	898	3.336	2.324	1.359	442	2.200	1.300	422	2.102	1.241	402	2.003	898		
15 - JUROS ACUMULADOS	3.736.204	3.828.821	3.934.985	3.987.345	4.025.647	4.056.010	4.083.207	4.105.335	4.120.853	4.131.042	4.137.496	4.141.978	4.145.314	4.147.638	4.148.997	4.149.439	4.151.639	4.152.939	4.153.361	4.155.463	4.156.765	4.157.107	4.159.110	4.160.088	4.145.314	4.147.638	4.148.997	4.149.439	4.151.639	4.152.939	4.153.361	4.155.463	4.156.765	4.157.107	4.159.110	4.160.088		
16 - INVESTIMENTO ACUMULADO	18.914.174	19.745.577	20.886.937	21.363.779	21.802.565	22.182.035	22.556.254	22.895.214	23.163.545	23.366.051	23.517.034	23.644.691	23.766.381	23.884.583	23.999.354	24.110.749	24.222.674	24.332.469	24.438.928	24.545.837	24.650.657	24.752.179	24.854.073	24.929.880	24.954.961	23.766.381	23.884.583	23.999.354	24.110.749	24.222.674	24.332.469	24.438.928	24.545.837	24.650.657	24.752.179	24.854.073	24.929.880	24.954.961

ESTIMATIVA DE JUROS DURANTE A CONSTRUÇÃO (TAXA DE 10

4.160.108
= 20,01
20.794.853



RELATÓRIO 14.5
RELATÓRIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BRAVA - ALTERNATIVA SELECIONADA EM BARRAGEM DE TERRA
RESUMO DO ENGENHARIA ECONOMICO

1990

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
11 - DESEMBOLSO	87,678	263,035	350,713	350,713	317,085	249,828	216,200	230,423	263,482	286,931	290,055	291,206
12 - DESEMBOLSO ACUMULADO	87,678	350,713	701,426	1,052,140	1,369,225	1,619,053	1,835,253	2,065,676	2,329,158	2,616,089	2,906,144	3,197,350
13 - VETORES	4,291,667	4,208,333	4,125,000	4,041,667	3,958,333	3,875,000	3,791,667	3,708,333	3,625,000	3,541,667	3,458,333	3,375,000
14 - JUROS COMPOSTOS NO PERIODO	44,310	129,798	168,920	164,809	145,319	111,613	94,115	97,690	108,738	115,268	113,247	110,493
15 - JUROS ACUMULADOS	44,310	174,108	343,028	507,837	653,156	784,770	898,885	956,575	1,065,313	1,180,521	1,293,768	1,404,261
16 - INVESTIMENTO ACUMULADO	131,988	524,821	1,044,454	1,559,977	2,022,381	2,383,823	2,694,138	3,022,251	3,394,471	3,796,611	4,199,912	4,601,611

1991

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
11 - DESEMBOLSO	297,975	351,526	328,200	394,844	377,045	425,296	445,116	433,721	434,043	470,107	690,325	455,231
12 - DESEMBOLSO ACUMULADO	3,495,325	3,856,851	4,185,051	4,579,895	4,956,941	5,382,236	5,827,352	6,281,073	6,695,116	7,165,223	7,855,548	8,310,779
13 - VETORES	3,291,667	3,208,333	3,125,000	3,041,667	2,958,333	2,875,000	2,791,667	2,708,333	2,625,000	2,541,667	2,458,333	2,375,000
14 - JUROS COMPOSTOS NO PERIODO	109,809	129,315	113,870	132,785	122,813	134,069	135,685	127,735	123,385	128,860	182,256	115,642
15 - JUROS ACUMULADOS	1,514,070	1,643,385	1,757,235	1,890,040	2,012,853	2,146,922	2,282,607	2,410,342	2,533,727	2,662,587	2,844,853	2,950,495
16 - INVESTIMENTO ACUMULADO	5,009,395	5,500,236	5,942,306	6,469,935	6,988,793	7,529,158	8,109,960	8,671,415	9,228,843	9,827,810	10,700,400	11,271,274

1992

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
11 - DESEMBOLSO	455,800	1,775,090	403,722	643,300	1,533,486	308,423	300,793	1,599,777	753,859	266,411	353,223	237,202
12 - DESEMBOLSO ACUMULADO	8,766,578	10,545,669	10,949,391	11,592,691	13,126,377	13,434,800	13,735,593	15,245,370	15,499,229	15,785,639	16,038,862	16,276,064
13 - VETORES	2,291,667	2,208,333	2,125,000	2,041,667	1,958,333	1,875,000	1,791,667	1,708,333	1,625,000	1,541,667	1,458,333	1,375,000
14 - JUROS COMPOSTOS NO PERIODO	111,265	416,781	90,636	138,190	314,719	60,349	56,011	266,989	42,326	45,333	37,760	33,215
15 - JUROS ACUMULADOS	3,071,759	3,486,540	3,579,177	3,717,337	4,032,066	4,092,435	4,148,446	4,415,415	4,457,940	4,503,274	4,541,033	4,574,248
16 - INVESTIMENTO ACUMULADO	11,838,338	14,034,209	14,528,568	15,310,058	17,158,462	17,527,235	17,884,039	19,650,784	19,957,169	20,288,913	20,579,895	20,850,312



QUADRO 14.5
RELATÓRIO FINAL DE VIABILIDADE
USINA DE CANA-BAVA - ALTERNATIVA SELECIONADA EM BARRAGEM DE TERRA
RESUMO DO CRONOGRAMA ECONÔMICO

1 9 9 3

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1 - DESEMBOLSO	233,590	244,761	250,032	249,333	248,959	248,912	248,888	233,317	193,613	161,559	141,415	118,252
2 - DESEMBOLSO ACUMULADO	16,509,544	16,754,425	17,004,456	17,253,789	17,502,748	17,751,660	18,000,548	18,233,865	18,427,478	18,589,056	18,730,451	18,848,703
3 - VETORES	1,291,667	1,208,333	1,125,000	1,041,667	0,958,333	0,875,000	0,791,667	0,708,333	0,625,000	0,541,667	0,458,333	0,375,000
4 - JUROS COMPOSTOS NO PERÍODO	30,601	29,878	29,299	28,025	23,811	21,649	19,506	18,295	11,884	8,560	6,314	4,303
5 - JUROS ACUMULADOS	4,604,849	4,634,727	4,663,025	4,689,051	4,712,861	4,734,510	4,754,016	4,770,311	4,782,195	4,790,755	4,797,069	4,801,372
6 - INVESTIMENTO ACUMULADO	21,114,493	21,389,152	21,667,483	21,942,840	22,215,610	22,486,170	22,754,584	23,004,177	23,209,673	23,379,791	23,527,521	23,659,075

1 9 9 4

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1 - DESEMBOLSO	105,528	103,245	100,784	98,143	96,823	95,503	92,863	91,542	88,657	22,866		
2 - DESEMBOLSO ACUMULADO	18,954,231	19,057,477	19,159,260	19,256,404	19,353,227	19,448,730	19,541,592	19,633,134	19,701,791	19,724,677		
3 - VETORES	0,291,667	0,268,333	0,125,000	0,041,667	0,208,333	0,125,000	0,041,667	0,208,333	0,125,000	0,041,667		
4 - JUROS COMPOSTOS NO PERÍODO	2,975	2,071	1,208	391	1,942	1,145	370	1,836	823	91		
5 - JUROS ACUMULADOS	4,804,347	4,806,418	4,807,625	4,809,016	4,809,958	4,811,102	4,811,472	4,813,308	4,814,131	4,814,222		
6 - INVESTIMENTO ACUMULADO	23,758,578	23,863,894	23,965,886	24,064,420	24,163,184	24,259,832	24,353,064	24,446,442	24,515,922	24,538,698		

ESTIMATIVA DE JUROS DURANTE A CONSTRUÇÃO (TAXA DE 10% BA)

4,814,222 = 24,412

19,724,677

CAPÍTULO 15

ASPECTOS ENERGÉTICO-ECONÔMICOS

ÍNDICE

	Página nº
1. DO PONTO DE VISTA ENERGÉTICO	15.1
1.1 Metodologia Utilizada na Análise	15.1
1.2 Dados Utilizados	15.2
1.3 Alternativas Seleccionadas	15.2
1.4 Conclusões	15.2
2. DO PONTO DE VISTA ECONÔMICO	15.6

15. ASPECTOS ENERGÉTICO-ECONÔMICOS

1. DO PONTO DE VISTA ENERGÉTICO

1.1 Metodologia Utilizada na Análise

Os estudos de atendimento ao mercado de energia elétrica elaborados pelas empresas do setor têm adotado, tradicionalmente, o enfoque determinístico. Muito mais forte que nos estudos de dimensionamento, identifica-se naquelas análises uma necessidade de mudança metodológica, de tal forma que o risco ou o custo do não atendimento ao mercado possa ser parâmetro explícito no processo de planejamento. Isto implica em preservar a natureza aleatória das afluências naturais ao sistema e, no caso do atendimento à demanda, da disponibilidade dos equipamentos.

Deve-se ter em mente que um dos objetivos básicos do planejamento de um sistema de energia elétrica é obter o mais baixo custo de produção, mantendo uma adequada confiabilidade ao suprimento. O custo de produção é composto pelos investimentos na expansão acrescidos dos gastos na operação (combustível mais manutenção e operação propriamente dita das instalações).

A partir deste objetivo básico, surgem duas linhas alternativas de desenvolvimento da abordagem probabilística. Uma delas preconiza a adoção de um nível de risco pré-fixado, que definiria a adequada confiabilidade ao suprimento. Esta linha, embora confira um tratamento estocástico às vazões, pode ser tida como uma extensão do enfoque determinístico.

De fato, pode-se entender que o risco implícito na abordagem determinística é o risco de ocorrer o período crítico, um risco portanto pré-fixado, uma vez que neste enfoque é básica a hipótese de ocorrência deste período.

A outra alternativa, que FURNAS vem defendendo, advoga o uso de uma função custo social do déficit, obtida a partir de estudos macroeconômicos. Neste caso, a adequada confiabilidade resulta do compromisso econômico entre o custo de produção e o custo do déficit.

Esta linha promove, de fato, uma alteração metodológica completa nos estudos de atendimento ao mercado. Será a linha de abordagem utilizada na análise que se fará neste item.

Nesta linha, o sistema deve ser expandido e operado de forma a minimizar o custo de produção acrescido do custo do déficit. Quando o sistema é ótimo a soma destes custos é mínima e, pode-se demonstrar, os custos marginais de operação e de expansão são iguais. Estes custos marginais são assim definidos:

QUADRO 15.1.

PROGRAMA DE OBRAS DE GERAÇÃO 1990/97
SISTEMA INTERLIGADO SUL-SUDESTE

ANO	USINA	TIPO	BACIA	POTÊNCIA (MW)	EMPRESA
1990	Santa Branca (1)	H	Paraíba	50	LIGHT
	J. Lacerda IV	C	-	315	ELETROSUL
	Jaguara (2)	H	Grande	212	CEMIG
1991	Manso	H	Paraguai	210	ELETRONORTE
	Segredo	H	Iguaçu	1.260	COPEL
	Jacui	C	-	315	ELETROSUL
1992	P. Primavera	H	Paraná	1.800	CESP
	Nova Ponte	H	Paranaíba	510	CEMIG
	Simplicio	H	Paraíba	195	FURNAS
	Sapucaia	H	Paraíba	330	FURNAS
	Corumbã I	H	Paranaíba	375	FURNAS
	Candiota III	C	-	315	CEEE
	Ita	H	Uruguai	1.620	ELETROSUL
	D. Francisca	H	Jacui	125	CEEE
1993	Itaocara	H	Paraíba	210	FURNAS
	Serra da Mesa	H	Tocantins	1.200	FURNAS
	Miranda	H	Paraíba	390	CEMIG
	Campos Novos	H	Uruguai	726	ELETROSUL
1994	Serra do Facão	H	Paranaíba	210	FURNAS
	Machadinho	H	Uruguai	1.200	ELETROSUL
	Cana-Brava	H	Tocantins	480	FURNAS
	Capim Branco	H	Paranaíba	600	CEMIG
	Bocaina	H	Paranaíba	200	CEMIG
	Igarapava	H	Grande	200	CEMIG
	Salto Caxias	H	Iguaçu	1.500	COPEL
	1995	Formoso	H	São Francisco	300
Candonga		H	Doce	70	CEMIG
Foz do Bezerra		H	Tocantins	360	FURNAS
Rosal		H	Paraíba	58	FURNAS
Barra do Peixe		H	Araguaia	280	FURNAS
Sobragi		H	Paraíba	110	FURNAS
Angra II		N	-	1.245	FURNAS
Monjolinho		H	Uruguai	72	ELETROSUL
Mauá		H	Tibagi	472	COPEL
Carvão 1		C	-	50	ELETROSUL
Picada		H	Paraíba	100	FURNAS
1996		Buriti	H	Tocantins	69
	Corumbã II	H	Paranaíba	235	FURNAS
	Funil	H	Grande	164	CEMIG
	Franca Amaral	H	Paraíba	32	FURNAS
	Terra Branca	H	Jequitinhonha	120	FURNAS
	Piraju	H	Paranapanema	120	CESP
	Garabi	H	Uruguai	900	ELETROSUL
	Barra Grande	H	Uruguai	880	ELETROSUL
	Jataizinho	H	Tibagi	192	COPEL
	Candiota IV	C	-	315	CEEE
	Cebolão	H	Tibagi	194	COPEL
	1997	Peixe	H	Tocantins	1.112
Murta		H	Jequitinhonha	90	CEMIG
Queimado		H	São Francisco	113	CEMIG
Pilar		H	Doce	89	CEMIG
Aimorês		H	Doce	300	CEMIG
São Fidelis		H	Paraíba	134	FURNAS
São Jerônimo		H	Tibagi	44	COPEL
Garibaldi		H	Uruguai	430	ELETROSUL
Foz do Chopin		H	Iguaçu	60	COPEL
Pai Quere		H	Uruguai	288	ELETROSUL
Capanema		H	Iguaçu	600	ELETROSUL

(1) Motorização

(2) Ampliação

- Custo marginal de operação do sistema, em um determinado período de tempo, é o acréscimo de custo para suprir um aumento unitário da carga ao longo deste período, sem alterar o programa de obras definido;
- Custo marginal de expansão do sistema, em um determinado período de tempo, é o acréscimo de custo para suprir um aumento unitário da carga ao longo deste período, mediante reajuste no programa de obras.

Quando o custo marginal de operação for inferior ao de expansão, a confiabilidade supera o nível ótimo e o sistema, por via consequência, encontra-se superdimensionado. Caso contrário, a confiabilidade situa-se aquém do desejável e o sistema está subdimensionado. Desta forma, conhecido previamente o custo marginal de expansão em cada período, o custo marginal de operação, subproduto da simulação dinâmica do sistema, opera como indicador da qualidade de atendimento.

1.2 Dados Utilizados

Para efeito da análise efetuada foi considerado o período de novembro de 1987 a dezembro de 1997. O programa de expansão do parque gerador utilizado corresponde ao Programa Decenal de Geração do Plano 2010, à exceção das unidades 2 e 3 da Central Nuclear de Angra, cujas datas foram as de janeiro de 1995 e janeiro de 1998, conforme usualmente consideradas para efeito de balanço.

Com relação ao mercado de energia elétrica, utilizou-se a projeção provável de mercado do Plano 2010, compatível com o programa de obras adotados.

Os Quadros 15.1 e 15.2 apresentam o programa de obras e as projeções de mercado consideradas, para o período 1990 a 1997.

1.3 Alternativas Consideradas

Foram utilizadas, na presente análise, duas alternativas com relação a Cana-Brava. A primeira considera este aproveitamento presente no programa de obras descrito no item anterior, entrando em operação em 1994, conforme recomendado no Programa Decenal do Plano 2010. A outra alternativa exclui a UHE Cana-Brava do horizonte de estudo (1987 a 1997), visando avaliar o impacto que seria causado ao sistema por um atraso nesta usina.

1.4 Conclusões

A Figura 15.1 apresenta os resultados das simulações. São mostrados os valores referentes ao período 1993/1997, pois os anos anteriores não são afetados pelas hipóteses formuladas.

QUADRO 15.2

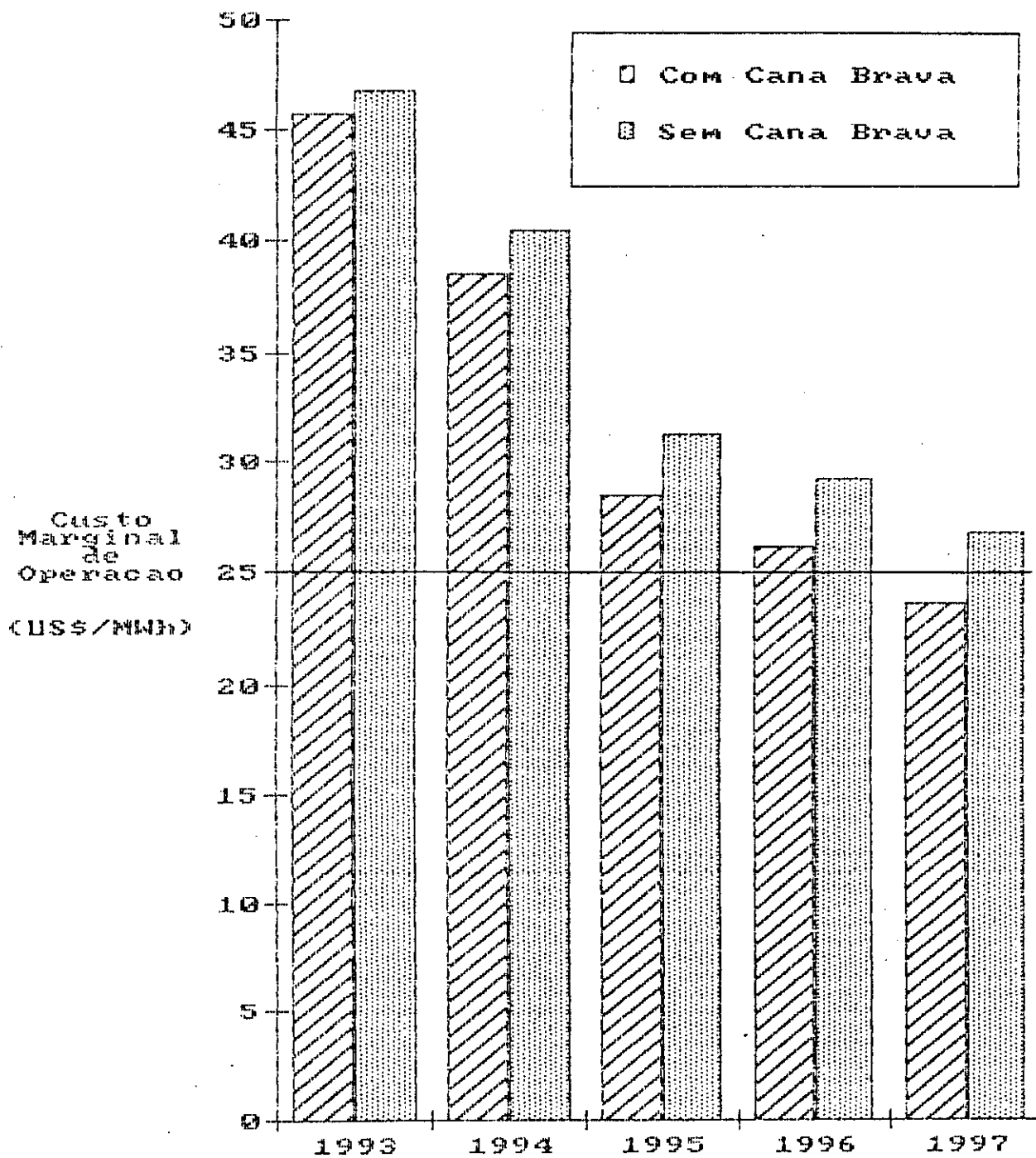
MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA 1990/97
SISTEMA INTERLIGADO SUL-SUDESTE

ANO	SUDESTE (1)		SUL (2)	
	PONTA (MWh/h)	ENERGIA (MW méd)	PONTA (MWh/h)	ENERGIA (MW méd)
1990	24.613	18.371	6.348	4.317
1991	26.143	19.516	6.772	4.639
1992	27.764	20.687	7.268	4.986
1993	29.347	21.866	7.807	5.378
1994	30.932	23.047	8.361	5.785
1995	32.680	24.443	9.121	6.229
1996	34.290	25.550	9.752	6.685
1997	36.010	26.864	10.485	7.201

(1) Inclui Centro-Oeste exceto ENERSUL (MS)

(2) Inclui ENERSUL (MS)

FIGURA 15.1 - CANA BRAVA
Custos Marginais de Operacao



Pela análise desses resultados, pode-se concluir que, mesmo na alternativa que considera a UHE Cana-Brava, as condições de atendimento ao mercado do sistema interligado Sudeste/Sul não são satisfatórias para os anos de 1993 e 1995. Nesse período o custo marginal de operação ultrapassa o valor de referência do custo marginal de expansão (situado em torno de 25 US\$/MWh), indicando que o sistema gerador se encontra subdimensionado para os anos citados.

Este quadro é agravado quando não se integra ao sistema o aproveitamento de Cana-Brava (segunda alternativa), pois tal fato acarreta uma elevação adicional nos custos marginais de operação do período 1993/1997. O atraso considerado nesta usina é responsável por um acréscimo de cerca de 81 milhões de dólares nos custos variáveis (custos de geração térmica e energia não suprida) acumulados de 1987 a 1997.

Com base nestes resultados, pode-se concluir que a UHE Cana-Brava, programada para abril de 1994, é justificável do ponto de vista energético.

2. DO PONTO DE VISTA ECONÔMICO

O aproveitamento de Cana-Brava apresenta um custo médio de geração da ordem de 28,5 US\$/MWh, inferior ao custo marginal de expansão de 31 US\$/MWh, relativo ao período 1996/2000. Sob este aspecto, portanto, esta usina deveria entrar no início deste período. Entretanto, em face da insuficiência da oferta de energia elétrica visualizada para o período 1990/1994, tornou-se necessária a antecipação de projetos programados no período 1996/2000 para o de 1990/1995. Na busca destes projetos, a UHE Cana-Brava mostrou-se como opção atraente dentre outros aproveitamentos para fazer parte do conjunto de obras de antecipação. Realmente, conforme mostrado no item anterior, o custo marginal de operação no período 1993/1995 atinge valores elevados acima da faixa de referência. Assim o custo médio de geração de Cana-Brava, embora superior ao custo marginal de expansão neste período (25 US\$/MWh) é inferior ao custo marginal de operação no período e também inferior ao custo de expansão no período subsequente, justificando desta maneira a inclusão desta usina no primeiro quinquênio da década de 90. A data de abril de 1994 é justificada a partir dos estudos do Plano 2010, desenvolvido no âmbito da ELETROBRÁS.

ADENDO

INVESTIGAÇÕES E ESTUDOS SOBRE CONCRETO COMPACTADO A ROLO RICO
EM PASTA

ÍNDICE

	Página Nº
1. GERAL	1/18
2. ESCÓRIA DE ALTO FORNO	1/18

ADENDO

INVESTIGAÇÕES E ESTUDOS SOBRE CONCRETO COMPACTADO
A ROLO RICO EM PASTA

1. GERAL

No Relatório de Viabilidade foi estudada uma alternativa de projeto para a UHE Cana-Brava, com barragem em concreto compactado, rico em pasta. Como o tempo disponível durante os estudos de viabilidade não foi suficiente para completar as pesquisas e estudos para esta nova solução, os resultados obtidos são parciais em relação ao programa primitivamente estabelecido. Apesar de parciais, os resultados são altamente promissores, merecendo o registro apresentado neste Adendo.

A alternativa relativa ao concreto compactado a rolo, rico em pasta, só foi estudada após verificar-se a possibilidade de sua competitividade em relação às alternativas de barragem convencional de terra. Esse tipo de barragem, ao contrário do tipo que utiliza concreto compactado magro, tem o concreto compactado do núcleo da barragem impermeável e o concreto de face objetivando durabilidade e acabamento. O concreto magro compactado, comumente denominado "rollcrete", tem o concreto de núcleo permeável e utiliza impermeabilizações a montante, de concreto convencional e/ou membranas impermeáveis.

A barragem de concreto compactado a rolo, rico em pasta, utiliza uma dosagem com cimentícios totais variando de 250 a 300 kg/m³, com 75% de pozolana (fly-ash). As pesquisas efetuadas em laboratórios comprovaram que as cinzas volantes podem ser substituídas vantajosamente por escória granulada de alto forno de usinas siderúrgicas nacionais.

As realizações executadas e em execução nos Estados Unidos e em outros países, como ocorrem em outros campos da prática da engenharia, está proporcionando a este método construtivo uma evolução rápida e marcante.

2. ESCÓRIA DE ALTO FORNO

A escória é o produto resultante das impurezas do minério de ferro e da cinza do coque, no processo siderúrgico de redução em alto forno, para obtenção do ferro gusa.

A separação da gusa da escória é feita por diferença de densidade. Em intervalos regulares, se processa a corrida do gusa e da escória para o exterior do forno através de canais especiais.

A escória é constituída basicamente por quatro óxidos, quais sejam:

CaO - 38/40%
SiO₂ - 35/40%
Al₂O₃ - 10/15%
MgO - 4/8%

Trata-se, basicamente, de um silico-aluminato de cálcio, com características semelhantes às do clínquer do cimento.

As escórias devem ser submetidas a resfriamento rápido ao serem vazadas do alto-forno para garantir a vitrificação e conseqüentemente as propriedades aglomerantes latentes.

Após sofrerem processo de moagem em moinho de bolas, as escórias adquirem as seguintes características físicas:

E N S A I O S	ESCÓRIAS			
	AMOSTRA I	AMOSTRA II	AMOSTRA III	AMOSTRA IV
Massa Específica (g/cm ³)	2,91	2,93	2,92	2,93
Finura Blaine (m ² /kg)	3,67	3,66	3,75	4,13
Retido na peneira 200 (%)	1,1	1,00	0,90	0,20
Retido na peneira 325 (%)	9,0	11,00	8,70	3,30
Reatividade com NaOH com 6 horas	57	54	10	54
(Resist. à compressão kgf/cm ²) com 24 horas	100	87	50	99
Resistência à compressão com 3 dias	171	181	128	174
De 50% de CP + 50% com 7 dias	303	300	200	298
Escória (kgf/cm ²) com 28 dias	499	481	337	500

• Transporte de Escória

As escórias seriam transportadas em vagões graneleiros da RFFSA, tipo GFD, diretamente das usinas para um pátio de transbordo a ser construído em Anápolis - GO. Daí, seriam

levadas em caminhões fora de estrada até o local da obra (\pm 500 km).

Os trajetos a percorrer em linha férrea métrica seriam os seguintes:

- USIMINAS, Nova Era, Santa Bárbara em linha da EFVM. Em Santa Bárbara passaria para a linha da RFFSA até Belo Horizonte;
- AÇOMINAS, Joaquim Murtinho, Jeceaba, Moeda, Brumadinho e Belo Horizonte.

De Belo Horizonte a composição seguirá até Divinópolis, Garças de Minas, Ibiã, Patrocínio, Celso Bueno, Araguari, Goiandira, Roncador Novo, Jarina e finalmente Engº Castilho em Anápolis, onde seria construído um pátio de transbordo de vagões de E.F. para caminhões basculantes.

A grande concentração ferroviária ocorrida na região de Costa Lacerda, poderá viabilizar a hipótese da escória vir a ser obtida em Volta Redonda e não mais na USIMINAS. É provável que o acúmulo de trens nesta região prejudique a seqüência das composições ferroviárias e, conseqüentemente, o fluxo normal de escória para obra.

A Companhia Siderúrgica Nacional de Volta Redonda tem condições para atender às necessidades de escória. As condições de embarque em seu pátio têm características superiores, comparativamente às demais.

● Formação das Composições Ferroviárias

O consumo de escória moída na obra seria da ordem de 140.000 toneladas, cuja matéria-prima seria transportada ao longo de 14 meses.

Os vagões para transporte seriam os do tipo GFD da RFFSA com capacidade para 60 toneladas de minério de ferro.

As composições com 24 vagões, sairiam 7 (sete) vezes por mês da AÇOMINAS e da USIMINAS.

● Custo Total do Transporte Rodoferroviário

Seriam 98 viagens ao longo de 14 meses de uma composição com 24 vagões tipo GFD, transportando 1.440 toneladas de escória em intervalos de aproximadamente 4 (quatro) dias.

- Transporte Ferroviário		
. AÇOMINAS x Anápolis = Cz\$ 1.146,00 x 127.700/t =		
	Cz\$ 146.344.200	
- Transporte Rodoviário (não inclui despesas com construção do pátio de transbordo)		
. Anápolis x Sítio da Obra (± 478 km) =		
= Cz\$ 8.530,00/t x 127.700 t		= Cz\$ 323.081.000,00
- Total		Cz\$ 469.425.200,00
● Custo da Tonelada de Escória Moída e Armazenada no Canteiro da Obra		
- Custo FOB da escória	Cz\$ 107,00/t	(2,1%)
- Custo do transporte rodoferroviário incluindo embarque da escória na usina siderúrgica	Cz\$ 3.676,00/t	(72,2%)
- Custo de operação de transbordo em Catalão, moagem e manuseio da escória no local da obra	Cz\$ 1.309,00/t	(25,7%)
- Total	Cz\$ 5.092,00/t	(100,0%)

Os custos da tonelada da escória granulada, transporte rodoferroviário, operação de transbordo, moagem e manuseio na obra, são referidos a junho de 1987.

● Carga e Descarga dos Materiais

Está sendo prevista em Anápolis, junto à via férrea, a construção de um pátio de transbordo de materiais básicos, com dispositivos de transbordo ferroviário para caminhões fora de estrada, além de armazéns e silos de estocagem de cargas seca e líquida.

A escória sairia dos vagões ferroviários pela lateral, por gravidade, sendo colocada nos caminhões com auxílio de pás carregadeiras. No local da obra, a escória seria estocada junto ao moinho, de forma a ser conduzida a moagem com auxílio de uma "correia transportadora". As operações subsequentes seriam todas pneumáticas, até a estocagem final da escória moída nos seus respectivos silos de estocagem.

Faz-se necessária a estocagem prévia de escória granulada, para atender ao cronograma de obra.

• Características Físico-Químicas das Escórias

Está sendo seguida nos laboratórios de Ilha Solteira uma campanha de ensaios de laboratório para definir as condições físico-químicas das amostras coletadas na Usina de Volta Redonda (CSN), USIMINAS, AÇOMINAS e Belgo Mineira em Monlevade.

A relação de ensaios é a seguinte:

	NORMA
- Ensaios Químicos	
. Sílica (SiO_2)	C-311 A.S.T.M.
. Alumina (Al_2O_3)	C-311 A.S.T.M.
. Óxido Férnico (Fe_2O_3)	C-311 A.S.T.M.
. Óxido de Magnésio (MgO)	C-311 A.S.T.M.
. Óxido de Cálcio (CaO)	C-311 A.S.T.M.
. Anidrido Sulfúrico (SO_3)	C-311 A.S.T.M.
. Equivalente Alcalino em Óxido de Sódio (Na_2O)	C-311 A.S.T.M.
. Óxido de Potássio (K_2O)	C-311 A.S.T.M.
. Umidade	C-311 A.S.T.M.
. Perda do Fogo	C-311 A.S.T.M.
. Resíduo Insolúvel	C-114 A.S.T.M.
. Sulfetos	C-114 A.S.T.M.
. Reatividade de Escória de Alto Forno com Hidróxido de Sódio	ME-06 I.N.T.
- Ensaios Físicos	
. Massa Específica	MB-346 A.B.N.T.
. Superfície Específica Blaine	MB-348 A.B.N.T.
. Finura na Peneira 325	C-430 A.S.T.M.
. Índice de Atividade Pozolânica aos 28 dias com Argamassa de Cimento	MB-1153 A.B.N.T.
. Índice de Atividade Pozolânica aos 7 dias com Cal	MB-960 A.B.N.T.
. Resistência à Compressão de Argamassa aos 3, 7 e 28 dias	CRD-C256/CRD-C263 CORPS OF ENGINEERS
. Expansão ou Contração em Autoclave	CRD-C256/CRD-C263 CORPS OF ENGINEERS
. Reatividade com Álcalis do Cimento	C-311 A.S.T.M.
. Variação da Retração por Secagem de Barras de Argamassa	CB-18:1.7 A.B.N.T.

Ensaio acelerado de resistência a compressão na presença do hidróxido de sódio - método INT: 006/85 deu como resultado 3,5 Mpa a 6 horas da moldagem para:

- . + massa específica - 2.800 kgf/m³;
- . + área específica Blaine - 390 m³/kg;
- . + finura, retido na peneira - 325 - 3%.

Até o presente, foram obtidos os resultados da campanha de ensaios, mostrados na Tabela 1, a seguir:

- Ensaio de Dosagem

Foi moída em moinho de bola cerca de 0,5 t de escória granulada da ACOMINAS para ensaios de dosagem os quais foram executados em Uberlândia no laboratório da CEMIG, cujos resultados estão mostrados a seguir.

- Estudos de Dosagens para Concreto Compactado Rico em Pasta

Considerando-se os resultados de ensaios de dosagens executados com escória de alto forno no laboratório da CEMIG em Uberlândia, verifica-se a potencialidade dos excelentes resultados, torna o seu emprego em concreto compactado rico em pasta muito promissor.

Os dados constantes da Tabela 2, exibem valores de resistência à compressão para o concreto compactado a rolo, até a idade de 28 dias.

Para se visualizar melhor o comportamento desses ensaios, os mesmos foram comparados nas Figuras 1, 2 e 3, aos valores obtidos em concretos de alto teor de pasta, estudados com materiais remanescentes da construção da UHE de Itumbiara, utilizando como pozolana, o fly-ash da Usina Termoelétrica Jorge Lacerda - Tubarão - SC. Os valores obtidos nos estudos com fly-ash estão nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

- Valores Obtidos para Cana-Brava

- Houve acréscimo no teor de água para o concreto fabricado com escória de alto forno, de cerca de 25 kg/m³, quando comparado com o fabricado com fly-ash. Esta diferença tanto pode ser provocada pela utilização da escória, como por causa dos agregados de granulometria e litologia diferenciados.
- Houve acréscimo no teor de água, quando se aumenta o teor de escória. Isto também foi observado para os concretos feitos com fly-ash.

TABELA 2
ESTUDO DE DOSAGEM DO CONCRETO COMPACTADO, RICO EM PASTA

DOSAGEM	QUANTIDADES PARA 1 m ³						CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO											
	CIMENTO kg	ESCÓRIA kg	AREIA NATURAL kg	BRITA 2 kg	ÁGUA kg	RELAÇÃO A/ACL. -	RELAÇÃO A/C Eq. -	TEMPO DE VIBRAÇÃO (s)		MASSA ESPECÍFICA CONCRETO FRESCO (kg/dm ³)		RELAÇÃO (p/ γ t - CON- CRETO FRESCO		RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				
								SEM PESO	COM PESO	TEÓRICA	PRÁTICA PRÁTICA		SEM PESO	COM PESO	03 DIAS	07 DIAS	28 DIAS	90 DIAS
											SEM PESO	COM PESO						
CCRP - 00	234	-	856	1.398	146	0,550	-	23	17	2,634	2,578	2,609	0,979	0,991	12,0	20,0		
CCRP - 75	66	186	837	1.366	153	0,541	0,514	25	22	2,608	2,485	2,435	0,953	0,934	6,2	11,2	21,7	
CCRP - 80	53	199	834	1.363	156	0,550	0,523	29	24	2,605	2,492	2,418	0,957	0,928	7,3	13,8	21,5	
CCRP - 85	40	212	831	1.354	159	0,565	0,533	21	23	2,596	2,508	2,439	0,966	0,939	9,6	11,5	17,7	

FIGURA 1

Dosagens	Consumo cimento + pozolano (kg/m ³)	Relação A/C + P (vol/peso)	Percentagem de pozolano
E-2850	315	1,261/ 0,411	Ref. (0)
E-2860	226 + 92 = 318	1,032/ 0,381	Fly-ash 2727 cm ² /g 0,375
E-2862	88 + 216 = 304	1,016/ 0,442	Fly-ash 2727 cm ² /g 0,783

Dosagens	Consumo cimento + escória (kg/m ³)	Relação A/C + P (vol/peso)	Percentagem de escória
CCRP 00	234	1,934/ 0,624	—
CCRP 75	66 + 186 = 252	1,796/ 0,607	0,75
CCRP 80	53 + 199 = 252	1,825/ 0,619	0,80
CCRP 85	40 + 212 = 252	1,854/ 0,631	0,85

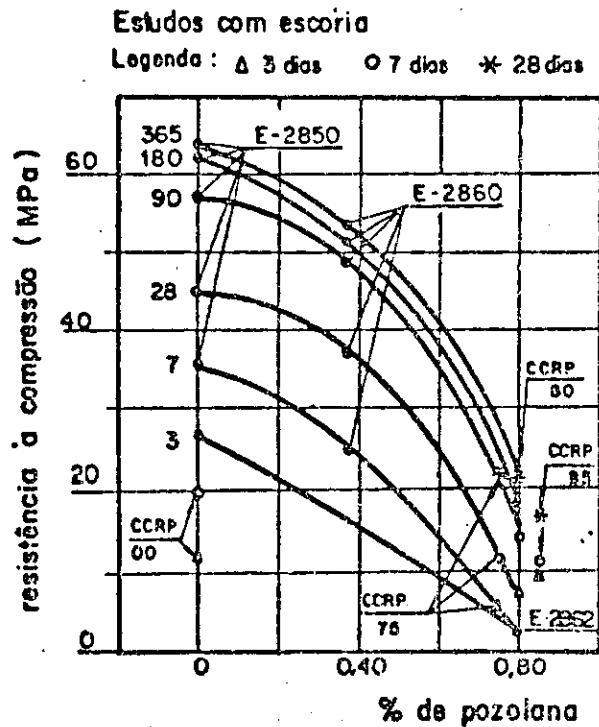


FIGURA 2

Dosagens	Consumo cimento + pozolana (kg/m ³)	Percentagem de pozolana
E-2854	314	Ref. (0)
E-2855	89 + 219 = 308	Poz. Cimepar 6.019 cm ² /g 0,737
E-2859	87 + 215 = 302	Fly-ash 4.695 cm ² /g 0,778
E-2862	88 + 216 = 304	Fly-ash 2.727 cm ² /g 0,783

Dosagens	Consumo cimento + escória (kg/m ³)	Relação A/C + P (vol./peso)	Percentagem de escória
CCRP 00	234	1,934 / 0,624	—
CCRP 75	66 + 186 = 252	1,796 / 0,607	0,75
CCRP 80	53 + 199 = 252	1,825 / 0,619	0,80
CCRP 85	40 + 212 = 252	1,854 / 0,631	0,85

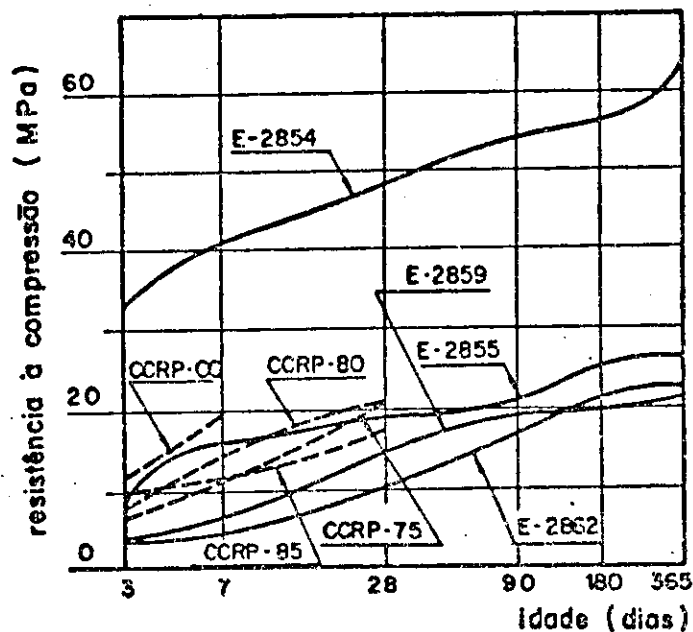


FIGURA 3

Dosagens	Consumo cimento + pozolana (kg/m ³)	Percentagem de pozolana
E-2852	271	Ref. (0)
E-2853	133 + 136 = 269	Poz. Cimepar 6.019 cm ² /g 0,538
E-2858	133 + 136 = 269	Fly-ash 4.695 cm ² /g 0,592
E-2861	133 + 136 = 269	Fly-ash 2.727 cm ² /g 0,601

Dosagens	Consumo cimento + escória (kg/m ³)	Relação A/C + P (vol./peso)	Percentagem de escória
CCRP 00	234	1,934 / 0,624	—
CCRP 75	66 + 186 = 252	1,796 / 0,607	0,75
CCRP 80	53 + 199 = 252	1,825 / 0,619	0,80
CCRP 85	40 + 212 = 252	1,854 / 0,631	0,85

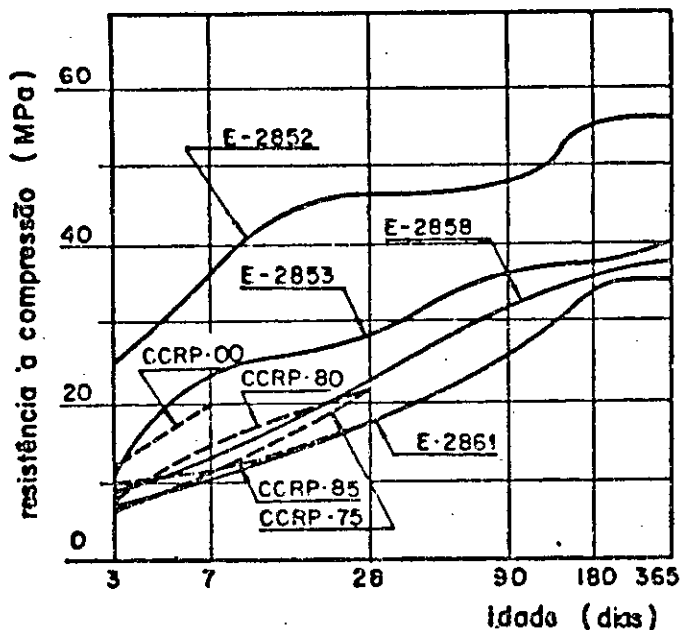


TABELA 3

Dados de composição
(kg/m³)

dosagens E-

	2848	2820	2820A	2820R	2863	2832	2832R	2864	2866	2867	2868	2869	2870	2871	2835	
água	117	130	120	130	114	130	130	111	130	130	155	133	171	145	120	
cimento (cel)	197	59	54,5	59	60	59	59	60	(59)	(30)	108	66	(66)	(210)	(127)	54,5
pozolana (finura 6.019 cm ² /g)	—	138	127,1	138	142	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	127,1
fly-ash (finura 4.695 cm ² /g)	—	—	—	—	—	138	138	142	138	137	87	132	85	131	—	—
fly-ash (finura 2.727 cm ² /g)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
areia natural	805	727	731	727	745	717	717	735	717	717	859	717	836	700	731	—
brita 19-4,8 mm	494	505	508	505	518	498	498	511	498	498	390	476	380	465	508	—
brita 38-19 mm	916	938	944	938	962	925	925	949	926	926	725	884	706	864	944	—
relação ρ_p/ρ_l concreto fresco	0,98	0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,99	0,99	0,97	0,97
relação ρ_p/ρ_l concr. endurec. (90 dias)	0,98	0,99	0,98	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	1,00*	1,01*	1,00*	1,01*	0,99*	1,01*	1,01*	—

(*): relação na idade 90 dias

Dados de composição
(kg/m³)

dosagens E-

	2835R	2865	2850	2852	2854	2851	2853	2855	2856	2858	2859	2860	2861	2862
água	120	111	129	107	110	121	120	124	121	120	143	121	120	134
cimento	54,5	60	315	271	314	226	133	89	226	133	87	226	133	88
pozolana (finura 6.019 cm ² /g)	127,1	—	—	—	—	92	136	219	—	—	—	—	—	—
fly-ash (finura 4.695 cm ² /g)	—	—	—	—	—	—	—	—	92	136	215	—	—	—
fly-ash (finura 2.727 cm ² /g)	—	142	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92	136	216
areia natural	731	733	907	799	692	911	747	626	901	730	599	899	728	600
brita 19 - 4,8 mm	508	509	412	489	515	414	496	514	411	486	492	410	485	492
brita 38 - 19 mm	944	946	766	908	956	769	922	955	761	901	913	759	898	915
relação $\delta p / \delta t$ (concreto fresco)	0,97	0,96	0,97	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,97	0,97	0,97
relação $\delta p / \delta t$ (concr. endurecido) (90 dias)	1,01	1,02	0,99	0,98	0,99	0,96	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	1,00	1,01	1,01

TABELA 5

Dosagem	% de poço	Relação A/C	Tempo de vibração (seg.)	Massa específica concreto fresco (120seg) (kg/m ³)	Umidade - dias	Umidade (%)	Resistência à compressão (MPa)												
							Idade - dias												
							03	07	28	90	180	365							
Referência																			
2848	0	0,594	1,829	46,0	2515	--	2519	2537	--	2514	10,7	9,5	14,5	22,2	27,7	27,8	29,2		
Pozolana Cimepar (6.019 cm ² /g)																			
2820	0,730	0,660	1,857	18,0	2493	--	--	--	--	2503	2500	11,6	2,3	3,2	7,1	--	12,4	12,4	
2820A	0,730	0,660	1,859	12,0	2440	--	--	--	--	2503	2538	12,5	2,7	5,0	7,4	--	10,4	10,4	
2820R	0,730	0,660	1,857	18,0	2493	--	2581	2551	2532	2500	2496	11,6	4,2	6,2	7,8	9,0	9,5	14,6	
2863	0,728	0,564	1,582	31,0	2456	2509	2550	2549	2528	2535	2518	9,6	4,1	6,1	8,6	10,1	11,0	11,1	
Fly-ash (4.695 cm ² /g)																			
2832	0,770	0,660	1,570	16,0	2462	--	--	--	--	2539	10,4	2,0	3,2	8,1	11,3	12,5	14,8		
2832R	0,770	0,660	1,570	16,0	2462	--	2483	2532	2507	2482	2469	10,4	3,1	4,7	9,4	13,5	13,5	15,6	
2864	0,769	0,551	1,307	42,0	2454	2512	2505	2491	2516	2562	2523	6,3	3,0	5,2	11,3	14,7	16,0	17,0	
2866	0,732	0,660	1,496	22,0	2413	--	2466	2505	--	2491	2476	7,4	0,5	0,9	1,2	1,5	--	1,4	
2867	0,749	0,660	1,534	20,0	2424	2505	2526	2516	--	2510	2538	7,2	1,5	2,5	6,1	6,5	7,2	8,7	
b	2868	0,343	0,513	1,315	16,0	2377	2432	2514	2450	--	2414	2560	9,8	3,4	5,1	12,0	17,2	22,9	26,5
c	2869	0,567	0,502	1,228	30,0	2462	2480	2489	2512	--	2482	2486	7,7	2,3	3,7	9,8	18,0	20,9	20,5
b	2870	0,321	0,578	1,400	16,0	2375	--	2385	2372	--	2533	2415	10,0	0,3	0,6	1,8	4,8	7,1	7,6
c	2871	0,544	0,565	1,320	19,0	2370	--	2438	2482	--	2481	2443	8,7	0,3	0,7	3,1	6,1	6,7	7,0
Fly-ash (2.727 cm ² /g)																			
2835	0,780	0,660	1,531	12,0	2428	--	--	--	--	2498	2506	13,6	1,3	2,2	4,6	10,8	12,1	13,1	
2835R	0,780	0,660	1,531	12,0	2428	2528	2533	2514	2528	2530	2523	13,6	2,3	3,2	5,8	11,7	13,7	14,2	
2865	0,775	0,551	1,270	25,0	2426	2494	2514	2528	2482	2562	2550	6,6	2,4	3,3	7,2	13,1	15,6	16,4	

a) dosagem de referência : E-2858

b) dosagem de referência : E-2856

TABELA 6

Dosa gem. E-	% de pozo lana (cf)	Relação A/C CW	Tempo de vibra ção	vol. (seg.)	Massa específica (kg/m ³)			Umida de (%)	Resistência à compressão (MPa)										
					concre- to fresco (120 seg)	concre- to endurecido idade - dias	concre- to endurecido idade - dias		03	07	28	90	180	365					
2850	0	0,411	1,261	18	2479	—	2505	2491	2530	—	2585	7,7	26,5	35,7	45,4	57,2	63,0	63,5	
2852	0	0,394	1,216	26	2458	—	2528	2548	2552	—	2574	6,8	25,0	35,9	46,5	47,5	55,2	52,2	
2854	0	0,350	1,079	28	2489	2593	2582	2565	2592	—	2597	6,3	32,4	40,4	47,5	53,4	54,9	63,5	
Pozolana Cimepar (6.019 cm ² /g)																			
2851	0,317	0,381	1,126	23	2438	—	2522	2534	2515	—	2527	7,2	20,2	31,3	40,2	45,3	46,6	52,4	
2853	0,538	0,445	1,283	28	2490	—	2535	2565	2560	—	2540	7,0	10,5	21,7	28,5	36,2	37,6	40,0	
2855	0,737	0,404	1,127	35	2459	2537	2505	2513	2537	—	2554	7,4	9,4	15,4	19,1	21,0	23,5	25,8	
Fly-ash (4.695 cm ² /g)																			
2856	0,366	0,381	1,048	46	2400	2526	2481	2494	2532	—	2530	6,3	19,7	25,9	42,8	49,8	53,3	55,4	
2858	0,592	0,445	1,131	42	2432	2504	2537	2495	2500	—	2507	7,0	8,3	12,8	22,5	31,8	35,5	37,4	
2859	0,778	0,473	1,123	43	2368	2459	2547	2488	2443	—	2453	11,0	3,6	6,5	14,0	19,0	19,2	21,3	
Fly-ash (2.727 cm ² /g)																			
2860	0,375	0,381	1,032	35	2445	2531	2514	2505	2520	—	2457	6,2	16,7	25,4	38,0	49,1	52,1	54,7	
2861	0,501	0,445	1,106	32	2448	2514	2538	2541	2553	—	2496	6,8	6,8	9,9	17,4	25,0	34,1	35,4	
2862	0,783	0,442	1,016	43	2410	2531	2449	2491	2500	—	2440	10,8	3,4	4,1	9,4	17,1	21,0	22,1	

- Na Figura 1 , estão comparados os resultados obtidos com cinza volante e os de escória de alto forno, mostrando a resistência à compressão em função da percentagem de pozolana em relação ao peso do material cimentício.

A comparação da dosagem E-2862, com cinza volante, e a CCRP85, com escória, em pesos praticamente iguais, diferenciam no consumo de cimento, a primeira com 88 kg de cimento e a segunda com 40 kg, mostram os seguintes valores de resistências:

Dosagem	Resistência a Compressão - MPa					
	Idade (dias)					
	3	7	28	90	180	365
E-2862	3,4	4,1	9,4	17,1	21,0	22,1
CCRP85	9,6	11,5	17,7			

O valor obtido na idade de 28 dias, com escória, é quase que idêntico ao obtido na idade de 90 dias, com cinza volante.

Registre-se que o crescimento de resistência com a idade do concreto com cinza volante foi muito significativo, ao passo que o do concreto com escória ainda é desconhecido.

- Na Figura 2 , são mostradas as curvas de evolução da resistência com a idade. A superioridade da resistência dos concretos com escória de alto forno é bem evidenciada, até a idade de 28 dias.
- Na Figura 3 , são comparadas as dosagens E2861 e as CCRP75, 80 e 85, mostrando que a dosagem com 60% de cinza volante quase que iguala com as de 75 a 85% de escória, nos valores de resistência até a idade de 28 dias. O consumo de cimento da dosagem E2861, é o dobro de CCRP75 e o triplo de CCRP85.

- Complementação dos Estudos Tecnológicos do Concreto Compactado a Rolo, Rico em Pasta

Os estudos efetuados pelo laboratório da CEMIG em Uberlândia e o de FURNAS em Goiânia para concretos com alto teor de escória de alto forno, necessitam de complementação, pois abrangem uma faixa muito pequena de dosagens.

No caso específico de Cana-Brava, há que se reduzir o teor de escória para se poder avaliar como se comporta o concreto com consumo de cimento e escória na faixa de 180 a 220 kg/m³ de material cimentício.

A caracterização das propriedades do concreto que influem no seu comportamento térmico, garantirá subsídios valiosos quando da elaboração do projeto básico.

As seguintes propriedades deverão ser estudadas:

- Propriedades mecânicas: compressão
tração por compressão diametral
tração na flexão
- Propriedades elásticas: módulo de elasticidade
coeficiente de Poisson
- Características de fluência
- Capacidade de deformação
- Elevação adiabática de temperatura
- Propriedades térmicas: coeficiente de expansão térmica
calor específico
condutibilidade térmica
difusibilidade térmica
- Permeabilidade

O conhecimento destas propriedades garantirá a análise do comportamento térmico, definindo parâmetros de projeto como: refrigeração ou não do concreto, utilização ou não de juntas de contração, etc.

● Pista Experimental

Em paralelo com o estudo cuidadoso de dosagens e do conhecimento de propriedades do concreto, é importante o estabelecimento de uma pista experimental para complementar os estudos de CCRP. O programa para esta pista já foi estabelecido e consta do Programa para Ensaio de Agregados e Materiais para Concreto - Dosagens e Propriedades - Pista Experimental - Construção e Controle - RIL-PR-002.

A pista experimental mostrará a adequação dos equipamentos e dos materiais selecionados. Indicará a necessidade ou não de medidas para garantir a impermeabilidade do concreto, espessuras de camadas de concretagem, necessidade de tratamento da ligação entre elas, etc.

Além dos aspectos vantajosos citados, a barragem de concreto compactado, dependendo da profundidade dos estudos, tem campo para incorporação de melhoria técnica com reflexos em ganhos econômicos ulteriores. No caso dos estudos atuais, adotou-se

um talude a jusante conservativo de 1V:0,75H que é de prática usual em barragens de concreto convencional, podendo-se portanto evoluir até 1V:0,6H adotado pelo U.S. Bureau of Reclamation, para a barragem de Upper Stillwater.

A escolha da tecnologia do concreto compactado a rolo, com alto teor de pasta para a construção de qualquer aproveitamento hidroe-létrico, confere maior confiabilidade ao barramento do que a aplicação de tecnologias mais difundidas de concreto magro compactado a rolo, tendo em vista os problemas de percolação que esses últimos têm apresentado, à exceção do RDC japonês que também é confiável, mas apresenta alguns inconvenientes na execução, como a utilização de técnicas complicadas e de equipamento adicional para o corte de juntas de contração.

A utilização de escória de alto forno como pozolana no concreto com alto teor de pasta, abrirá certamente, perspectivas promissoras para a tecnologia de concreto no Brasil, pois temos disponibilidade significativa deste material.

Um aspecto de grande importância também é a redução de cronograma de construção para a barragem em si mesma que pode ser construída na razão de uma camada de 0,30 m de espessura (média) por dia. Este fato proporciona maior flexibilidade ao cronograma geral, possibilitando alocar-se a obra da barragem de modo a se obter vantagens técnicas e econômicas. Para se ter uma idéia da velocidade, a exemplo de Upper Stillwater, com cerca de 1.200.000 m³ de concreto executados à razão de 7 dias por semana de trabalho, com dois turnos de 8 horas por dia e uma produção de pique de 750 m³/hora, a barragem de Cana-Brava, com cerca de 64,00 m de altura máxima sobre as fundações, pode ser executada em nove meses com folga, considerando-se o lançamento de uma camada por dia em média, conforme mostrado no cronograma de construção, RIL-09-002, Anexo 43 do Volume II.

No caso de Cana-Brava depreende-se, pela comparação dos cronogramas de desembolsos mensais acumulados, determinados a partir do cronograma físico de construção considerando para cada atividade a distribuição dos desembolsos uniforme amortecido nos dois meses iniciais e finais e mostrados nos Quadros 14.4 e 14.5 do Capítulo 14 - Estimativas de Custos, respectivamente para barragem de concreto compactado e barragem de terra, que poderá se obter uma redução dos juros durante a construção para a alternativa de barragem em concreto compactado em relação à alternativa de barragem de terra.