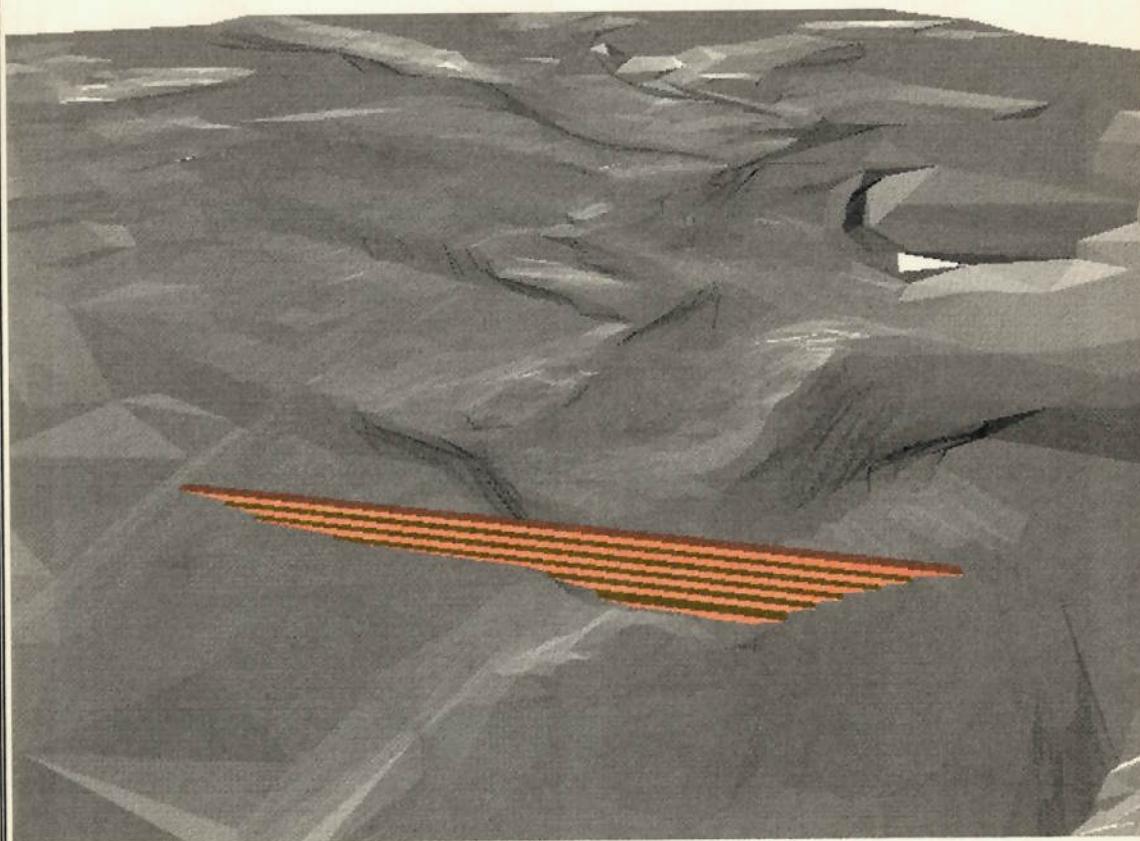


MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO

PROJETO DE BARRAGEM PARA RESERVAÇÃO DE MISTOS DE  
MINERAIS PESADOS REJEITADOS PELO BENEFICIAMENTO  
DE CASSITERITA NA MINA DO PITINGA



Trabalho de formatura, apresentado ao prêmio José Ermírio de Moraes

SÃO PAULO

1995



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

PMI - Departamento de Engenharia de Minas.

São Paulo, 11 de março de 1996.

Para Biblioteca do PMI,

Trabalho vencedor do Prêmio "José Ermírio  
de Moraes"/1995-Engenharia de Minas.

Yukiko Osawa Rodrigues  
Secretaria/PMI  
n.º USP 168.807

AUTOR: - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO  
nº USP 753397

TÍTULO DO TRABALHO: - "Projeto de Barragem para  
Reservação de Minerais Pesados Rejeitados pelo  
Beneficiamento de Cassiterita na Mina do Pitinga"

O.U.J.A.T.O.Á.Z

Q.D. 1996.002

MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO

Graduando em Engenharia de Minas - Escola Politécnica

da Universidade de São Paulo, 1995

PROJETO DE BARRAGEM PARA RESERVAÇÃO  
DE MISTOS DE MINERAIS PESADOS  
REJEITADOS PELO BENEFICIAMENTO  
DE CASSITERITA NA MINA DO PITINGA

Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da USP para conclusão do  
curso de Engenharia de Minas

Orientadores : Eng. Eder de Silvio

Gerente de Projetos da Mineração Taboca

Prof. Lindolfo Soares

Departamento de Engenharia de Minas

São Paulo, 1995

TF-1995

C 253 p

Arqno 1462 446

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005453

À

minha mãe

e a todos aqueles que

lutam por uma vida melhor

## **Agradecimentos**

A Mineração Taboca, pelas oportunidades que me propiciou e resultaram em valiosa experiência pessoal e profissional;

Aos meus colegas Cristiano, Edésio e Walter, pela colaboração e amizade;

Ao Eng. Eder de Silvio, pelas aulas e pela confiança, seriedade, respeito e sinceridade de nosso relacionamento profissional;

A todos os demais colegas de trabalho;

Aos colegas e professores da escola;

A Datamine Latin America, pelo uso de suas instalações para elaboração da figura 1;

À minha família, pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis e incertos de minha vida, passados durante os últimos cinco anos.

## **Índice**

**Índice de figuras e tabelas**

**Resumo**

<b>1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
<b>2. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO</b>	<b>10</b>
2.1. Localização	10
2.2. Reservas Minerais	11
2.3. Lavra e Beneficiamento	13
2.3.1. Minério Aluvionar	14
2.3.2. Minério Primário	15
2.4. Usinas de Beneficiamento Final	18
2.4.1. Deposição de Rejeitos das Usinas	19
<b>3. INFORMAÇÕES GEOTÉCNICAS</b>	<b>20</b>
<b>4. ANÁLISES DE PERCOLAÇÃO E ESTABILIDADE</b>	<b>29</b>
4.1. Percolação	29
4.2. Estabilidade	31
<b>5. CAPACIDADE DE RESERVAÇÃO EM B1 E B2</b>	<b>38</b>
5.1. Reservatório de B1	41
5.2. Reservatório de B2	41
<b>6. PROCESSO CONSTRUTIVO DA BARRAGEM B2</b>	<b>47</b>
<b>7. DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO DA B2</b>	<b>49</b>
<b>8. CONCLUSÕES</b>	<b>54</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>56</b>
<b>10. ANEXO - DESENHOS</b>	<b>58</b>

## **Índice de figuras e tabelas**

FIGURA 1 - VISTA DA BARRAGEM B2	8
FIGURA 2 - CURVA DE COMPACTAÇÃO	22
FIGURA 3 - RESUMO DOS ENSAIOS TRIAXIAIS ESPECIAIS (LIQUEFAÇÃO)	23
FIGURA 4 - GRANULOMETRIA - LAMA UBM'S	26
FIGURA 5 - LAMA UBM'S - PERMEABILIDADE VS. ÍNDICE DE VAZIOS	27
FIGURA 6 - LAMA UBM'S - TENSÃO EFETIVA VS. ÍNDICE DE VAZIOS	28
FIGURA 7 - REDE DE FLUXO	33
FIGURA 8 - ESTABILIDADE DO TALUDE DE MONTANTE	34
FIGURA 9 - ESTABILIDADE DO TALUDE DE JUSANTE	35
FIGURA 10 - LEGENDA DOS MATERIAIS DAS FIGURAS 8 E 9	36
FIGURA 11 - ADENSAMENTO - LAMA UBM'S	40
FIGURA 12 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME DO RESERVATÓRIO B1	42
FIGURA 13 - CURVAS DE ENCHIMENTO DE B1	43
FIGURA 14 - CURVA COTA-VOLUME DO RESERVATÓRIO B2	44
FIGURA 15 - CURVAS DE ENCHIMENTO DE B2	45
TABELA 1 - RESUMO DOS ENSAIOS "IN SITU"	21
TABELA 2 - ENSAIOS IPT	21
TABELA 3 - RESUMO DOS ENSAIOS TRIAXIAIS	24
TABELA 4 - RESUMO DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE	24
TABELA 5 - ENSAIOS COM LAMA	25
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS	29
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS	31
TABELA 8 - CRONOGRAMA DE ALTEAMENTO - B2 (VER FIGURA 15)	46
TABELA 9 - PLANILHA DE QUANTIDADES	48
TABELA 10 - FATOR A	51
TABELA 11 - FATOR B	51
TABELA 12 - FATOR E	52
TABELA 13 - FATOR N	53

## **Resumo**

A Mineração Taboca opera no Complexo do Pitinga várias minas de cassiterita, tais minas incluem lavra de aluviões e lavra de minério primário intemperizado.

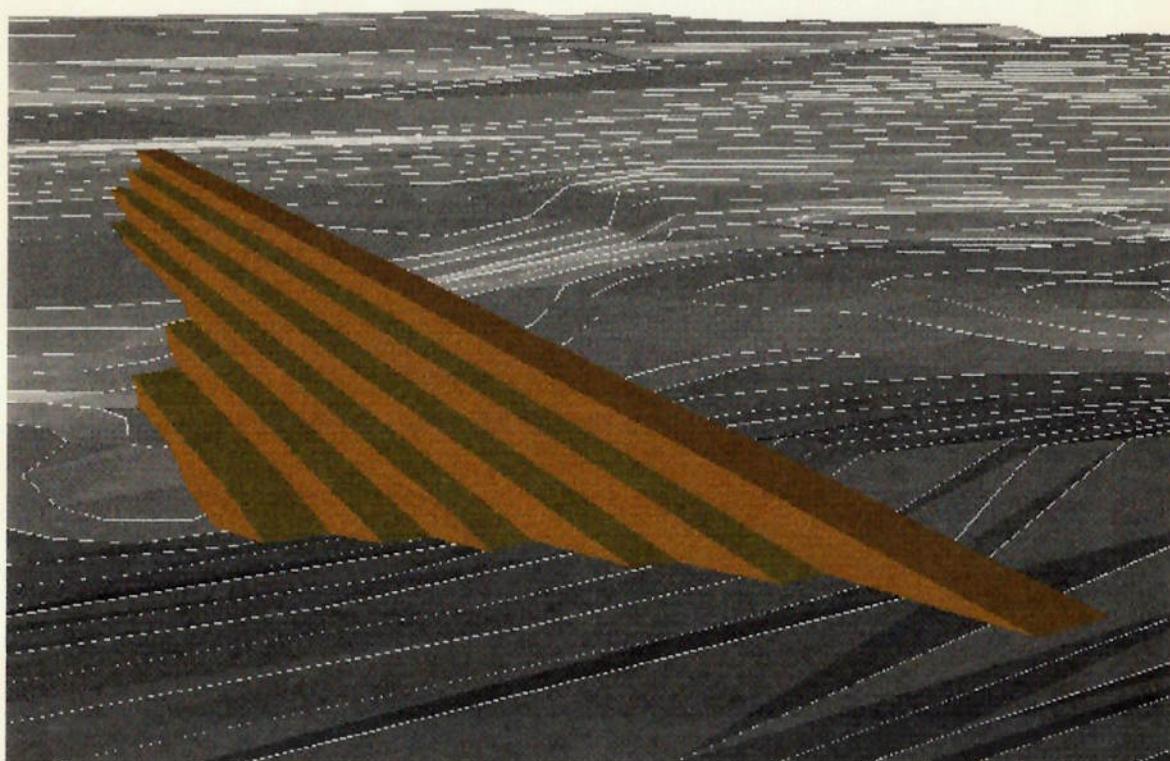
Efetua-se pré-concentração do minério junto às áreas de lavra e os produtos dessa etapa seguem para beneficiamento centralizado, onde são produzidos os concentrados finais e gerados os “rejeitos” compostos por minerais pesados, chamados de mistos.

Em função da necessidade próxima de construção de nova barragem para recebimento dos mistos, foi solicitado à Gerência de Projetos projeto detalhado; o serviço ficou a cargo meu (estagiário de eng. de minas), assistido pelo gerente da área. Como responsável, e dispondo de autorização, decidi utilizar tal projeto como trabalho de formatura.

A partir de estudos prévios, desenvolveu-se este trabalho do qual constam análise de estabilidade dos taludes da barragem, estudo de ocupação do reservatório, determinação da vida útil, especificação do processo construtivo e locação das obras; além de análise comentada dos resultados das sondagens e ensaios laboratoriais empregados.

O trabalho apresentado à Mineração Taboca está incluído integralmente neste, acrescido de algumas informações consideradas indispensáveis à versão acadêmica.

**Figura 1 - Vista da barragem B2**



## **1. Introdução e Objetivos**

O projeto foi concebido segundo as diretrizes básicas constantes do documento interno da Mineração Taboca : Revisão do Plano Diretor de Disposição de Mistos (nov/93).

Este trabalho tem os objetivos de :

1. apresentar o projeto da barragem B2, para recebimento de mistos provenientes das usinas de beneficiamento de minério da mina do Pitinga (UBM 1 e UBM 3);
2. determinar a vida útil do reservatório da barragem B1;
3. determinar a vida útil da barragem B2.

Assim sendo, constam deste relatório os seguintes tópicos :

- Informações Geotécnicas
- Análises de percolação e estabilidade
- Capacidade de reservação em B1 e B2
- Processo construtivo da barragem B2
- Dimensionamento do vertedouro da B2

Está apresentado a seguir a “Descrição do empreendimento”, da qual constam os principais aspectos operacionais envolvidos na Mina do Pitinga, tal tópico visa envolver o leitor com os detalhes de projeto e a preocupação da Mineração Taboca com o armazenamento de rejeitos e mistos, o que se reflete nos investimentos realizados para se obter o equilíbrio entre soluções técnicas, econômicas e ambientais.

## **2. Descrição do empreendimento**

O Complexo Pitinga constitui-se num empreendimento mineiro para aproveitamento das reservas de cassiterita encontradas na região do rio Pitinga, no Estado do Amazonas, tendo iniciado suas operações em 1983. Ele envolve lavra e beneficiamento de minério aiuvionar nos vales de vários igarapés e de minério primário intemperizado na serra do Madeira, produzindo pré-concentrados. Estes pré-concentrados são encaminhados para as Usinas de beneficiamento Final (UBM's), onde é produzido o concentrado. O complexo compreende ainda usina hidrelétrica, linhas de transmissão, fazenda (agropecuária), vila residencial, instalações de apoio operacional (oficina, aímoxarifado e escritórios), estradas e acessos e aeroporto.

### **2.1. Localização**

Pitinga localiza-se no município de Presidente Figueiredo, na porção Nordeste do Estado do Amazonas, abrangendo as drenagens tributárias da margem direita do alto curso do rio Pitinga, afluente do rio Uatumã, por sua vez afluente do rio Amazonas, e drenagens tributárias do médio curso do rio Alalaú, afluente do rio Jauaperi, que desagua no rio Negro. Em relação a Manaus situa-se 250 km ao norte.

O acesso, a partir de Manaus, pode ser feito por via terrestre, através da BR-174 até o Km 250 e a partir daí, seguindo por estrada vicinal a leste mais 55 km, chegando-se à sede da Mineração Taboca, em Pitinga. O acesso também pode ser efetuado por via aérea, utilizando a pista de pouso junto à sede, com 1.600 metros de extensão,

compactada e encascalhada, operável com bimotores de médio porte.

## **2.2. Reservas Minerais**

A área do Projeto Pitinga situa-se predominantemente sobre rochas do Supergrupo Uatumã, compostas de extrusões vulcano-piroclásticas e de intrusões graníticas. Estas rochas são sobrepostas, em discordância erosiva, por sedimentos imaturos de cobertura (Formação Urupi). Intrusivos nesses sedimentos ocorrem corpos graníticos da suite intrusiva Abonari.

As principais características petroquímicas das litologias na região são os altos teores de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e teores muito baixos de MgO e CaO, que evidenciam o seu caráter ácido.

Os depósitos estaníferos da mina do Pitinga estão geneticamente relacionados a dois corpos graníticos, denominados Madeira e Água Boa.

Os aluviões mineralizados com cassiterita situam-se relativamente próximos de suas fontes primárias e dispõem-se predominantemente sobre os granitos mencionados. Tanto as drenagens como o modelo do relevo, de uma maneira geral, estão condicionados pelos elementos estruturais, orientados em três direções principais: NS, N50W e N60E.

Os depósitos aluvionares são essencialmente de pequeno porte, com largura entre 50 e 300 m e espessura média da ordem de 4 m. Os sedimentos são extremamente imaturos e mal selecionados e denotam uma deposição rápida, condicionada por grandes movimentos de massa, típica de condições de clima semi-árido.

Nos aluviões distinguem-se, da base para o topo, cascalho, areias feldspáticas, areias argilosas, argilas arenosas e argilas. Algumas dessas unidades não ocorrem ou são inexpressivas em certas porções do depósito. Destaca-se, no entanto, a acentuada proporção de argilas entre os constituintes, o que é uma característica comum nos aluviões amazônicos.

Resultante dos trabalhos de lavra, existem hoje na Mina do Pitinga milhões demetros cúbicos de rejeitos primários, cujas características químicas e físicas mantém notável correlação com as dos depósitos originais, exceto com relação aos teores de minerais pesados, especialmente cassiterita e zircão.

Mesmo assim, esses rejeitos apresentam teores superiores aos de muitas minas que operam em países do sudeste asiático. Entretanto, face à situação atual do mercado internacional, aliada à elevada carga tributária e aos onerosos custos de transporte e de manutenção da infraestrutura, não são economicamente lavráveis.

Com a expectativa de exaustão de muitas minas nos próximos anos, o nível de oferta será consideravelmente reduzido, propiciando a retomada desses rejeitos depositados.

A Serra do Madeira ( jazimento primário ) constitui-se num depósito poliminerálico de Sn, Nb, Ta, Zr e Y, de características "sui generis", mesmo em escala mundial. É um granito albitizado, que apresenta manto intemperizado com espessura média de 25 metros, contendo mineralização disseminada de zirconita, cassiterita, columbita-tantalita e xenotima.

A porção de rocha sã continua sendo pesquisada, sendo possível indicar potencial para os mesmos elementos que ocorrem no manto intemperizado, e ainda criolita disseminada e criolita maciça, que forma bolsões em profundidade.

No contexto geológico regional a serra do Madeira está inserida na porção centro-sudoeste do corpo granítico Madeira, que aflora no interflúvio dos igarapés Pitinguinha e Tiarajú.

Todos os bens minerais apresentam distribuição em perfil com variações pouco acentuadas, característica de mineralização disseminada. Há ligeira tendência para leve enriquecimento nas partes superiores, especialmente em locais onde a laterização é mais pronunciada.

### **2.3. *Lavra e Beneficiamento***

A lavra é desenvolvida a céu aberto, aproveitando dois tipos de minérios: aluvionar, ao longo da malha de drenagem, e primário intemperizado, na denominada Serra do Madeira. O processo de concentração empregado para ambos os tipos de minério é essencialmente gravimétrico. à base de jigues, dispensando o uso de reagentes

químicos; para o minério primário o circuito de processo inclui também espirais de Reichert.

### 2.3.1. Minério Aluvionar

O método de lavra aluvionar empregado na mina do Pitinga, é o mesmo adotado em jazidas semelhantes em outros países, sendo uma prática já consagrada.

A lavra é a céu aberto e os tipos de conjuntos de equipamentos foram escolhidos em função das características geológicas e físicas das jazidas e, ainda, com base na experiência que a Mineração Taboca adquiriu ao longo de 20 anos de exploração de cassiterita na Amazônia.

Os principais conjuntos atualmente utilizados são:

- Conjuntos Draga Bucket-Wheel/Planta Flutuante de Concentração. Apropriados para reservas contínuas que possuam um volume superior a 3.000.000 m<sup>3</sup>, profundidade média compreendida entre 2 e 10 m, pequeno gradiente, ausência de matacões, limites de lavra de mais ou menos 150 metros (largura média da reserva) e boa vazão de água no igarapé.
- Conjuntos Retro-Escavadeira/Planta Flutuante de Concentração. Aplicáveis para reservas contínuas, com volumes entre 1.000.000 e 3.000.000 m<sup>3</sup>, profundidades médias entre 2 e 7 metros, gradiente medianamente acentuado, largura de lavra mais ou menos de 100 m, boa vazão de água e matacões de pequeno diâmetro.

- Conjuntos de Bombas de Cascalho HCK-8/Planta Móvel de Concentração. Devido à versatilidade, são largamente empregados em reservas aluvionares que não se encaixam nas descrições anteriores.

A lavra se processa com alagamento de trechos ao longo dos igarapés, delimitados por diques de pequena altura (4 e 5 m), sendo os sedimentos escavados e pré-concentrados para produção da cassiterita e outros sub-produtos.

Neste processo de pré-concentração o minério lavrado é encaminhado para um "trommel". O "undersize" segue para um tanque de deslamagem, de onde o grosso vai para o circuito de jigagem, em três estágios. O "oversize" do 'trommel', a lama da deslamagem e os rejeitos dos jíguas, que correspondem à quase totalidade da massa escavada (aproximadamente 95%), são descartados como rejeitos no próprio vale lavrado.

### **2.3.2. Minério Primário**

O corpo de minério primário apresenta como perfil típico uma faixa coluvio-eluvial de topo com espessura média de cinco metros, um saprolito subjacente com profundidade da ordem de 25 metros e rocha-sã. A lavra atual desenvolve-se na porção intemperizada.

Inicialmente foi concebida a lavra a céu aberto, com desmonte mecânico por trator de esteiras e transporte de minério na forma de polpa. Verificou-se nesta alternativa elevado consumo de energia, alto custo e dificuldades operacionais.

Adotou-se então o método de lavra convencional com escavação, carga e transporte em caminhões.

O material estéril e a matéria orgânica resultante do desmatamento e limpeza para lavra, estão sendo depositados ao redor da jazida, na menor distância possível, sem comprometimento da futura expansão da cava.

O beneficiamento utiliza métodos gravimétricos convencionais, com jigagem e espirais, sendo estas para os finos maiores que 325 mesh. A concepção da planta é modular, com fluxos em paralelo.

Atualmente estão implantados quatro módulos - 2 são as Plantas de Lavagem (PL's) do Paxiúba e 2 são as PL's da Grotá C - que produzem pré-concentrados que são encaminhados à Usina Central.

#### *2.3.2.1. Deposição de Rejeitos do Minério Primário*

Tal como nos aluviões, quase 95% de todo o minério primário processado constitui-se de rejeitos. Entretanto, ao contrário dos aluviões e em função das características topográficas da área do primário (morro), a deposição não pode ser feita na própria cava.

Atualmente os rejeitos são descartados na forma de polpa, sendo depositados no vale do igarapé Paxiúba, defronte às unidades de pré-concentração do Paxiúba, e nos vales da Grotas C (rejeitos grossos) e do igarapé Jabuti (rejeitos finos), defronte às PL's da Grotas C.

Para início de operação, foram construídas 04 barragens, denominadas B6, B4, B5 e B8. A primeira, com função de contenção, foi construída com solo compactado e aterro hidráulico de rejeitos e as demais, de solo compactado, vedam pontos de fuga em selas topográficas. Esse sistema deveria comportar os rejeitos gerados nos 3 primeiros anos de operação, atendendo aos rejeitos produzidos pelas primeiras unidades de pré-concentração, que se localizavam no igarapé Ouro Preto.

Com o esgotamento da capacidade de reservação do sistema formado por essas 4 barragens, entraram em operação as plantas do Paxiúba e da Grotas C, situadas mais próximas da mina e com maior disponibilidade de receber os rejeitos da lavagem do minério.

Atualmente, as barragens que atendem às pré-concentradoras são as seguintes :  
B7 - no igarapé IV de Novembro, atendendo às PL's do Paxiúba;  
GC1, GC2A e GC2B - na Grotas C, contendo grossos gerados da PL's da Grotas C;  
A1 - no igarapé Jabuti, reservando lama, também gerada pelas PL's da Grotas C.

## **2.4. Usinas de Beneficiamento Final**

Para superar as dificuldades específicas de cada área de lavra em relação à recuperação do minério (diferenças de equipamentos, qualidade da água de processo, presença de argilas, granulometria dos concentrados, supervisão técnica, etc.) optou-se por, nas diversas frentes de lavra, produzir pré-concentrados.

Esses pré-concentrados são transportados em caminhões para uma unidade central (Usina de Beneficiamento de Minério - UBM1) onde, em melhores condições de operação e supervisão, são produzidos os concentrados com teores mais elevados, atingindo-se a qualidade exigida pelo mercado consumidor.

Além dos equipamentos de jigagem (semelhantes aos das plantas que operam nas frentes de lavra), na Usina de Beneficiamento foram instaladas mesas vibratórias - indicados para recuperação da fração mais fina - secadores e separadores eletromagnéticos.

Para melhorar a recuperação, encontra-se em operação outra usina de minério, a UBM3, que trabalha com rejeitos da UBM1.

Nessa área também foi instalado um laboratório químico, equipado para realizar rapidamente as análises de controle de qualidade dos produtos, bem como determinar os teores para controle das perdas.

Os concentrados de cassiterita produzidos nessa unidade contém teores de estanho da ordem de 67%, que são embalados em "containers" plásticos de 1.000 kg. e em seguida comercializados.

#### **2.4.1. Deposição de Rejeitos das Usinas**

Os pré-concentrados obtidos nas diversas frentes de lavra são constituídos basicamente de cassiterita, zirconita, columbita-tantalita, quartzo e, secundariamente, xenotima e topázio. À exceção do quartzo e do topázio, esses minerais pesados são consumidos nas diversas atividades industriais modernas.

Dada a diferença de densidades, o quartzo e o topázio são facilmente separados por métodos gravimétricos, sendo depositados em local específico. Os demais, que não são separáveis entre si pelos métodos gravimétricos hoje existentes, formam um misto e são depositados em outro local.

Assim sendo, os rejeitos da Usina constituem, na verdade, depósitos temporários de subprodutos minerais, que serão retomados tão logo seja desenvolvida a tecnologia de produção individual de cada mineral e também reaquecido o mercado consumidor dos produtos.

O sistema para recebimento de mistos, recebimento de rejeitos, e para recirculação de água é formado pelas seguintes barragens : B1, B3, B4, B5, B6 e em breve B2, cujo projeto está apresentado a seguir.

### 3. Informações Geotécnicas

Os dados geotécnicos representativos das características das fundações e dos materiais constituintes do maciço foram determinados através dos seguintes trabalhos :

- Execução de programa de sondagens visando o conhecimento da fundação
- Ensaios “in situ”, executados nos furos de sondagem
- Ensaios Laboratoriais

Foram executadas um total de 6 sondagens à percussão ( SP-01 a 06 - SP-05 penetrou apenas 1,3m e foi descartada), 3 sondagens mistas ( SM-01, 02 e 03 ), iniciadas à percussão e completadas com sonda rotativa ao se atingir os estratos mais resistentes, e 1 poço ( P-02 ). As sondagens permitiram o desenho de perfis geológicos da fundação, apresentados no desenho anexo “Seções Geológicas”, ver também a ‘Planta de locação’, com posição das sondagens, dos perfis e do eixo da barragem B2.

Realizou-se os seguintes ensaios “in situ” (resultados na tab. 1) :

- a. Ensaio de infiltração para determinação de permeabilidade das camadas de solo;
- b. Determinação de SPT nas sondagens percussivas;
- c. Ensaio de perda d’água sob pressão para determinação das características de permeabilidade da fundação rochosa.

Tabela 1 - resumo dos ensaios "in situ"

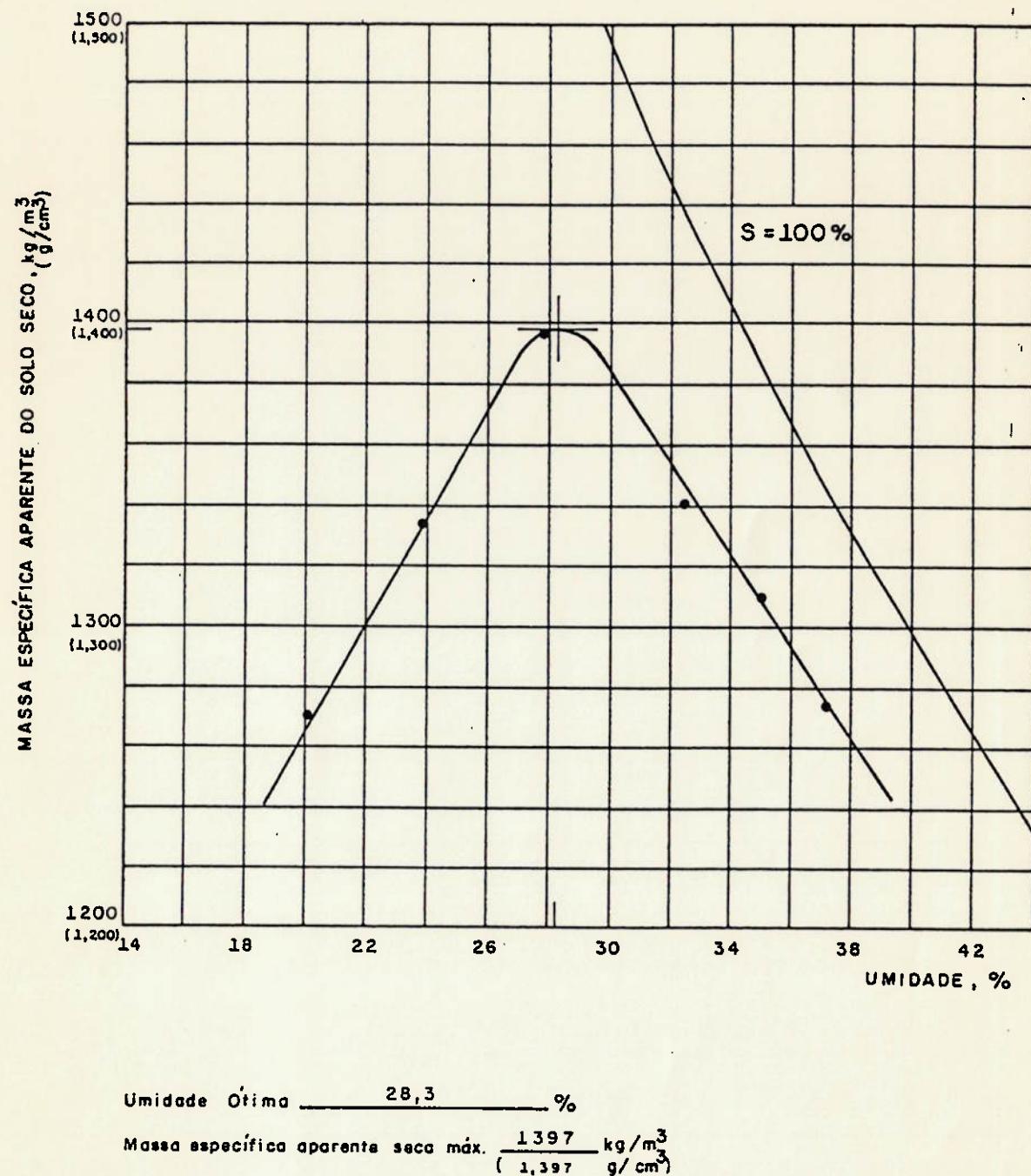
MATERIAL	PERMEABILIDADE (cm/s)	SPT
Saprólito (ab. do aluvião)	$6,5 \cdot 10^{-3}$	17
Saprólito (fora do aluvião)	$1,6 \cdot 10^{-4}$	16
Aluvião	$2,0 \cdot 10^{-2}$	5
Rocha	$1,4 \cdot 10^{-4}$	-

Para a obtenção de dados necessários aos cálculos de estabilidade da barragem B2, foram encaminhadas ao IPT-SP : [1] amostra de rejeito quartzoso, [2] amostra deformada de material argiloso da caixa de empréstimo (para o septo de argila da barragem) e [3] amostra deformada de material da fundação da barragem. Tais amostras foram submetidas aos ensaios da tabela 2, ver os resultados nas tabelas 3 e 4 e nas figuras 2 e 3.

Tabela 2 - ensaios IPT

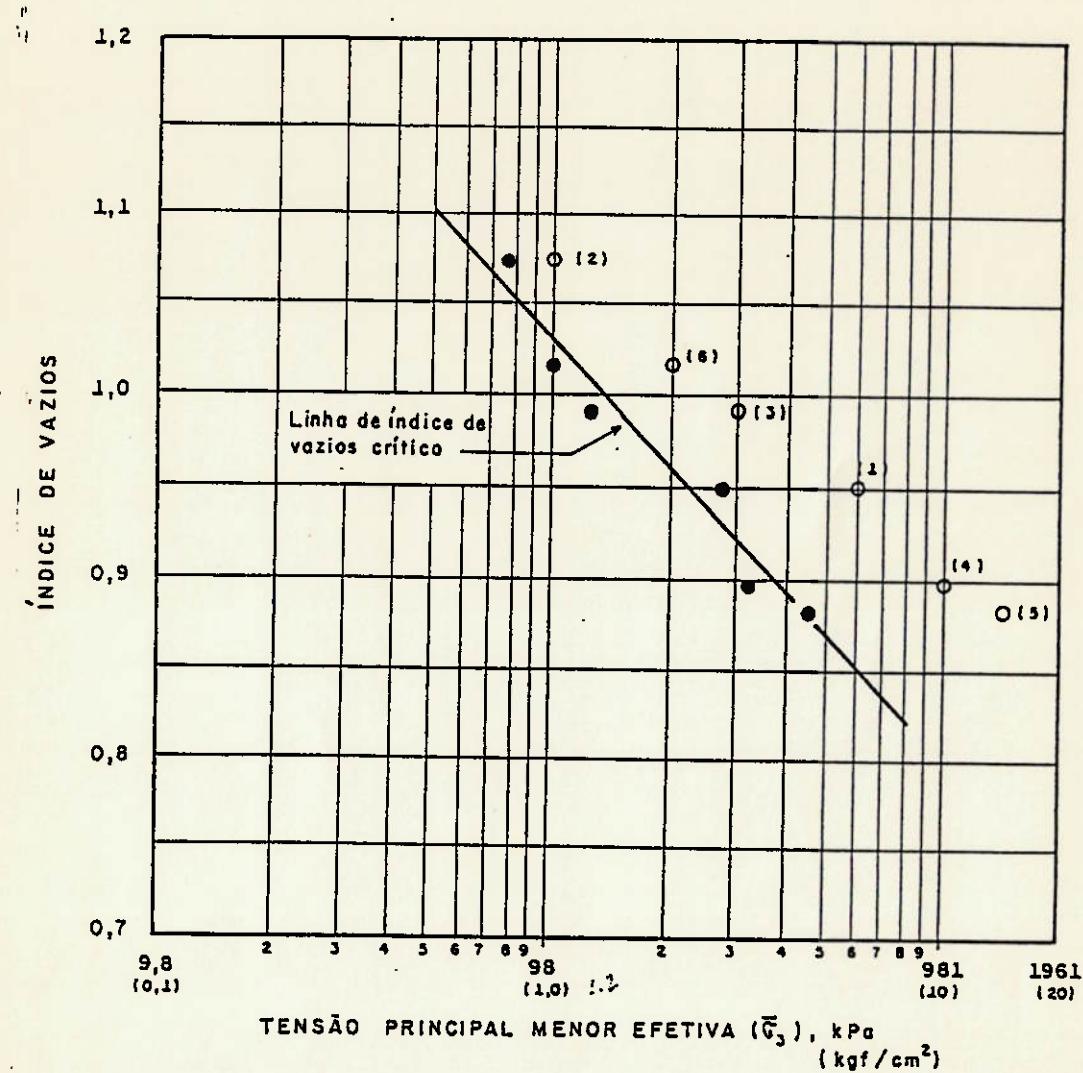
ENSAIOS	AMOSTRAS
caracterização	1 , 2 , 3
umidade e massa específica	3
compactação	2
índice de vazios	1
permeabilidade a carga constante	1
adensamento com permeabilidade	1 , 3
compressão triaxial	1 , 2 , 3
liqüefação	1

Figura 2 - Curva de Compactação



Extraída do relatório 828.872 do IPT - Ensaios geotécnicos de laboratório

Figura 3 - Resumo dos ensaios triaxiais especiais (liquefação)



Legenda:

- ( ) - Identificação do ensaio
- - Ponto após adensamento
- - Ponto ao final do ensaio

Extraída do relatório 828.872 do IPT - Ensaios geotécnicos de laboratório

Tabela 3 - resumo dos ensaios triaxiais

AMOSTRA	ÂNGULO DE ATRITO	COESÃO (kg/cm <sup>2</sup> )
Deformada - Saprólito ( caixa de empréstimo )	32°	0,13
Indeformada - Saprólito *	6°	1,73
Rejeito Quartzoso	37°	0,14

\* Resultados inconsistentes

Tabela 4 - resumo dos ensaios de permeabilidade

Am. def. Saprólito		Am. indef. Saprólito		Amostra Rejeito Quartzoso		
e	k - 10 <sup>-5</sup> cm/s	e	k - 10 <sup>-5</sup> cm/s	CR (%)	e	k - 10 <sup>-1</sup> cm/s
0,973	0,18	0,833	5,7	0	1,176	2,5
1,078	17	0,842	14	50	0,972	1,4
1,084	23	0,846	29	93	0,798	0,75
1,107	27	0,867	15			
1,127	5,3	0,871	32			
1,174	19	0,889	43			

Foram executados ensaios laboratoriais com amostras das lamas produzidas na UBM1 e na UBM3, necessários para a modelagem do adensamento destas lamas e simulação do enchimento dos reservatório das barragens B1 e B2, ver tabela 5 e figuras 4, 5 e 6.

Nas figuras 5 e 6, os códigos da legenda significam :

IPT1 - ensaio de adensamento hidráulico no consolidômetro grande com a amostra 1

IPT2 - ensaio de adensamento hidráulico no consolidômetro grande com a amostra 2

PUC - ensaio oedométrico

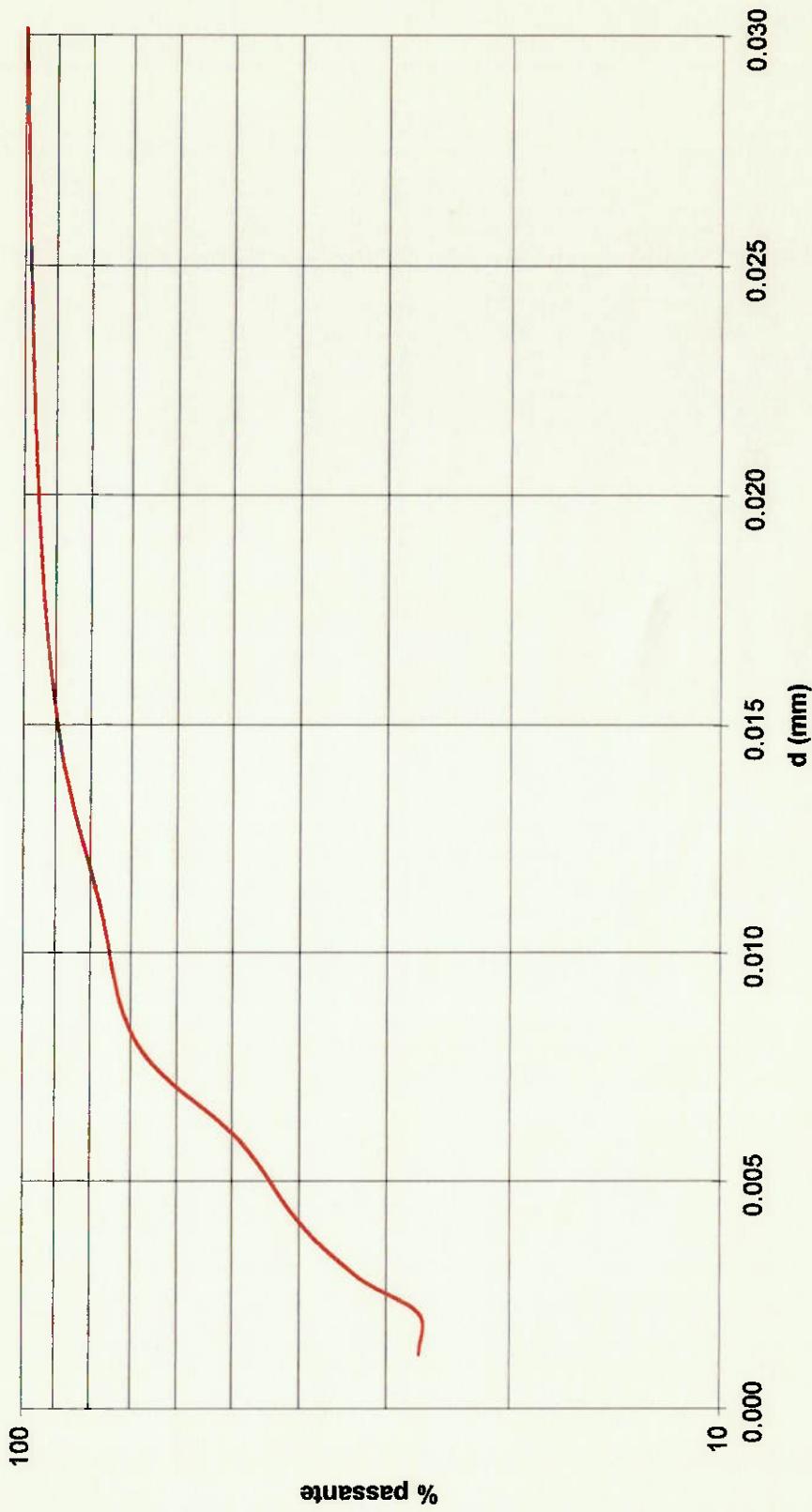
Cons. Peq. - ensaio de adensamento hidráulico no consolidômetro pequeno

Modelo - curva ajustada dos pontos alimentados na simulação do adensamento

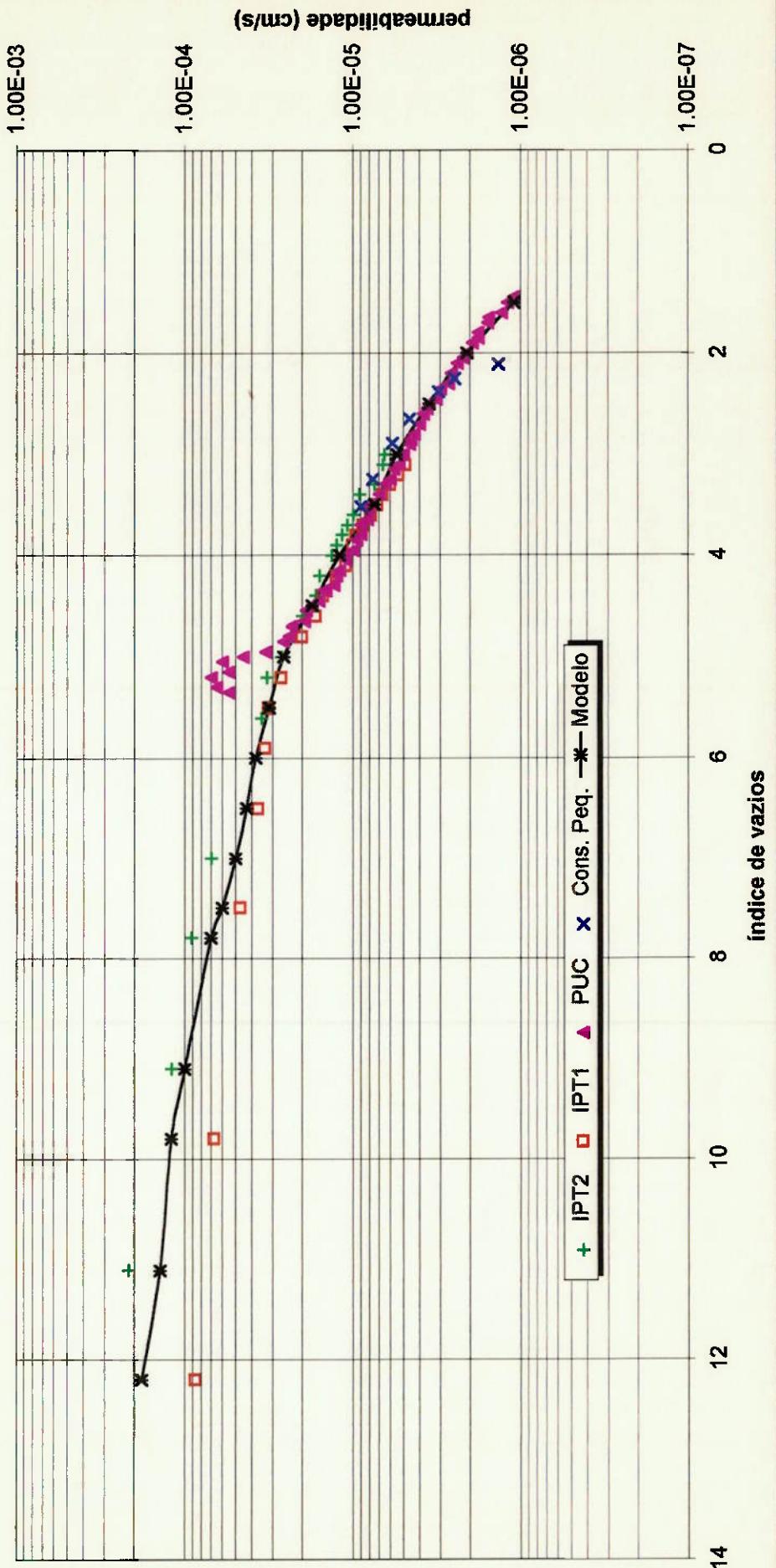
Tabela 5 - ensaios com lama

ENSAIO	LABORATÓRIO
Limites de Atterberg (LL e LP)	PUC-RJ / IPT-SP
Massa específica	PUC-RJ / IPT-SP
Granulometria	PUC-RJ / IPT-SP
Ensaios Oedométricos	PUC-RJ
Ensaios de Adensamento Hidráulico	IPT-SP

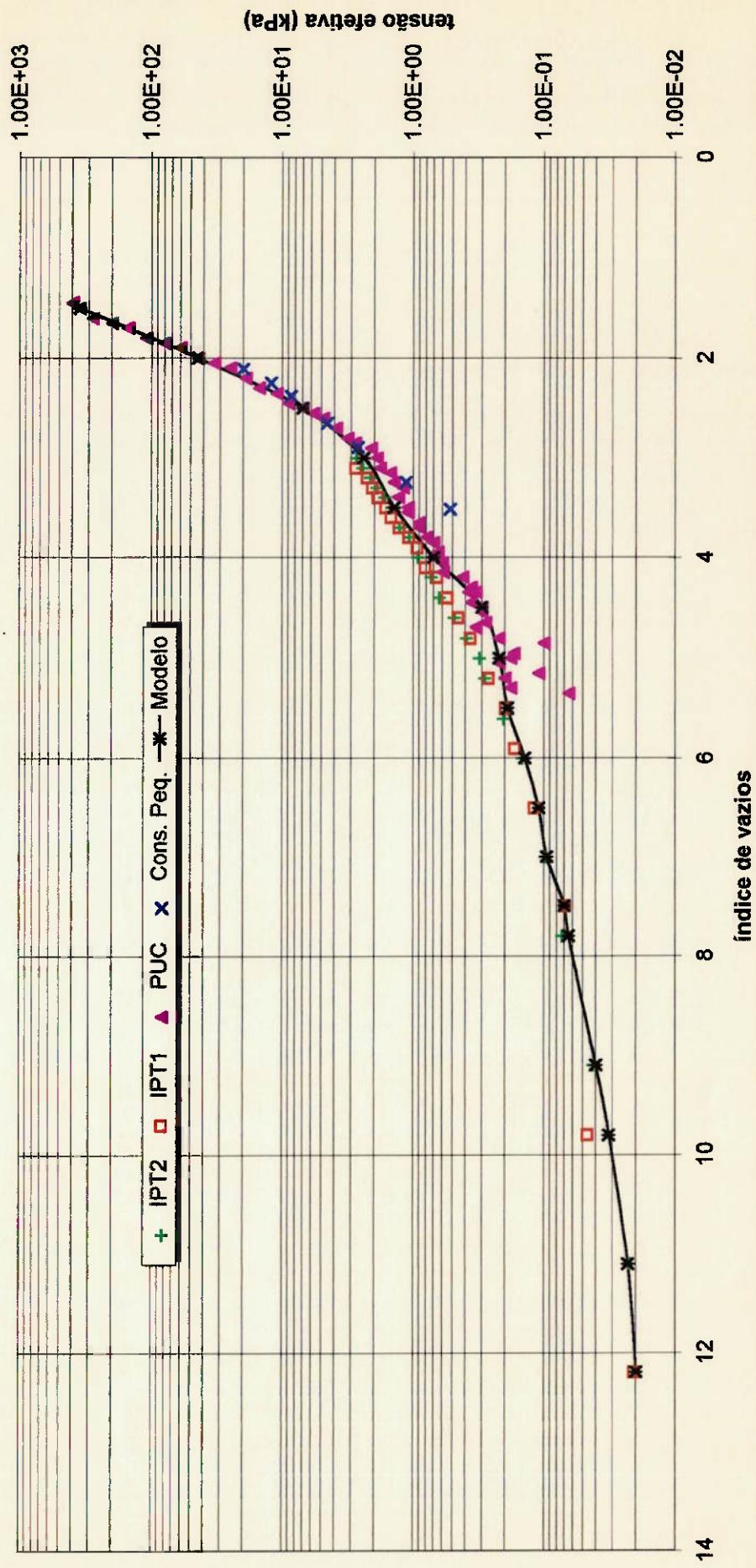
**Figura 4 - Granulometria - lama UBM's**



**Figura 5 - Lama UBM's : permeabilidade vs. índice de vazios**



**Figura 6 - Lama UBM's : tensão efetiva vs. índice de vazios**



#### **4. Análises de percolação e estabilidade**

Foi inicialmente estudada a seção típica de barragem apresentada na Revisão do Plano Diretor de Deposição de Mistos.

##### **4.1. Percolação**

Para análise da percolação de água no corpo do maciço foi utilizado o programa Percplan, o qual exigiu desenho de uma malha de elementos, internos ao maciço e à fundação, que foi digitalizada e alimentada no programa; esta malha continha as seguintes informações: características dos materiais constituintes dos elementos e condições de contorno para a resolução do problema, como cargas impostas nos pontos de entrada e de saída d'água, identificação de superfície interna de descarga e dos pontos móveis para ajuste da freática. Constam da tabela 6 as características consideradas para os materiais.

Tabela 6 - características dos materiais

materiais	permeabilidade (cm/s)
Saprólito	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Aluvião	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Talude de montante	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Talude de jazante	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Núcleo de argila	$1,2 \cdot 10^{-4}$

Os valores relacionados na tabela 6 são fruto das seguintes considerações :

- Utilização das permeabilidades médias verificadas em sondagem para o saprolito e para o aluvião (desconsiderando eventual adensamento da fundação sob a barragem);
- As permeabilidades dos taludes de jazante e de montante são as permeabilidades do rejeito quartzoso, que deverá apresentar compacidade relativa superior a 55% no talude de jazante (ver "Processo Construtivo") e contaminação por lama no talude de montante; admitiu-se, portanto, permeabilidade de  $10^{-2}$  cm/s para o rejeito quartzoso (ver tab.4);
- Espera-se grau de compactação de 95% para o núcleo de argila, o peso específico correspondente é :

$\gamma_s$  - peso específico aparente

$\delta$  - peso específico dos grãos

$$\gamma_{s95} = 0,95 \times 1,397 \text{ g/cm}^3 (\gamma_s \text{ aparente máximo - fig. 2}) = 1,325 \text{ g/cm}^3$$

e consequentemente índice de vazios :

$$e = [\delta / \gamma_s] - 1 = [2,698 / 1,325] - 1 = 1,033 \text{ que, lançado na tabela 4, corresponde a permeabilidade de } 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s.}$$

O programa forneceu-nos os seguintes resultados :

1. Posição da linha freática no interior do maciço;
2. Pressões neutras atuantes nos nós da malha;
3. Vazões nos nós da malha;
4. Fluxo de água percolando através do maciço e da fundação ( $2,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m de barragem, na seção central, de maior altura}$ );

5. Perfil apresentando as linhas de fluxo e as linhas de perda de carga ( figura 7 );
6. Arquivo de pressões neutras para alimentação no programa de análise de estabilidade de taludes.

#### **4.2. Estabilidade**

A análise de estabilidade dos taludes de montante e jazante da barragem B2 foi executada através do uso do programa Estável. Para execução deste programa foram alimentadas : a seção típica da barragem, na posição mais crítica, com a localização dos materiais; as características admitidas para os materiais (tab. 7) e os dados de percolação de água.

Tabela 7 - características dos materiais

materiais	coesão (kg/cm <sup>2</sup> )	angulo de atrito	massa específica
Talude de montante	0,00	37	1,6
Talude de jazante	0,00	37	1,6
Núcleo de argila	0,13	32	1,6
Aluvião	0,03	12	1,4
Saprólito	0,10	25	1,6
Rocha	500,00	30	2,7

Os valores considerados na tabela 7 podem divergir um pouco dos apresentados no ítem Informações Geotécnicas; isso é função dos seguintes critérios de projeto :

1. Desconsiderou-se as coesões verificadas para o rejeito quartzoso;

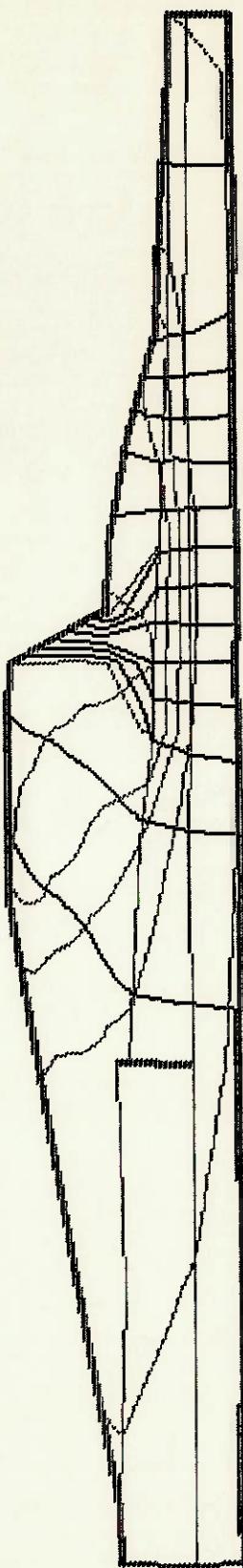
2. Utilizou-se a coesão e o ângulo de atrito determinados para o material da caixa de empréstimo no núcleo;
3. Como foi considerado inconsistente o resultado do ensaio triaxial com a amostra indeformada de saprolito, optou-se pela atribuição de valores semelhantes aos verificados em outros projetos;
4. O aluvião e a rocha não foram ensaiados, assim sendo, optou-se também pela atribuição de valores já aplicados anteriormente.

O programa forneceu-nos os seguintes resultados :

1. Determinação das superfícies críticas de ruptura, através de pesquisa de superfícies circulares e não-circulares;
2. Cálculo dos fatores de segurança dos taludes para as superfícies críticas encontradas;
3. Desenho de perfis da barragem, mostrando os taludes, os contatos dos materiais, as superfícies críticas e os fatores de segurança (figuras 8, 9 e 10).

Como pode ser observado nas figuras, a ruptura mais provável de ambos os taludes é pela fundação; isto ocorre devido às baixas características de resistência da camada de aluvião, fato que determinou a escolha de talude de jazante mais abatido (1h:3v) que o previsto no projeto inicial (1h:2,5v); considerou-se o abatimento do talude opção mais econômica que a escavação do aluvião até o contato com o saprolito e execução da barragem a partir desta fundação mais competente. Foram também estudadas alternativas para a redução das sobre-pressões sob o talude de jazante : tapete de argila e trincheira, que entretanto não apresentaram vantagem alguma em relação à estabilidade do talude.

Figura 7 - rede de fluxo



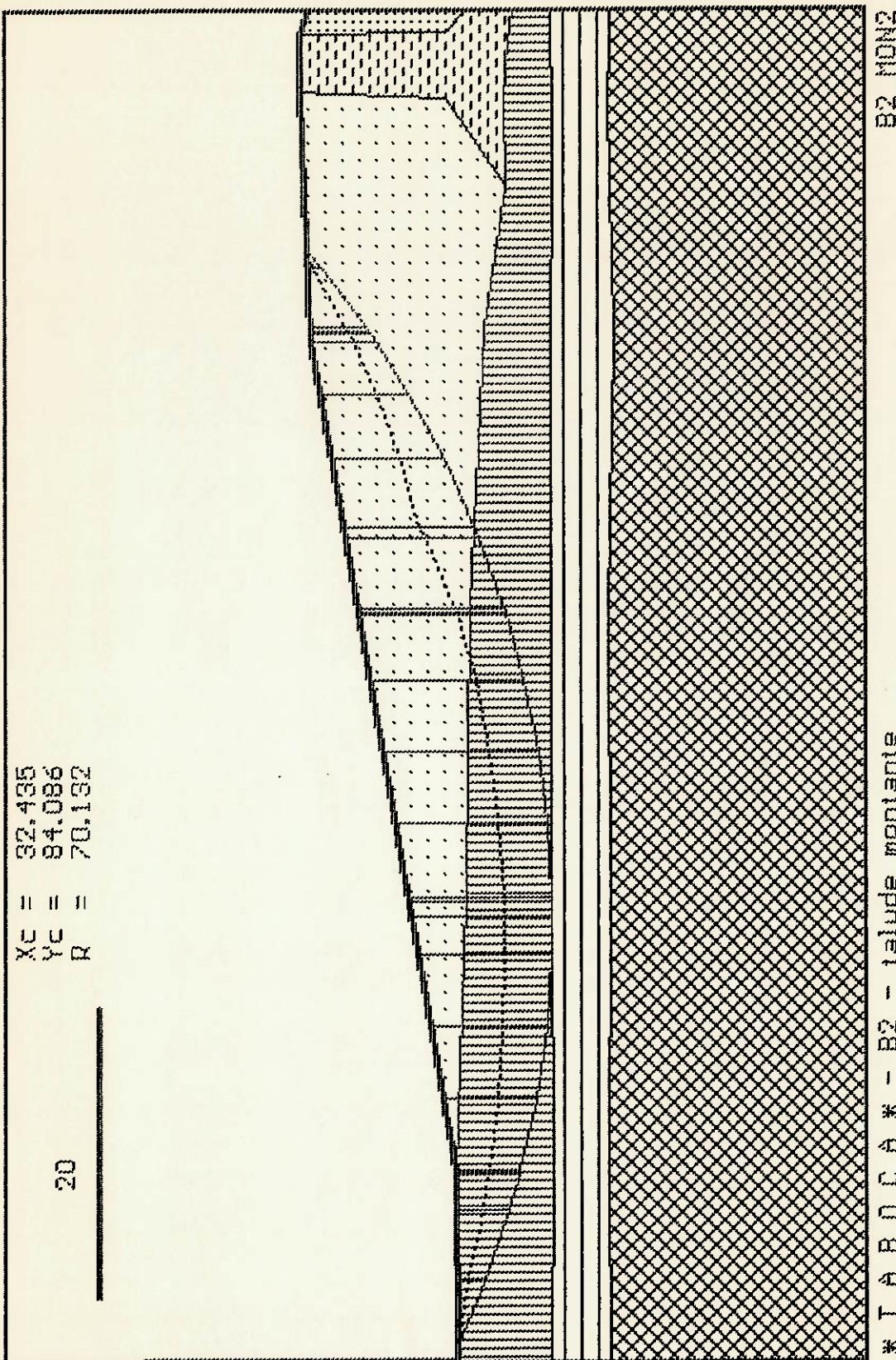
20

\* TABOCA - Barragem B2

Convergencia - Emax=

B, 570 No. no: 58 Ciclos: 2 PERDIDA:

Figura 8 - estabilidade do talude de montante

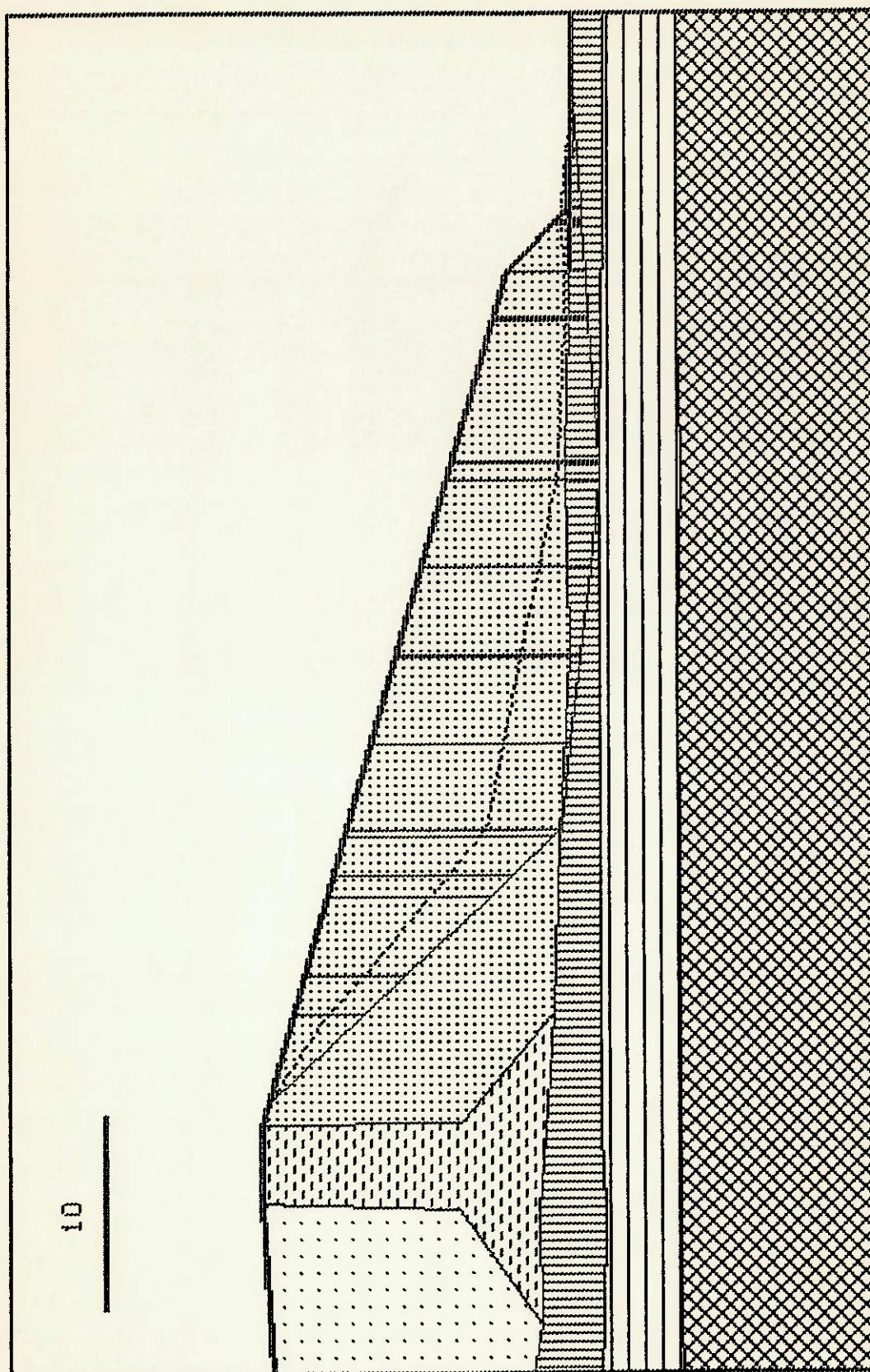


\* TABOADA - B2 - talude montante  
SPENCER

Convergiu - Superficie critica

$$F = 2,006$$
$$T_{crit} = -6,29$$

Figura 9 - estabilidade do talude de jusante



\* TABOCA - B2 - talude jusante  
SPENCER

B2\_JUS

Convergiu - Superficie critica

$F = 1,478$   
 $\Theta = 14,57$

Figura 10 - legenda dos materiais das figuras 8 e 9

Talude montante C=0,00, Fi=37,0, Gm=16,0		Talude juzante C=0,00, Fi=37,0, Gm=16,0	
Núcleo de argila C=13,0, Fi=32,0, Gm=16,0		Aluviação C=3,00, Fi=12,0, Gm=14,0	
Saprolito C=10,0, Fi=25,0, Gm=16,0		Rocha C=50000, Fi=30,0, Gm=27,0	

Os fatores de segurança encontrados para os taludes da barragem B2 são :

$F = 2,006$	Talude de montante (1:6,8 - ângulo de repouso)
$F = 1,479$	Talude de jazante (1:3)

Para avaliar o risco de liqüefação, que poderia ocorrer em função de um tremor de terra (norma técnica da CNEN : NE 1.10), foram executados os ensaios triaxiais especiais com o rejeito quartzoso (fig. 3). De posse destes resultados realizou-se o seguinte cálculo :

- Tensão principal maior ( $s_1$ ) na lamela mais alta da superfície de ruptura :

$$s_1 = 11\text{m} \times 2 \text{ t/m}^3 \text{ (material compactado)} = 22 \text{ t/m}^2 = 2,2 \text{ kg/cm}^2$$

- Tensão principal menor ( $s_2$ ) :

$$s_2 = 0,4 (K - \text{relação entre } s_2 \text{ e } s_1) \times s_1 (2,2 \text{ kg/cm}^2) = 0,88 \text{ kg/cm}^2$$

$K=0,4$  para areia compacta

- Índice de vazios crítico de liqüefação, função do estado de tensões :

dado  $s_2 = 0,88 \text{ kg/cm}^2$ , tem-se da figura 3 que :  $e_{CRITICO} = 1,43$

- Para a compacidade relativa  $CR > 55\%$ , especificada, tem-se  $e < 0,972$  (tab.4)  $< e_{CRITICO}$

- Portanto, afasta-se a possibilidade de liqüefação pois o índice de vazios esperado é muito menor que o índice de vazios crítico. Além disso, a possibilidade de ocorrência de abalos sísmicos no Pitinga é bastante reduzida.

## 5. Capacidade de reserva em B1 e B2

Segundo Azevedo e Sado<sup>1</sup> : "A necessidade de se modelar o comportamento de rejeitos em forma de lama tem relevante importância para o dimensionamento dos reservatórios onde esses rejeitos são lançados. O comportamento desses rejeitos após o lançamento envolve uma modelagem complexa, normalmente feita, no início, por uma fase de sedimentação e seguida por uma fase de adensamento." A fase de adensamento é a mais importante, pois o tempo consumido pela sedimentação é desprezível, comparado ao do adensamento. Ver também Gobara<sup>2</sup> e Carrier<sup>3</sup>.

O adensamento de rejeitos muito moles, como a lama proveniente do beneficiamento de minérios, origina grandes deformações e, por este motivo, restringe o uso da teoria de adensamento de Terzaghi, que supõe deformações e deslocamentos infinitesimais.

Baseado nas curvas de Permeabilidade x Índice de vazios e Tensão efetiva x Índice de vazios (obtidas nos ensaios oedométricos e de adensamento hidráulico - figuras 4 e 5), foi realizada simulação numérica do adensamento para três taxas de alimentação de lama : 0,10 t/m<sup>2</sup>/ano; 0,21 t/m<sup>2</sup>/ano e 0,42 t/m<sup>2</sup>/ano, admitindo-se índice de vazios inicial de 10 e utilizando-se o programa PCDDF ( cedido pelo IPT ). A partir desta simulação foi definido o modelo do adensamento, determinando-se os parâmetros da equação (ver gráfico da modelagem - figura 11) :

$$h = a Q^b (t - t_0)^c$$

$h$  = altura da lama (m)

$Q$  = taxa de alimentação de lama (t/m<sup>2</sup>/ano)

$t$  = tempo (anos)

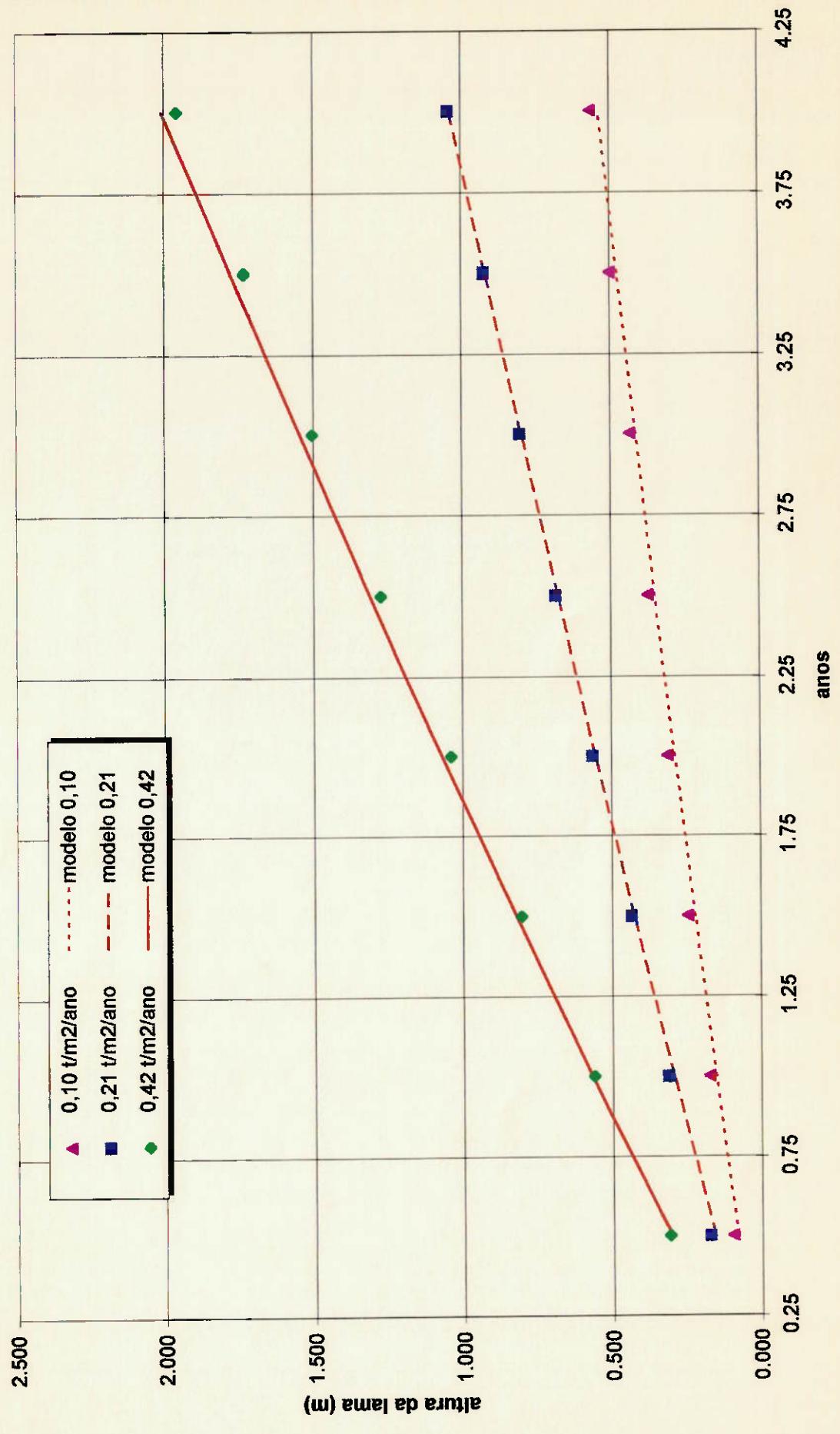
$t_0$  = instante inicial

$a$  = 1,30

$b$  = 0,95

$c$  = 0,89

**Figura 11 - Adensamento - lama UBM's**



## **5.1. Reservatório de B1**

De posse deste modelo de adensamento da lama das UBM's, foi realizada a simulação do enchimento do reservatório de lama da barragem B1, para tanto utilizou-se uma planilha em que foram alimentados os parâmetros do adensamento, a curva cota-área-volume do reservatório (figura 12) e a taxa de produção de lama (70.404 t/ano). Desta simulação obteve-se a curva de enchimento, a vida útil do reservatório e a densidade média da lama adensada (ver curva de enchimento da B1 - figura 13) :

1. Vida útil = 11,5 anos (1.996 a 2007, mantendo-se a barragem na cota atual de 91,5m)
2. Densidade média da lama depositada no reservatório = 1,08 t/m<sup>3</sup>

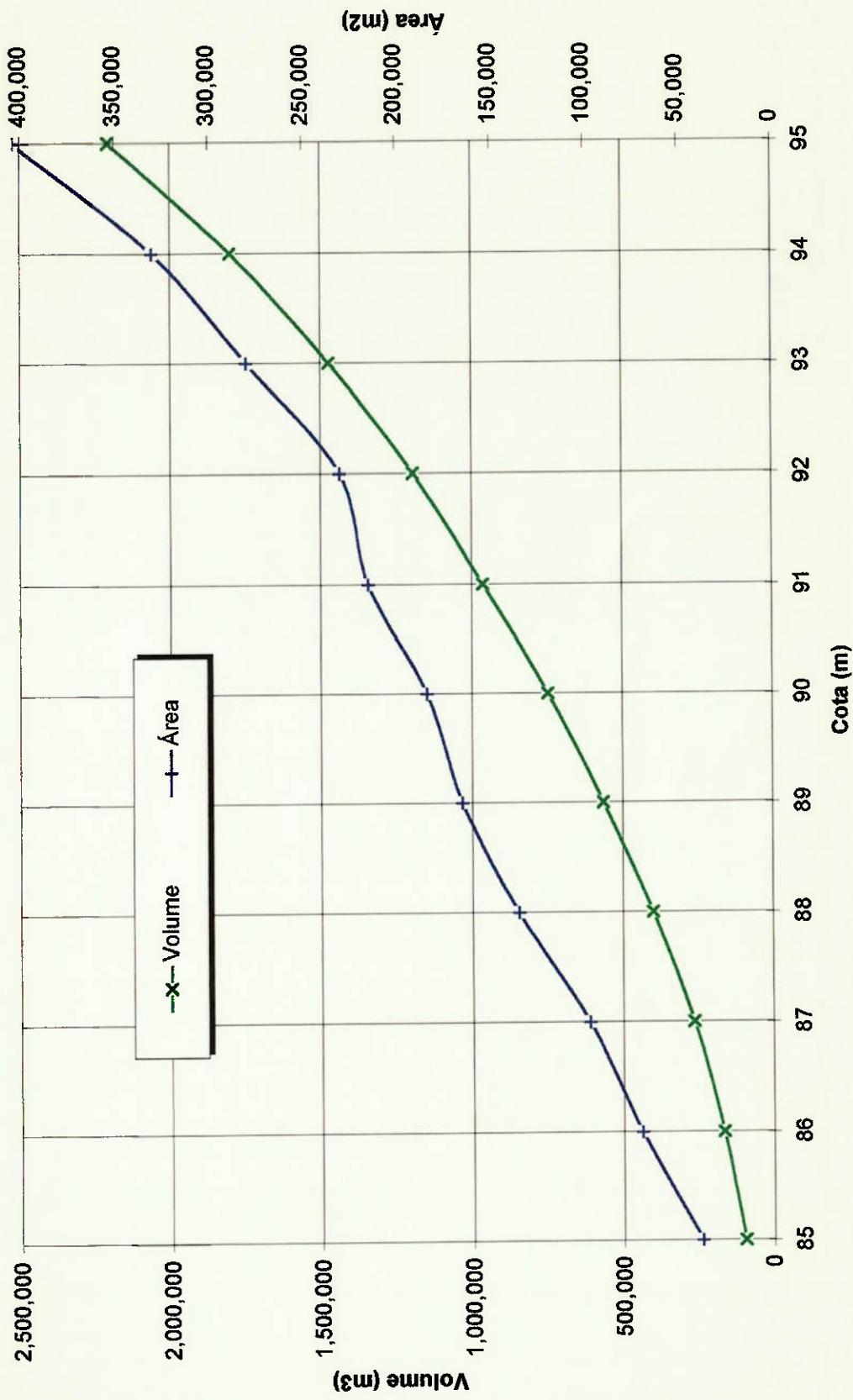
## **5.2. Reservatório de B2**

Em seguida foi realizada a simulação do enchimento do reservatório da B2, alimentando-se em planilha específica a curva cota-volume do reservatório (figura 14), a produção anual de rejeitos (areia e lama) e as densidades (1,80 - areia e 1,08 - lama).

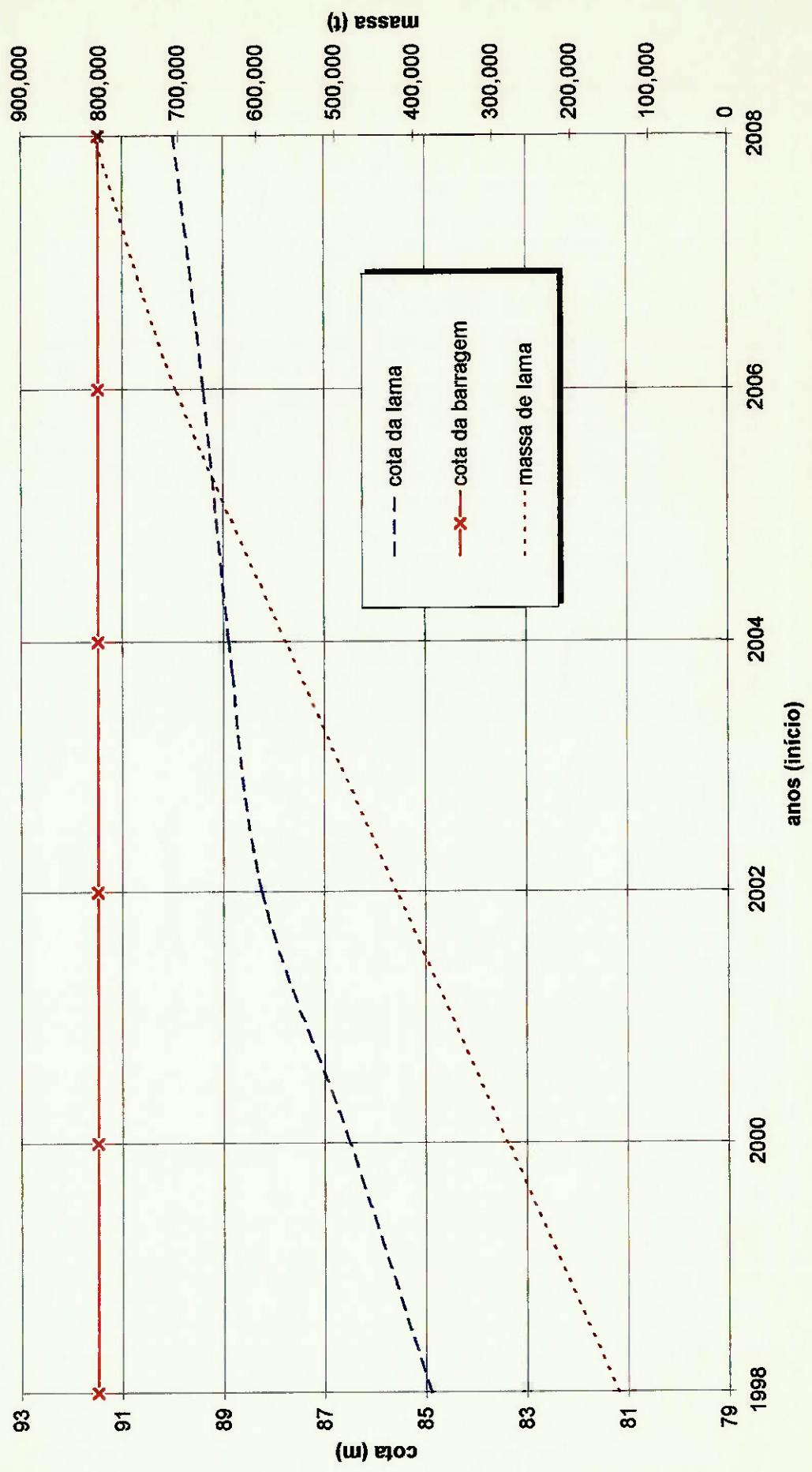
Para esta simulação foram considerados as seguintes premissas : produção de rejeitos (70.404 t/ano - lama e 213.420 t/ano - areia), início de operação 1.996, afogamento dos reservatórios de B3 e B4, alteamentos progressivos, lançamento de grossos durante toda a vida do reservatório e lançamento de lama a partir de 2.006 (esgotamento da capacidade da B1). Obteve-se como resultado da simulação :

1. Vida útil = 19,5 anos para areia e 8 anos para lama (1.996 a 2.015, cota final da barragem = 93m)
2. Curva de alteamento/enchimento - figura 15 / tabela 8

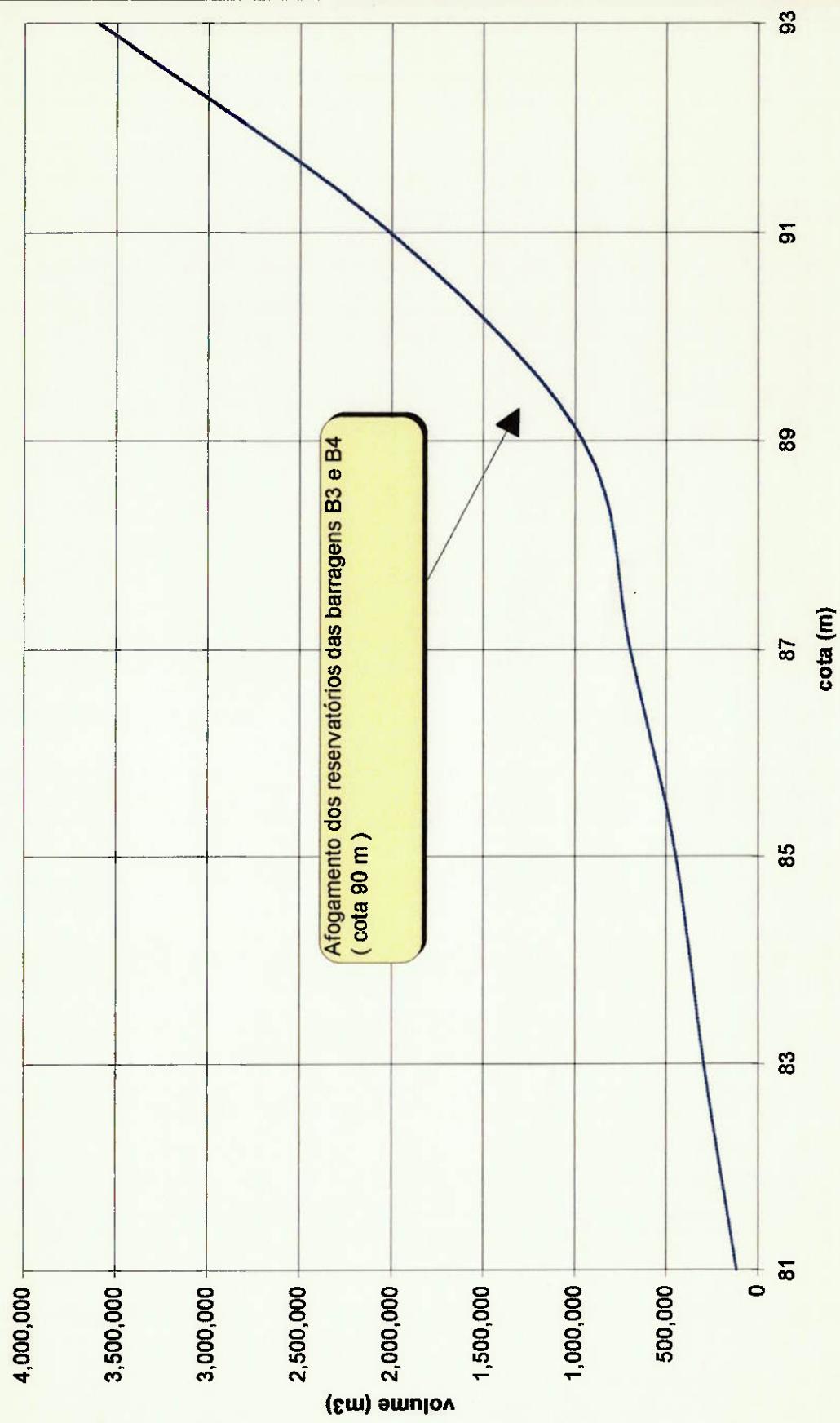
**Figura 12 - Curva cota-área-volume do reservatório B1**



**Figura 13 - Curvas de enchimento de B1**



**Figura 14 - Curva cota-volume do reservatório B2**



**Figura 15 - Curvas de enchimento de B2**

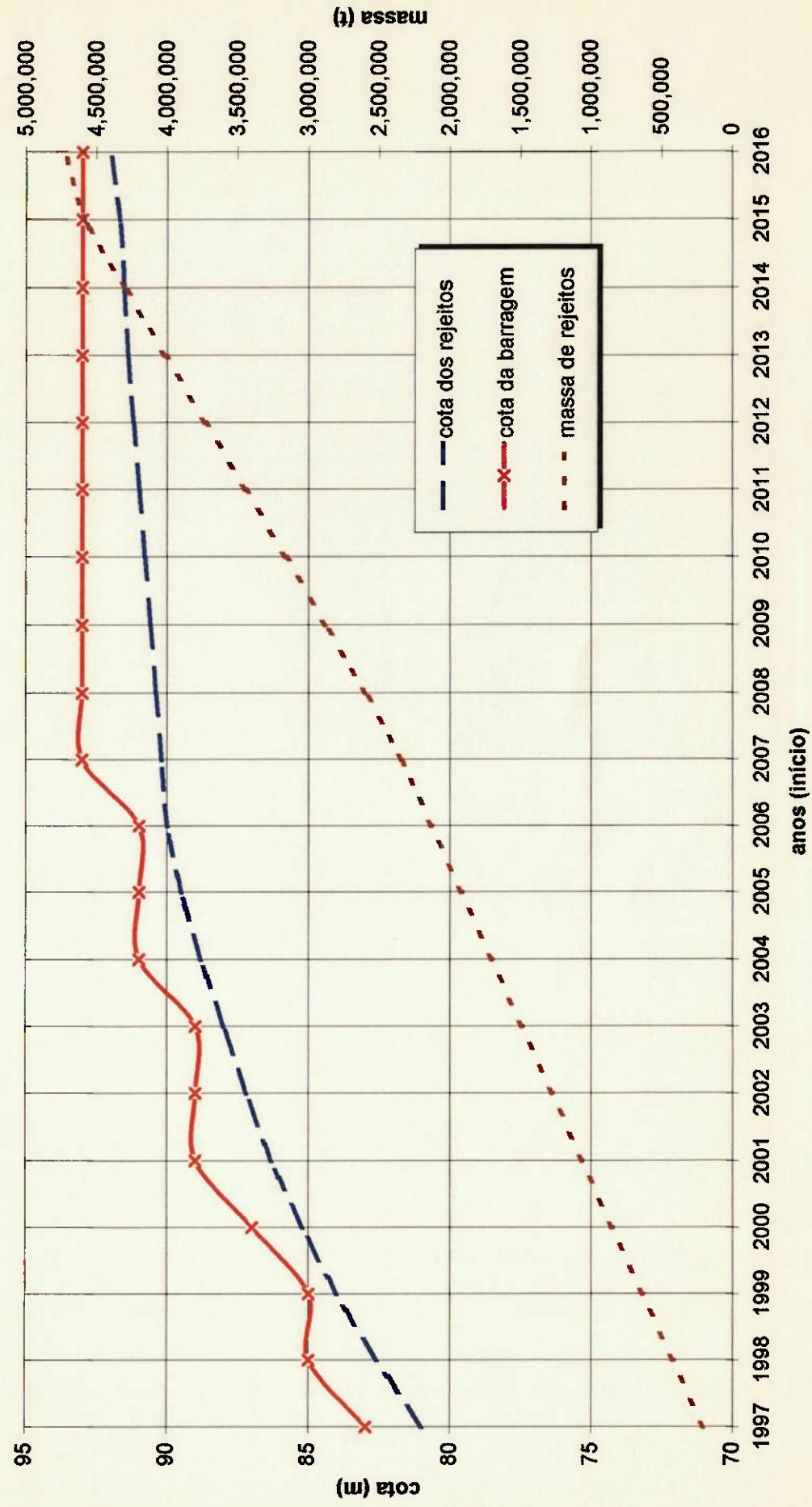


Tabela 8 - cronograma de alteamento - B2 (ver figura 15)

Etapa	Cota (m)	Ano de execução
1	83	1.996
2	85	1.997
3	87	1.999
4	89	2.000
5	91	2.003
6	93	2.006

## 6. Processo Construtivo da barragem B2

O método construtivo proposto pode ser descrito como uma barragem executada por aterro hidráulico pelo método da linha de centro. Para evitar o uso de hidro-ciclones, que poderiam apresentar problemas operacionais devido à variação de fluxo e desgaste do revestimento, foi adotada a construção por células, formadas hidráulicamente no talude de jazante, com espessura de 1m e compactadas mecanicamente. É alteado primeiro o dique de argila da face de jazante e preenchido com areia bombeada até atingir 1m de espessura. Desvia-se o lançamento de misto para outro ponto enquanto se compacta a camada de 1m, já lançada no talude de jazante, e se contrói o septo de impermeabilização, no nível superior, antes do lançamento de outra camada. A compactação deve ser efetuada com trator de esteiras até atingir-se grau de compacidade relativa superior a 55%. O número de passadas deverá ser determinado na prática para atender o requisito acima. É possível inclusive que não seja necessária a compactação com trator, dependendo do comportamento do material durante o lançamento. Após completada a camada de 1m de areia deve ser executado o septo de vedação no eixo da barragem. Este aterro deve ser executado com excesso de umidade, em camadas de 30 cm, e compactado por tráfego.

A operação deverá estar atenta para a real importância de cada componente da obra, evitando gastos desnecessários. O bombeamento de misto até B2 deverá ser o suficiente para atender a cada etapa. No restante do tempo deve-se bombear a menor distância, economizando energia e desgaste. A areia de jazante deve ser a mais drenante ( poucos finos ) possível, e sua compactação até compacidade adequada é necessária para evitar riscos de liquefação. A areia de montante não deve ter qualquer manuseio por

equipamento, apenas a tubulação deve ser mudada periodicamente de modo a distribuir o misto. É admissível, e até desejável, a presença de finos na areia de montante.

O septo de solo visa basicamente impermeabilização devendo ser selecionados solos que permitam tal característica. O solo da face de jazante visa basicamente proteção contra erosão, drenagem superficial e servir como substrato para hidrossemeadura.

O enrocamento de jazante usará pedra detonada, podendo conter quantidades moderadas de finos, desde que não plásticos (argilas). Considerando a dificuldade na produção de brita, pode-se efetuar a transição com bidim.

Na tabela 9 pode-se observar os volumes de materiais necessários à construção da barragem.

No desenho anexo, "Barragem B2 - detalhes", pode-se observar os detalhes construtivos da barragem : enrocamento, etapas de alteamento e seção típica.

Tabela 9 - planilha de quantidades

Materiais	Volume (m <sup>3</sup> )
solo	46.985
areia a jusante	46.473
areia a montante	133.160
enrocamento	1.170
bidim	770 m <sup>2</sup>

## 7. Dimensionamento do vertedouro da B2

Para o dimensionamento do vertedouro, foi utilizado roteiro descrito por Silvio<sup>4</sup>.

Segundo Tucci<sup>5</sup>, para o dimensionamento de vertedouros: “as vazões devem reproduzir condições críticas possíveis de ocorrer com um determinado risco. Essas condições são identificadas dentro das mais desfavoráveis... O risco é a probabilidade de que um valor seja ultrapassado... Neste caso, a probabilidade (P) é o risco da vazão ser ultrapassada num ano qualquer. O tempo de retorno (ou recorrência) desse valor é  $T=1/P$ . O risco que uma vazão, com uma probabilidade associada, ocorra nos próximos anos é obtido pela expressão :  $P=1-(1-1/T)^N$  onde N é o número de anos”

Determinação do tempo de recorrência, admitindo-se risco de 5% :

$$T = 1/(1-(1-P)^{1/N})$$

T - tempo de recorrência (390 anos)

P - probabilidade de ocorrência da chuva excedente (0,05)

N - vida útil da obra (20 anos)

Determinação do tempo de concentração, tempo decorrido entre o início da chuva e a chegada da contribuição dos pontos mais distantes do reservatório no vertedouro, em bacias pequenas, a chuva mais crítica é aquela cujo tempo de duração é igual ao tempo de concentração, caracterizada por curta duração e grande intensidade :

$$tc = 0,95 (L^3/H)^{0,385}$$

tc - tempo de concentração (0,17 h)

L - comprimento do rio (0,45 km)

H - diferença entre as cotas do ponto mais elevado da área de contribuição e o inferior (8 m)

Determinação do fator de recorrência :

$$K = T^{(a + b/T)^c}$$

K - fator de recorrência (2,01)

T - tempo de recorrência (390 anos)

a - fator dependente do tempo de duração da chuva ( para  $t_c=0,17\text{h}$ ,  $a=0,117$ ) - tab 10

b - fator que depende do tempo de duração da chuva e do local (para  $t_c=0,17\text{h}$  e Manaus,  $b=0$ ) - tab 11

c - fator constante (0,25)

Determinação da precipitação para tempo de recorrência de 1 ano :

$$P = 0,1 t + 33 \log (1+20 t)$$

P - precipitação (21,25 mm)

t - tempo de duração da chuva ( $t = t_c = 0,17\text{ h}$ )

Determinação da intensidade da chuva para o período de recorrência estimado :

$$I = K P / t$$

I - intensidade da chuva (251,25 mm/h)

K - fator de recorrência (2,01)

P - precipitação com recorrência anual (21,25 mm)

t - duração da chuva ( $t = t_c = 0,17\text{ h}$ )

Tabela 10 - fator a

duração da chuva	a
5 min	0,108
15 min	0,122
30 min	0,138
1h	0,156
2h	0,166
4h	0,174
8h	0,176
14h	0,174
24h	0,170
48h	0,166
3 dias	0,160
4 dias	0,156
6 dias	0,152

Tabela 11 - fator b

duração da chuva	b
5 min	0,04
15 min	0,00
30 min	0,00
1h a 6 dias	0,04

Determinação da vazão requerida ao vertedouro :

$$Q = 0,022 E A I (H/L/A)^{1/4}$$

Q - vazão (2,18 m<sup>3</sup>/s)

E - fator de absorção, dependente das características da superfície da bacia (neste caso

E = 0,15) - tab 12

A - área de contribuição (30 ha)

I - intensidade da chuva (25,13 cm/h)

H - diferença entre as cotas do ponto mais elevado da área de contribuição e o inferior

(8 m)

L - comprimento do rio (0,45 km)

Tabela 12 - fator E

Características locais	E
Intensamente asfaltado/acimentado	0,70 a 0,75
Área residencial urbana	0,50 a 0,55
Subúrbio	0,30 a 0,45
Zona rural	0,20 a 0,30
Parques / Jardins	0,15 a 0,25

Dimensionamento do vertedouro, para a vazão solicitante :

O dimensionamento é iterativo, calculando-se a capacidade do vertedouro para sucessivas geometrias do seu canal e comparando essa capacidade com a vazão calculada acima.

O canal a ser construído por retro-escavadeira apresenta a seguinte geometria : fundo = 3,0 m; prof. = 1,0 m; paredes 1:1. A tal canal corresponde a seguinte velocidade de água :

$$V = R_h^{2/3} I^{1/3} / n$$

V - velocidade (0,8 m/s)

I - inclinação do canal (0,0001 m/m)

$R_h$  - raio hidráulico (0,55 m)

n - fator de rugosidade do canal (para superfície em solo, rugosa, n = 0,04) - tab 13

Tabela 13 - fator n

Tipo de Canal	n
Concretado	0,013
Solo, superfície lisa	0,016
Solo, superfície regular	0,020
Solo, superfície rugosa	0,040

Para a velocidade calculada, temos a capacidade de vazão do canal igual a 2,19 m<sup>3</sup>/s, suficiente para a chuva esperada.

O vertedouro deverá ser composto pelo canal calculado acima, com fundo na cota 92 m e ligado a uma escada em gabiões, a ser especificada futuramente; para tanto necessita-se de detalhamento topográfico do local selecionado. Ver posição do vertedouro no desenho "Talude e Vertedouro".

## 8. Conclusões

A barragem B2 deverá ser construída no eixo apresentado na "Planta de Locação" anexa, alteada pela linha de centro conforme descrito no ítem "Processo Construtivo" e apresentado no desenho "Barragem B2 - detalhes" e segundo o cronograma (ver figura 15) :

Etapa	Cota (m)	Ano de execução
1	83	1.996
2	85	1.997
3	87	1.999
4	89	2.000
5	91	2.003
6	93	2.006

Os coeficientes de segurança da barragem B2 são :

$F = 2,006$	Talude de montante (1:6,8 - ângulo de repouso)
$F = 1,479$	Talude de juzante (1:3)

O reservatório de B1 está dimensionado para 11,5 anos de operação e o reservatório de B2 para 19,5 anos. Foram considerados para esse dimensionamento os rejeitos provenientes do beneficiamento dos pré-concentrados do intemperizado e do aluvião e do reaproveitamento dos mistos atualmente depositados em B3 e B4, de forma a operar as usinas a plena capacidade, gerando-se 70.404 t lama/ano e 213.420 t

areia/ano. Assim sendo, eventuais alterações de capacidade de produção, características dos rejeitos ou cronograma de produção implicarão em impacto sobre a vida útil dos reservatórios e cronograma de alteamento da B2, ítems que poderão ser oportunamente revistos.

## 9. Bibliografia

- (1) AZEVEDO, R. F.; SADO, J. S. Análise uni-dimensional do enchimento de reservatório de barragens de rejeito através de uma teoria de adensamento com grandes deformações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA 6., Salvador, 1990. Anais. São Paulo, ABGE/ABMS, 1990. v.1, p.71-8.
- (2) GOBARA, W. O adensamento com deformações finitas e obtenção de parâmetros pelo ensaio de adensamento hidráulico. São Paulo 1991. 1v. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- (3) CARRIER III, W. D.; BROMWELL, L. G.; SOMOGYI, F. Design capacity of slurried mineral waste ponds. Journal of Geotechnical Engineering, v.109, n.5, p.699-716, May 1983.
- (4) SILVIO, E. A simple water management methodology applied to environmental quality control of an alluvial mining operation in the Amazon region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND WASTE MANAGEMENT IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION, 3., Perth, 1994. Proceedings. Perth, Curtin University of Technology, 1994. p.185-96.
- (5) TUCCI, C. E. M. org. Hidrologia : ciência e aplicação. Porto Alegre, Editora da Universidade, 1993. cap. 14, p.527-72: Vazão Máxima e Hidrograma de projeto.

(6) CAPUTO, H. P. Mecânica dos Solos e suas Aplicações. 5.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983. 2v.

\* (7) GRUPO PARANAPANEMA. MINERAÇÃO TABOCA S.A. Plano de recuperação de áreas degradadas - Complexo Pitinga (AM). s.l., 1991. (Relatório Interno)

\* (8) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. Relatório apresentado ao Grupo Paranapanema : ensaios de caracterização e ensaios de adensamento hidráulico. São Paulo s.d. (Relatório de ensaio n. 822.698)

\* (9) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. Relatório apresentado à Mineração Taboca S.A. : ensaios geotécnicos de laboratório. São Paulo s.d. (Relatório de ensaio n. 828.872)

\* (10) PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO. Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Geotecnia. Relatório apresentado à Mineração Taboca S.A. : ensaios oedométricos com velocidade de deslocamento constante. Rio de Janeiro, 1994.

\* (11) SILVIO, E. Revisão do plano diretor de disposição de mistos. São Paulo, Grupo Paranapanema / Mineração Taboca S.A., 1993. (Relatório Interno)

obs.: os documentos marcados com \* são de propriedade da Mineração Taboca e poderão ser consultados somente com autorização da empresa.

**10. Anexo - Desenhos**

- 1. SEÇÕES GEOLÓGICAS**
- 2. PLANTA DE LOCAÇÃO**
- 3. BARRAGEM B2 - DETALHES**
- 4. TALUDE E VERTEDOURO**