

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Minas**

ISSN 0104-0553

**BT/PMI/054**

---

**Projeto de Barragem para Reservação  
de Mistos de Minerais Pesados  
Rejeitados pelo Beneficiamento de  
Cassiterita na Mina do Pitinga**

---

**Marcelo Pimentel de Carvalho  
Eder de Silvio  
Lindolfo Soares**

**São Paulo - 1997**

Carvalho, Marcelo Pimentel de

Projeto de barragem para reservação de mistos de minerais pesados rejeitados pelo beneficiamento de cassiterita na mina do Pitinga / M.P. Carvalho, E. Silvio, L. Soares. -- São Paulo : EPUSP, 1997.

p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/054)

1. Barragens de rejeitos 2. Percolação d'água 3. Fundações de barragens - Estabilidade 4. Vertedouros - Dimensionamento I. Silvio, Eder de II. Soares, Lindolfo III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas IV. Título V. Série

ISSN 0104-0553

CDU 622.799.7  
624.131.6  
624.152.63  
627.43

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

Marcelo Pimentel de Carvalho  
Engenheiro de Minas, Representante Técnico da Nalco do Brasil

Eder de Silveiro  
Gerente de Projetos da Mineração Taboca, Doutorando na área de Engenharia Mineral

Lindolfo Soares  
Professor do Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP

Trabalho vencedor do prêmio José Ermírio de Moraes de 1995

## **Resumo**

A Mineração Taboca opera no denominado Complexo do Pitinga várias minas. Tais minas incluem lavra de aluviões e lavra de minério primário intemperizado.

A pré-concentração do minério é efetuada junto às áreas de lavra e os produtos dessa atividade seguem para beneficiamento centralizado, onde são produzidos os concentrados finais e gerados os "rejeitos" compostos por minerais pesados, chamados de mistos.

Em função da breve necessidade de construção de nova barragem para recebimento dos mistos, foram desenvolvidos estudos prévios, a partir dos quais fundamentou-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, dimensionamento do vertedouro e locação das obras; além de análise comentada dos resultados das sondagens e ensaios laboratoriais empregados.

## **1. Introdução e Objetivos**

O projeto para contenção futura dos rejeitos constituídos por minerais pesados, denominados de mistos, provenientes do processo de beneficiamento de cassiterita foi concebido, dentro do planejamento global da Mineração Taboca, segundo as diretrizes básicas constantes do documento interno : Revisão do Plano Diretor de Disposição de Mistos (nov/93).

Os objetivos do presente trabalho são :

1. desenvolver o projeto da barragem denominada B2, para recebimento de mistos provenientes das usinas de beneficiamento de minério da mina do Pitinga, denominadas UBM 1 e UBM 3;
2. determinar a vida útil do reservatório da barragem B1, já construída e atualmente utilizada para reservação de água;
3. determinar a vida útil da barragem B2.

Assim sendo, foram desenvolvidas as seguintes atividades, tidas como fundamentais para o atendimento aos objetivos assinalados :

- Estudos geotécnicos;
- análises de percolação da fundação e maciço da barragem B2, e estabilidade do conjunto;
- cálculo da capacidade de reserva das barragens B1 e B2;
- definição do processo construtivo da barragem B2; e
- dimensionamento do vertedouro da barragem B2.

## **2. Descrição do empreendimento**

O Complexo do 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 a lavra e beneficiamento de minério aluvionar que ocorre nos vales de vários igarapés e de minério primário intemperizado que ocorre na Serra do Madeira. O beneficiamento produz pré-concentrados que são encaminhados para as Usinas de Beneficiamento de Minério (UBM's), onde é produzido o concentrado. O Complexo compreende ainda usina hidroelétrica, linhas de transmissão, fazenda (agropecuária), vila residencial, instalações de apoio operacional (oficina, almoxarifado e escritórios), estradas e aeroporto.

### **2.1. Localização**

Pitinga localiza-se 250 km ao norte de Manaus, 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 deságua no rio Negro.

O acesso, a partir de Manaus, pode ser feito por via terrestre, através da BR-174 até o km 250 e a partir daí, por 55 km de estrada vicinal. O acesso pode ser efetuado por via aérea, utilizando-se 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 Complexo 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.

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 estaníferos estão geneticamente relacionados a dois corpos graníticos, denominados Madeira e Água Boa.

### 2.2.1. Depósitos Aluvionares

Ocorrem aluviões mineralizados com cassiterita que se situam relativamente próximos de suas fontes primárias e dispõem-se predominantemente sobre os granitos mencionados.

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, típico de condições de clima semi-árido.

Nos aluviões distinguem-se, da base para o topo : cascalhos, 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 e lavagem do minério, existem hoje no Complexo do Pitinga milhões de metros cúbicos de rejeitos primários, cujas características químicas e físicas mantêm notável correlação com as dos depósitos originais, exceto com relação aos teores de minerais pesados, especialmente cassiterita e zircão. 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.

### 2.2.2. Depósitos Primários

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.

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 rocha sã vem sendo sistematicamente pesquisada, sendo possível indicar potencial para os mesmos elementos que ocorrem no manto intemperizado, e ainda crolita disseminada e crolita maciça, que forma bolsões em profundidade.

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

A lavra é desenvolvida a céu aberto, aproveitando dois tipos de minérios: aluvionar, ao longo da rede 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". Para o minério primário o circuito de processo inclui também espirais de Reichert.

#### **2.3.1. Minério Aluvionar**

O método de lavra aluvionar empregado 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, ausência de matacões, limites de lavra de mais ou menos 150 metros (largura média da reserva) e igarapé com boa vazão de água.
- 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, 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 a 5 m), sendo os sedimentos dragados 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 grosseiro vai para o circuito de "jigagem", em três estágios. O "oversize" do "trommel", a lama da deslamagem e os rejeitos dos "jigues", que correspondem à quase totalidade da massa escavada (aproximadamente 95%), são descartados como rejeitos na própria poça de lavra.

#### **2.3.2. Minério Primário**

O corpo de minério primário apresenta como perfil típico uma faixa colúvio-eluvial no topo com espessura média de 5 metros; um solo residual subjacente com

espessura da ordem de 25 metros e rocha-sã. A lavra atual desenvolve-se na faixa colúvio-saprolítica.

O método de lavra empregado é o convencional com escavação, carregamento 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, à 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 Grotta C. As PL's são situadas em flancos opostos da mina e 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 e ocorrência do minério primário (morro), a deposição não pode ser feita na própria cava.

Os rejeitos são descartados na forma de polpa, sendo depositados nos vales dos igarapés Paxiúba e IV de Novembro, defronte às unidades de pré-concentração do Paxiúba, e nos vales da Grotta C (rejeitos grossos) e do igarapé Jabuti (rejeitos finos), defronte às PL's da Grotta C.

Para início de operação, foram construídas 4 barragens, denominadas B6, B4, B5 e B8. A primeira (B6), com função de contenção, foi construída com solo compactado e aterro hidráulico de rejeitos e as demais, construídas com solo compactado, têm a função de vedar pontos de fuga em selas topográficas. Esse sistema de 4 barramentos comportou os rejeitos gerados nos primeiros anos de operação, atendendo aos primeiros módulos de pré-concentração, localizados no igarapé Ouro Preto.

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

## **2.4. Usinas de Beneficiamento de Minério**

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 produzir pré-concentrados nas diversas frentes de lavra.

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 UBM1 foram instaladas mesas vibratórias - indicadas 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 os 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.

### **2.5. Rejeitos das Usinas de Beneficiamento de Minério**

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 dos demais 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 das usinas UBM1 e UBM3 constituem-se, na verdade, depósitos temporários de subprodutos minerais, que serão retomados tão logo seja reaquecido o mercado consumidor desses 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 também pela barragem B2, cujo projeto está apresentado a seguir.

## **3. Estudos Geotécnicos**

Os dados geotécnicos representativos das características das fundações da barragem B2 e dos materiais constituintes do maciço foram determinados através dos

seguintes trabalhos :

- Execução de programa de sondagens

- Ensaios "in situ", executados nos furos de sondagem
- Ensaios Laboratoriais

Foram executadas um total de 6 sondagens à percussão ( SP-01 a 06), 3 sondagens mistas ( SM-01, 02 e 03 ), iniciadas à percussão e completadas com sondagem rotativa ao se atingir os estratos mais resistentes impenetráveis ao método de percussão, e 1 poço ( P-02 ) escavado manualmente até a impenetrabilidade ao método. A localização das investigações de subsuperfície está apresentada na Figura 1. A partir dos resultados das sondagens, foram elaborados perfis individuais, que permitiram a execução de seções geológicas / geotécnicas dispostas longitudinal e transversalmente ao eixo da barragem em estudo (Figura 1).

Para o conhecimento das características de resistência e de permeabilidade do maciço e da fundação da barragem em estudo, foram realizados os seguintes ensaios "in situ" :

- Ensaios SPT (Standard Penetration Test) nas sondagens percussivas a cada metro de profundidade;
- Ensaio de infiltração para determinação da permeabilidade das diferentes camadas de solo;
- Ensaio de perda d'água sob pressão para determinação das características de permeabilidade da fundação rochosa.

Os resultados obtidos nestes ensaios estão apresentados na Tabela 1.

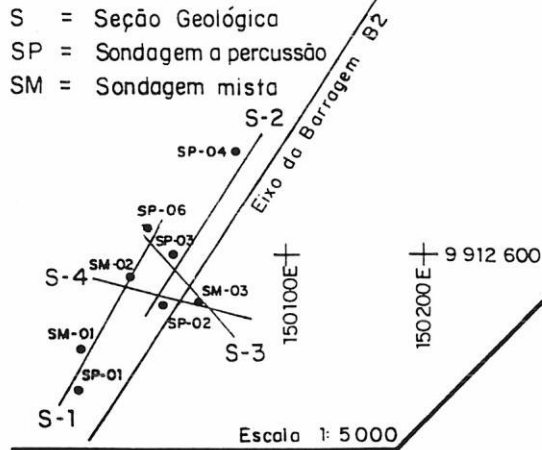
Tabela 1 - resumo dos resultados dos ensaios "in situ"

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

O saprolito situado fora da área do aluvião será empregado como material de empréstimo na construção do aterro.

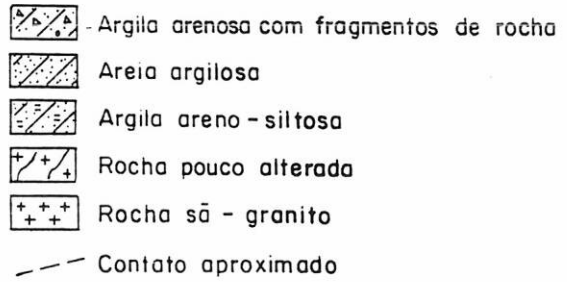
Para a obtenção dos dados necessários aos cálculos de estabilidade da barragem B2, foram encaminhadas ao IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo : amostra (1) de rejeito quartzoso, amostra (2) deformada de material argiloso da caixa de empréstimo (para o septo de argila da barragem) e amostra (3) indeformada de material da fundação da barragem. Tais amostras foram submetidas aos ensaios relacionados na tabela 2, e os resultados obtidos estão indicados nas tabelas 3 e 4 e nas figuras 2 e 3.

# PLANTA DE LOCALIZAÇÃO



# SEÇÕES GEOLÓGICAS

## LEGENDA



Obs: COTAS - NÍVEL DE REFERÊNCIA ARBITRÁRIO

Escala H 1: 1000  
 V 1: 200

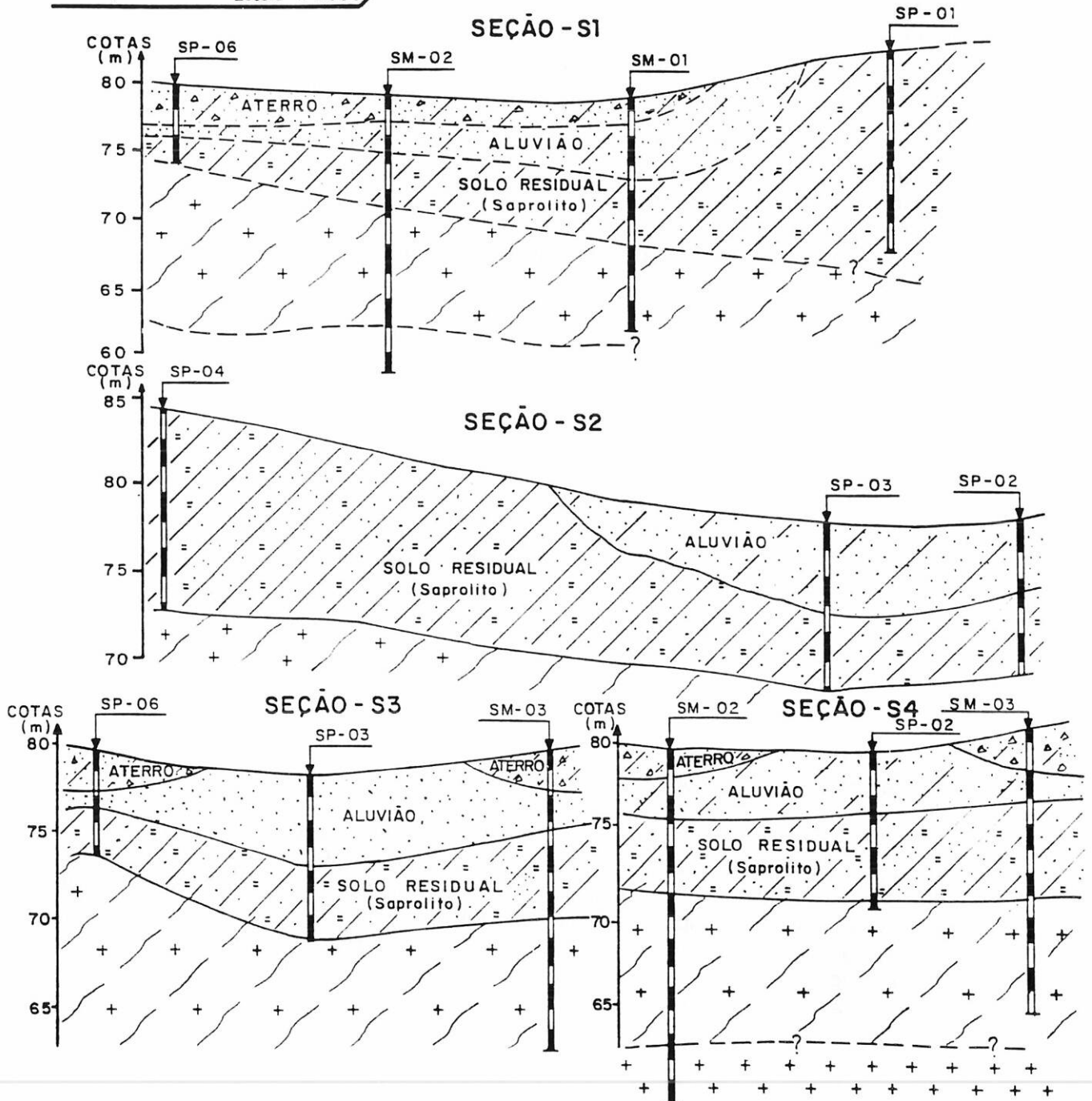


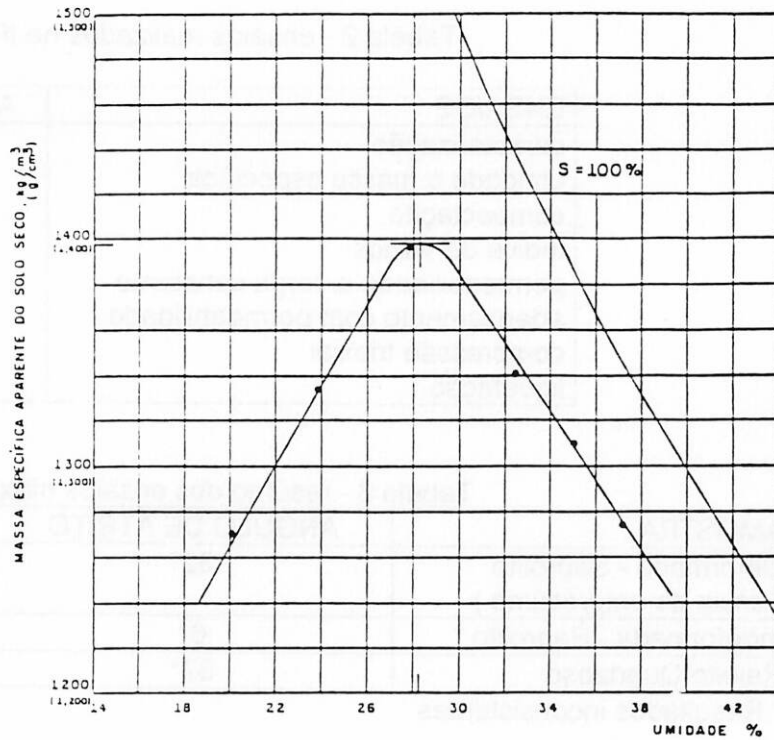
Figura 1 - Seções geológicas e geotécnicas nas fundações da barragem B2

Umidade ótima: 28,3%  
 Massa específica aparente  
 seca max: 1,397 g/cm<sup>3</sup>

**Legendas**

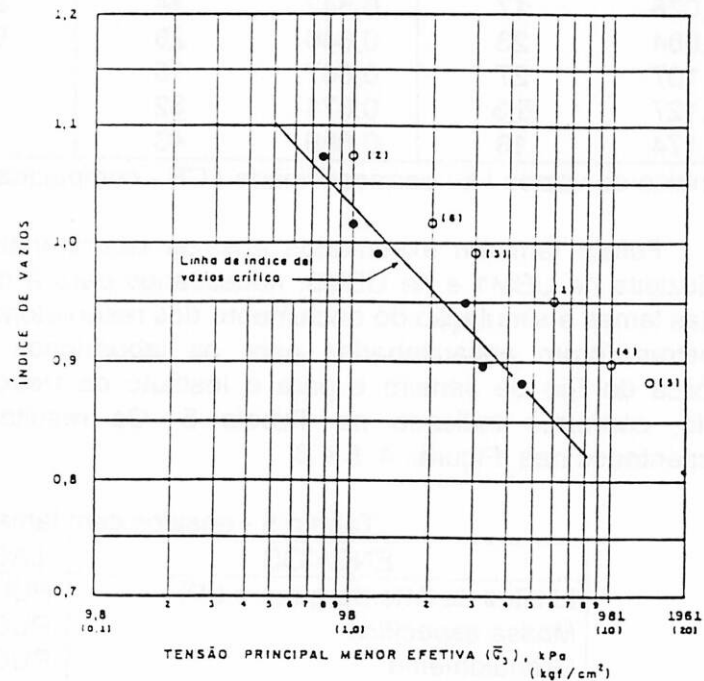
- ( ) - identificação do Ensaio
- o - ponto após adensamento
- - ponto ao final do ensaio

Fonte: Certificado IPT nº 828.872  
 Ensaios Geotécnicos de Laboratório



**Figura 2 - Curva de Compactação**

Fonte: Certificado IPT nº 828.872  
 Ensaios Geotécnicos de Laboratório



**Figura 3 - Resumo dos ensaios triaxiais especiais (liquefação)**

Tabela 2 - ensaios realizados no 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
liquêfação	1

Tabela 3 - resumo dos ensaios triaxiais

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

\* Resultados inconsistentes

Tabela 4 - resumo dos ensaios de permeabilidade

Amostra deformada de Saprolito		Amostra indeformada de Saprolito		Amostra de Rejeito Quartzoso		
e	k (10 <sup>-5</sup> cm/s)	e	k (10 <sup>-5</sup> cm/s)	CR (%)	e	k (10 <sup>-2</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			

e - índice de vazios / k - permeabilidade / CR - compacidade relativa

Foram também executados ensaios laboratoriais com amostras das lamelas produzidas na UBM1 e na UBM3, necessários para a modelagem do adensamento destas lamelas e simulação do enchimento dos reservatório das barragens B1 e B2. As amostras foram encaminhadas para os laboratórios da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, conforme indicado na Tabela 5. Os resultados destes ensaios estão apresentados nas Figuras 4, 5 e 6.

Tabela 5 - ensaios com lama

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

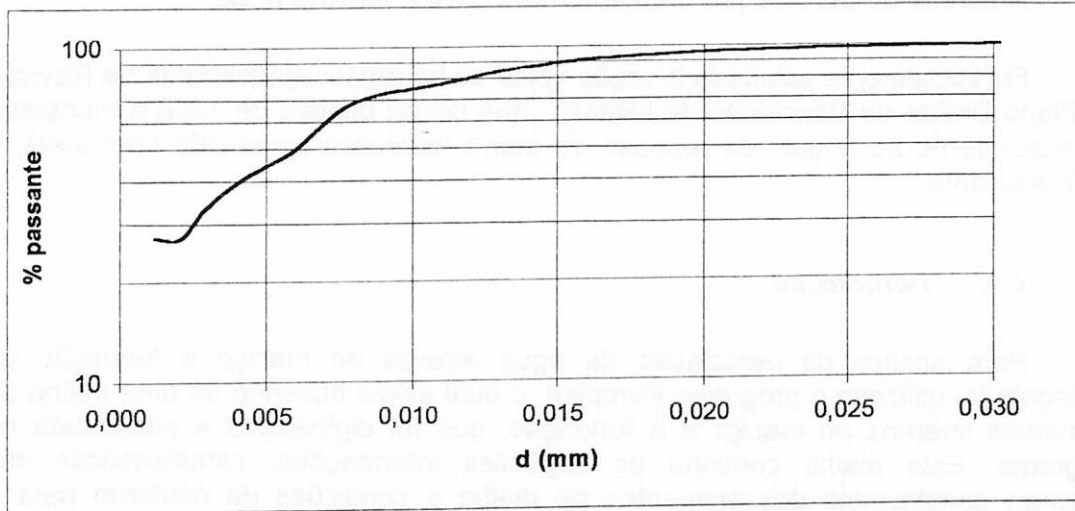


Figura 4 - Granulometria - lama UBM's

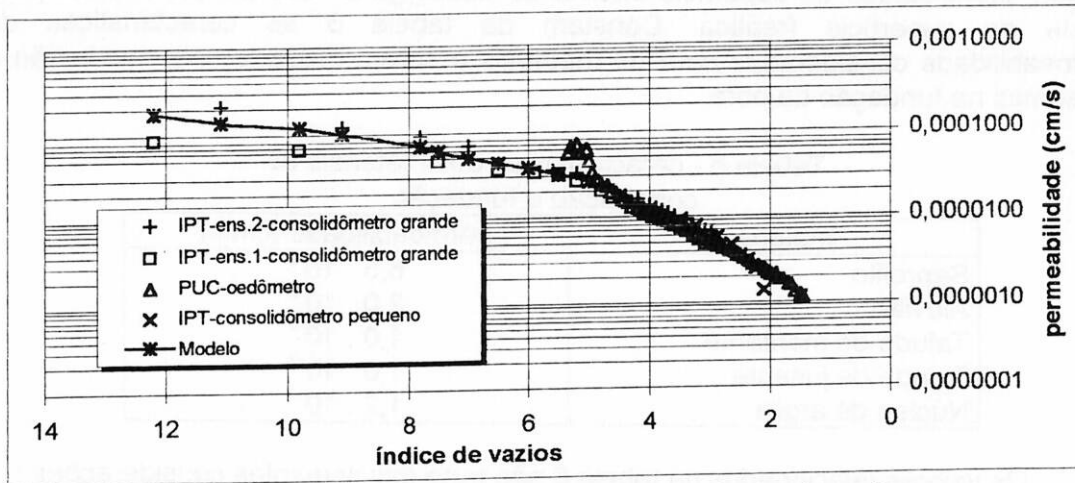


Figura 5 - Lama UBM's - permeabilidade vs. índice de vazios

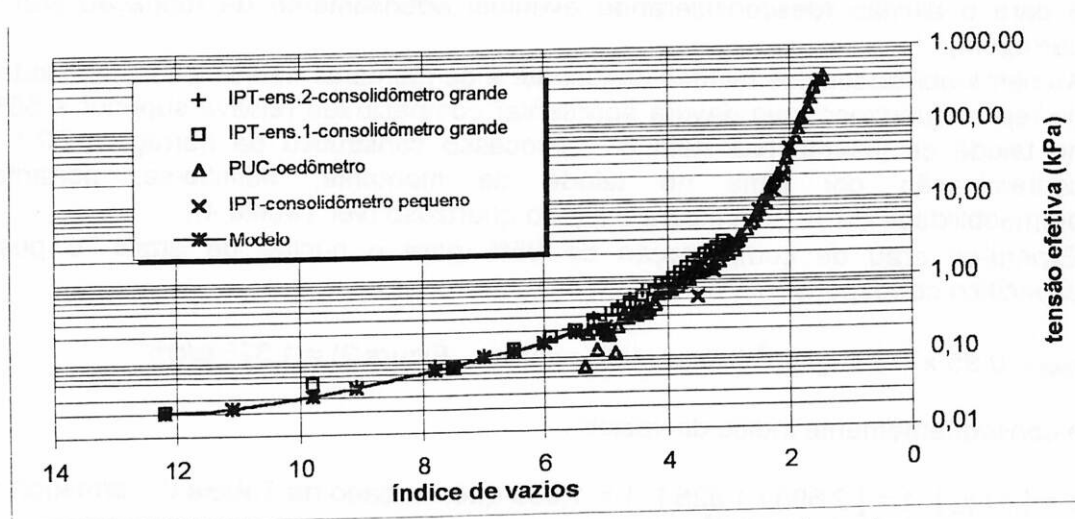


Figura 6 - Lama UBM's - tensão efetiva vs. índice de vazios

#### 4. Análises de percolação e estabilidade para a barragem B2

Foi inicialmente estudada a seção típica da barragem apresentada na Revisão do Plano Diretor de Deposição de Mistos<sup>11</sup>, que previu taludes de 1:6,8 a montante, correspondente ao ângulo de repouso do aterro hidráulico construído com areia; e 1:2,5 a jusante.

##### 4.1. Percolação

Para análise da percolação de água através do maciço e fundação da barragem 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 de malha 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 superfície freática. Constam da tabela 6 as características de permeabilidade consideradas para os materiais a serem utilizados na construção e presentes na fundação da obra.

Tabela 6 - características dos materiais de construção e fundação

materiais	permeabilidade (cm/s)
Saprolito	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Aluvião	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Talude de montante	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Talude de jusante	$1,0 \cdot 10^{-2}$
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 jusante e de montante são as permeabilidades do rejeito quartzoso, que deverá apresentar compacidade relativa superior a 55% no talude de jusante (ver item 6 : "Processo construtivo da barragem B2") e contaminação por lama no talude de montante; admitiu-se, portanto, permeabilidade de  $10^{-2}$  cm/s para o rejeito quartzoso (ver Tabela 4);
- Espera-se grau de compactação de 95% para o núcleo de argila; o peso específico correspondente é :

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

e conseqüentemente índice de vazios :

$$e = [\delta / \gamma_s] - 1 = [2,698 / 1,325] - 1 = 1,033 \text{ que, lançado na Tabela 6, corresponde a permeabilidade de } 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s.}$$

onde:  $\gamma_s$  - peso específico aparente  
 $\delta$  - peso específico dos grãos

O programa forneceu-nos os seguintes resultados :

1. Posição da superfície 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 equipotenciais (Figura 7); e
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 jusante 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 (Tabela 7) e os dados de percolação de água.

Tabela 7 - características dos materiais

materiais	coesão ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	ângulo de atrito ( $^\circ$ )	massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
Talude de montante	0,00	37	1,6
Talude de jusante	0,00	37	1,6
Núcleo de argila	0,13	32	1,6
Aluvião	0,03	12	1,4
Saprolito	0,10	25	1,6
Rocha pouco alterada	500	30	2,7

Os valores considerados na tabela 7 podem divergir um pouco dos apresentados no item Estudos Geotécnicos; 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; e
4. o aluvião e a rocha não foram ensaiados, assim sendo, optou-se também pela atribuição de valores já aplicados anteriormente.

O programa forneceu 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 seções transversais ao eixo da barragem, mostrando os taludes, os contatos entre os materiais, as superfícies críticas e os fatores de segurança (Figuras 8 e 9).

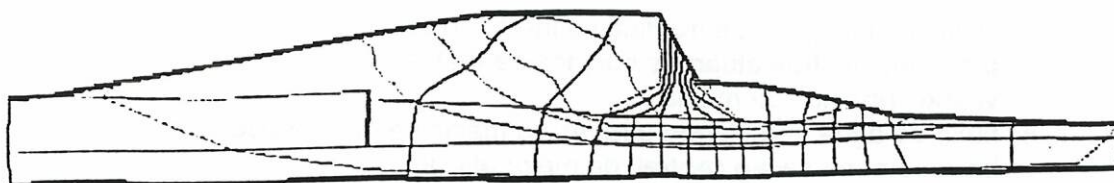


Figura 7 - Rede de fluxo

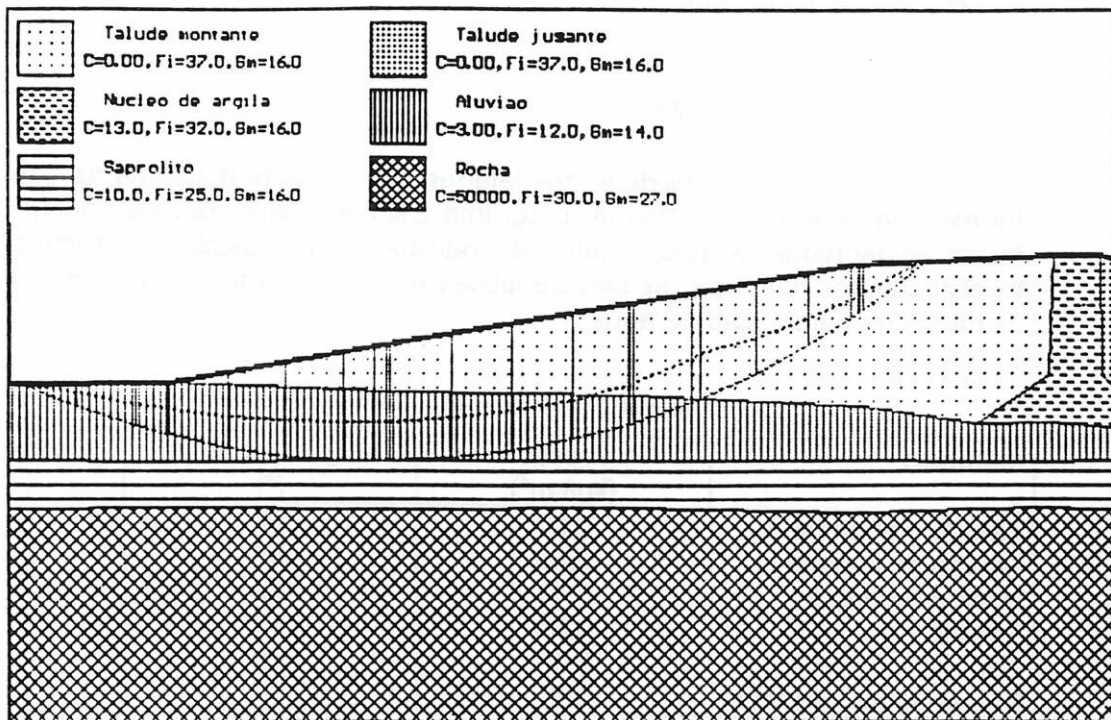


Figura 8 - Estabilidade do talude de montante

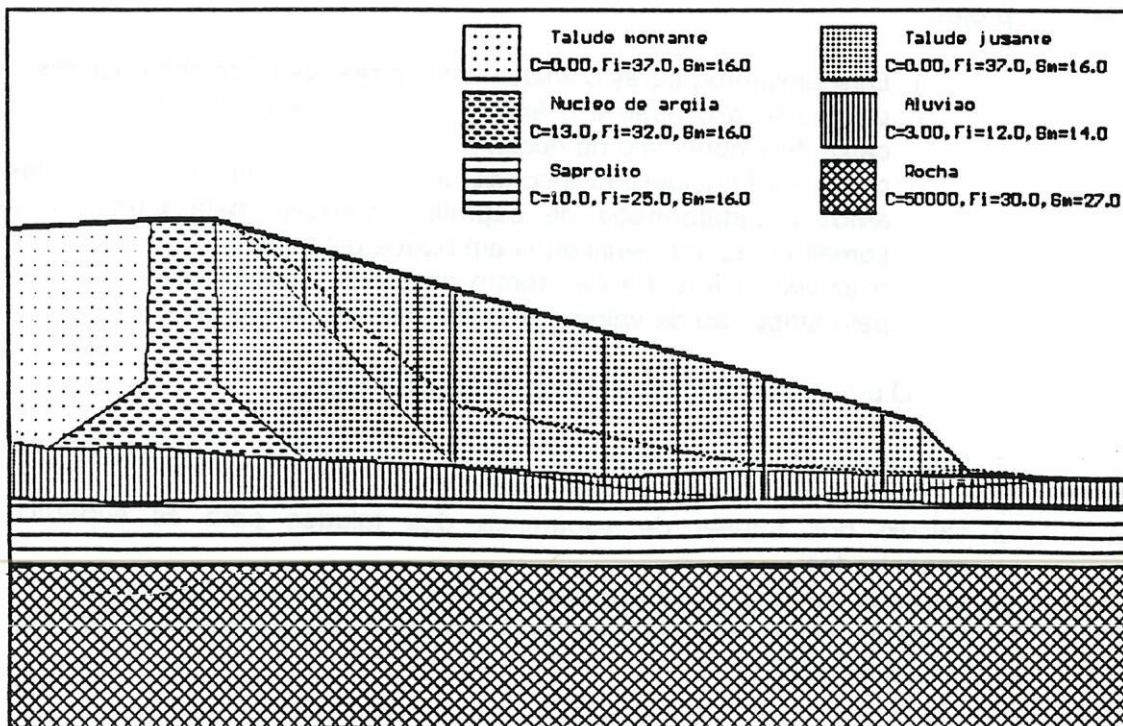


Figura 9 - Estabilidade do talude de jusante

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 jusante 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 sobrepressões sob o talude de jusante: tapete de argila e "cut-off", que entretanto não indicaram melhorias em relação à estabilidade do talude.

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 jusante (1:3)

Para avaliar o risco de liquidação, que poderia ocorrer em função de um sismo natural, foram executados os ensaios triaxiais especiais com o rejeito quartzoso (Figura 3). De posse destes resultados realizou-se o seguinte cálculo :

- Tensão principal maior (s1) 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 (s2) :  
 $s_2 = 0,4 \text{ (K - relação entre } s_2 \text{ e } s_1) \times s_1 \text{ (2,2 kg/cm}^2) = 0,88 \text{ kg/cm}^2$   
 K=0,4 para areia compacta

- Índice de vazios crítico de liquidação, função do estado de tensões :  
 dado  $s_2 = 0,88 \text{ kg/cm}^2$ , tem-se da figura 3 que :  $e_{\text{CRITICO}} = 1,043$

- Para a compactidade relativa  $CR > 55\%$ , especificada, tem-se  $e < 0,972 < e_{\text{CRITICO}}$   
 (Tabela 4 - rejeito quartzoso)

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

## 5. Capacidade de reservação das barragens 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. 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 5 e 6, 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 (Programa de consolidação de lamas por diferenças de deslocamentos finitos - cedido pelo IPT ). A partir desta simulação foi definido o modelo do adensamento, determinando-se os parâmetros da equação :

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

h = altura da lama (m)  
 Q = taxa de alimentação de lama (t/m<sup>2</sup>/ano)  
 t = tempo (anos)  
 t<sub>0</sub> = instante inicial  
 a = 1,30  
 b = 0,95  
 c = 0,89

A Figura 10 mostra o gráfico de modelagem para diferentes taxas de alimentação.

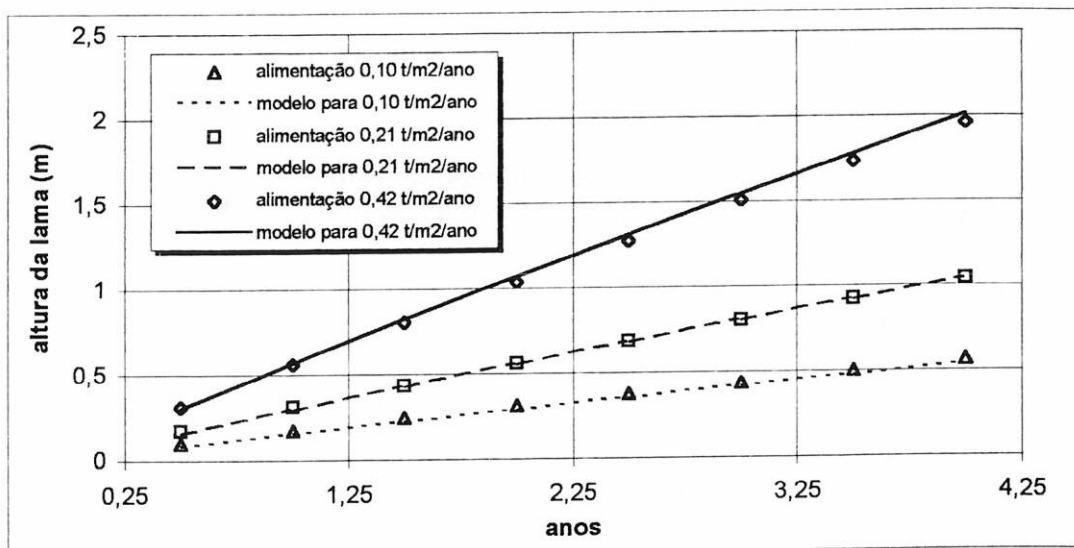


Figura 10 - Modelagem do Adensamento - lama UBM's

### 5.1. Reservatório da barragem 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 11) 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 (Figura 12) :

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>.

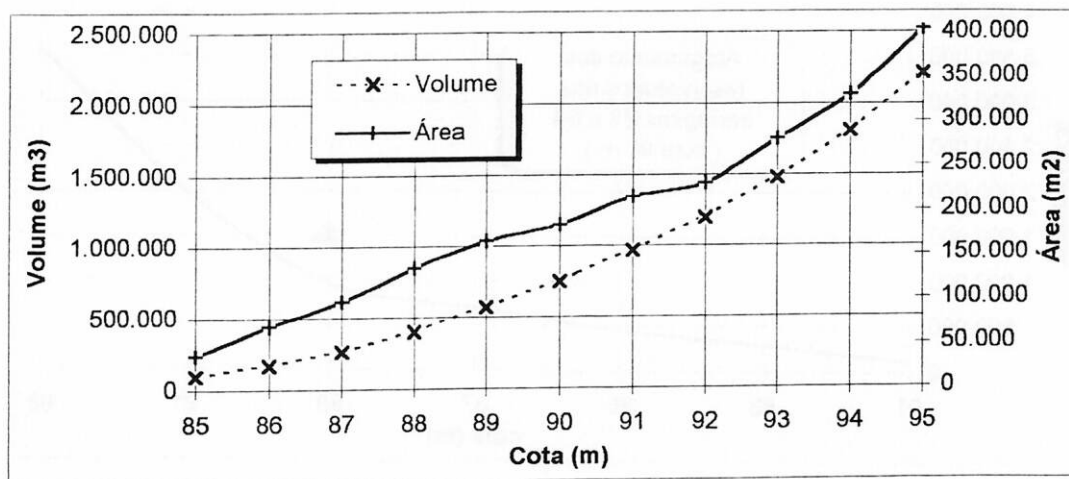


Figura 11 - Curva cota-área-volume do reservatório da barragem B1

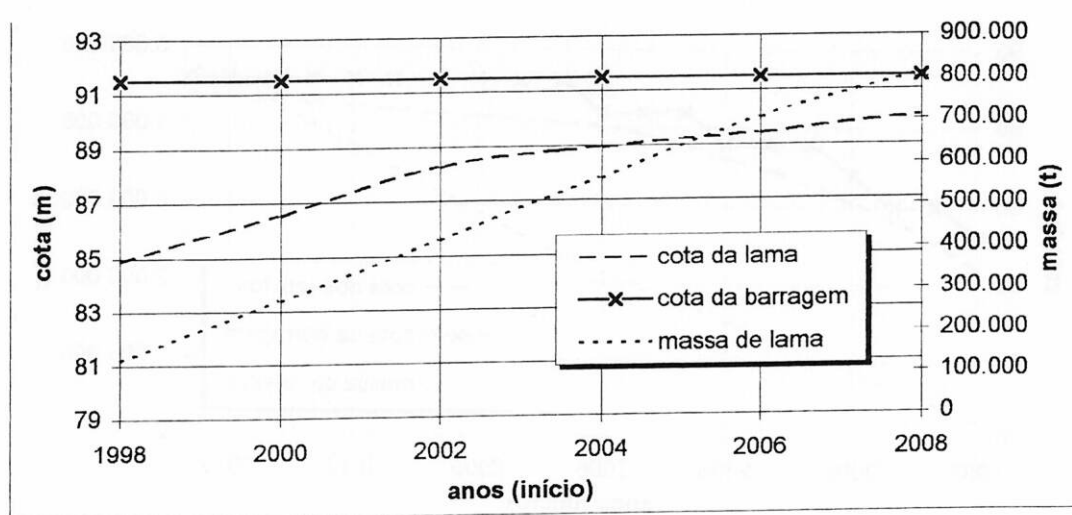


Figura 12 - Curvas de enchimento do reservatório da barragem B1

## 5.2. Reservatório da barragem B2

Em seguida foi realizada a simulação do enchimento do reservatório da barragem B2, alimentando-se em planilha específica a curva cota-volume do reservatório ( Figura 13 ), a produção anual de rejeitos (areia e lama) e as densidades ( $1,80 \text{ t/m}^3$  - areia e  $1,08 \text{ t/m}^3$  - lama).

Para esta simulação foram consideradas as seguintes premissas: produção de rejeitos ( $70.404 \text{ t/ano}$  - lama e  $213.420 \text{ t/ano}$  - areia), início de operação 1.996, afogamento dos reservatórios das barragens B3 e B4, alteamentos progressivos, lançamento de grossos durante toda a vida do reseqatório 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 14 / Tabela 8)

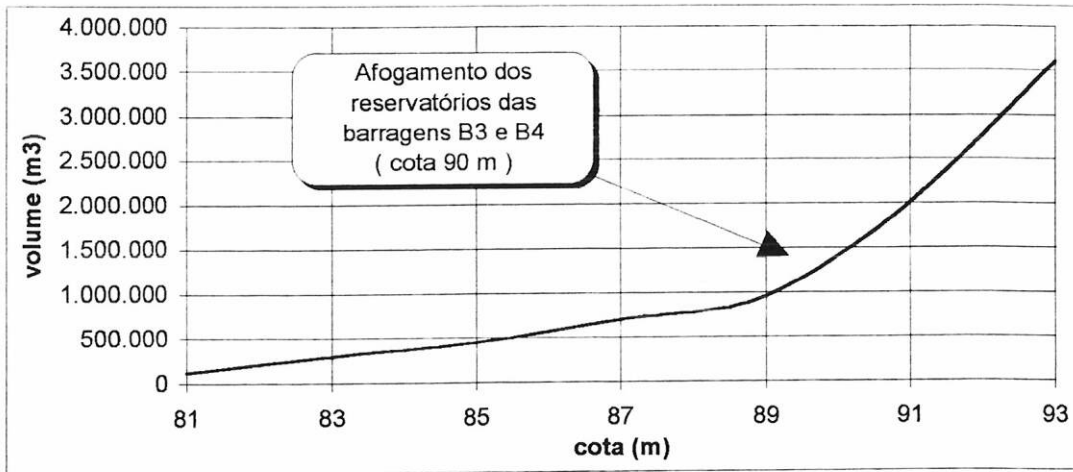


Figura 13 - Curva cota-volume do reservatório da barragem B2

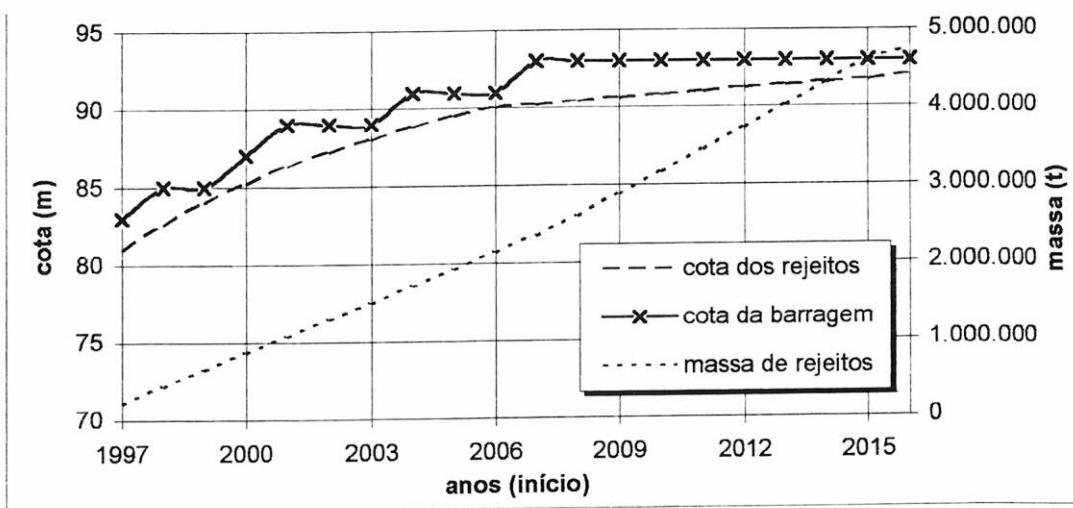


Figura 14 - Curvas de enchimento do reservatório da barragem B2

Tabela 8 - cronograma de alteamento da barragem B2 (Figura 14)

Etapa	Cota de crista (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 jusante, com espessura de 1m e compactadas mecanicamente. É inicialmente alteado o dique de argila da face de jusante e preenchido com areia bombeada até atingir 1m de espessura. Desvia-se o lançamento de misto para montante enquanto se compacta a camada de 1m, já lançada no talude de jusante, e se contrói o septo de impermeabilização, no nível superior, antes do lançamento de outra camada. A compactação deverá ser efetuada com trator de esteiras até atingir-se grau de compactidade relativa superior a 55%. O número de passadas devará ser determinado na prática para atender o requisito acima. É possível, inclusive, que não seja necessária a compactação, 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; compactadas 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 à menor distância, economizando energia e desgaste de equipamentos. A areia de jusante deve ser a mais drenante possível (poucos finos), e sua compactação até compactidade adequada é necessária para evitar riscos de liquefação. A areia de montante não deve ter qualquer manuseio por equipamento, apenas a tubulação deverá ter a sua posição 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. O solo da face de jusante visa basicamente proteção contra erosão, drenagem superficial e servir como substrato para hidrossemeadura.

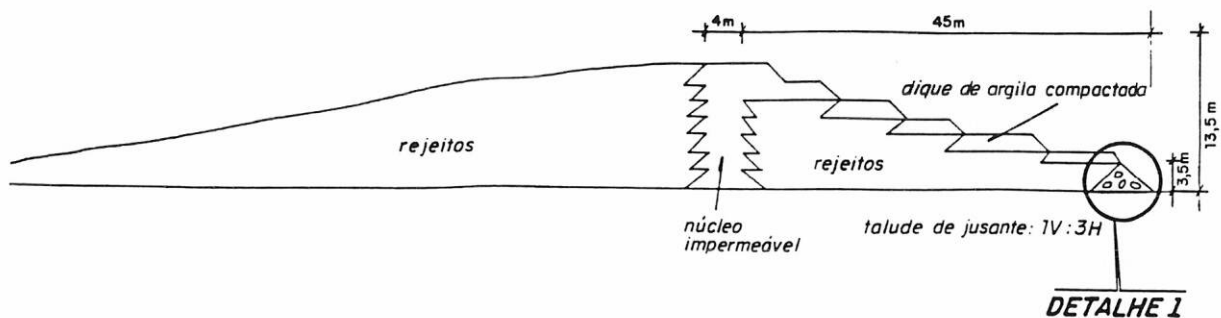
O enrocamento de jusante usará pedra detonada, podendo conter quantidades moderadas de finos, desde que não plásticos (argilas). Considerando a dificuldade na produção de brita, a transição seria então executada com manta geotextil permeável.

Na tabela 9 estão apresentados as quantidades de materiais necessários à construção da barragem e na Figura 15 pode-se observar os detalhes construtivos da barragem, etapas de alteamento e seção típica.

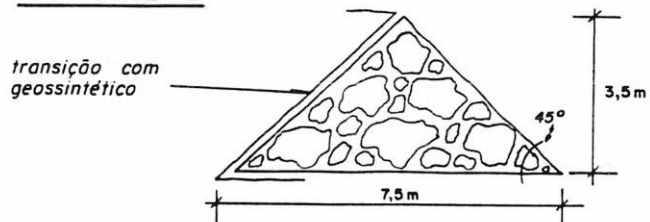
Tabela 9 - planilha de quantidades

Materiais	Quantidades
solo compactado	46.985 m <sup>3</sup>
areia a jusante	46.473 m <sup>3</sup>
areia a montante	133.160 m <sup>3</sup>
enrocamento	1.170 m <sup>3</sup>
manta geotextil	770 m <sup>2</sup>

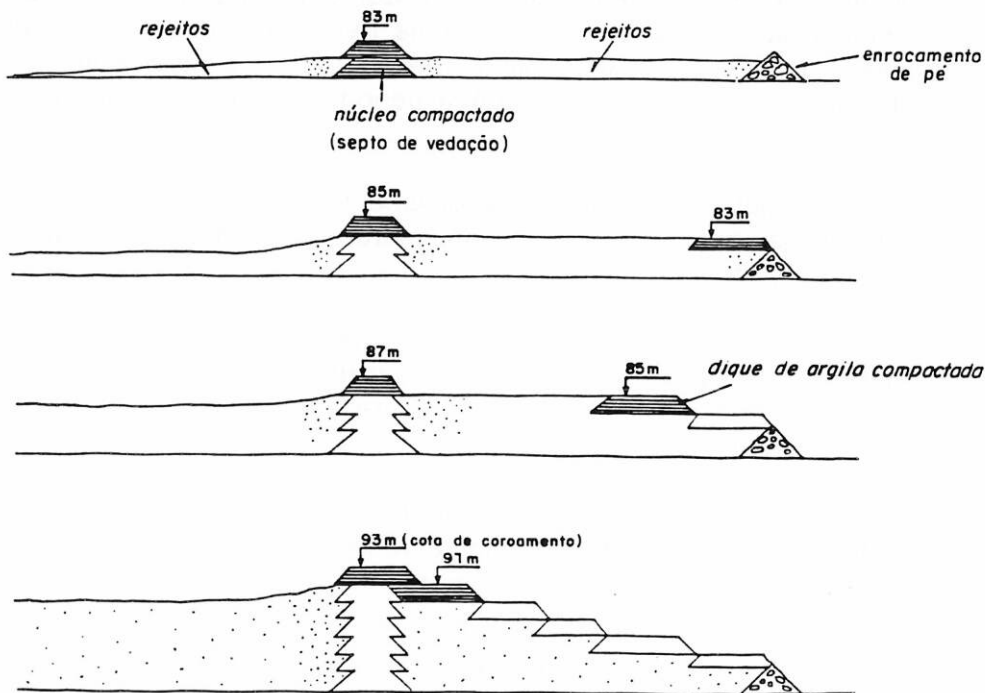
**SEÇÃO TÍPICA**



**DETALHE 1**



**ESQUEMA DA SEQUÊNCIA DE ALTEAMENTO (Método da Linha de Centro)**



Escala aprox. 1:700

FIGURA 15 - Seção típica - Detalhes construtivos e seqüência de alteamento típico

## 7. Dimensionamento do vertedouro da barragem 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% :

$$T = 1/(1-(1-P)^{1/N}) , \text{ onde:}$$

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 :

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

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 :

$$K = T^{(a + b/T^c)} , \text{ onde:}$$

K - fator de recorrência (2,01)

T - tempo de recorrência (390 anos)

a - fator dependente do tempo de duração da chuva ( para  $tc=0,17h$ ,  $a=0,117$ ) - Tabela 10

b - fator que depende do tempo de duração da chuva e do local (para  $tc=0,17h$  e Manaus,  $b=0$ ) - Tabela 11

c - fator constante (0,25)

Tabela 10 - fator a, função da duração da chuva

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, função da duração da chuva e do local (Manaus)

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

Determinação da precipitação para tempo de recorrência de 1 ano :

$$P = 0,1 t + 33 \log (1+20 t) , \text{ onde:}$$

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 :

$$I = K P / t , \text{ onde:}$$

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 ( $t = t_c = 0,17 \text{ h}$ )

Determinação da vazão requerida ao vertedouro :

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

Q - vazão (2,18 m<sup>3</sup>/s)

E - fator de absorção, dependente das características da superfície da bacia (neste caso  $E = 0,15$ ) - Tabela 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 de absorção E

Características locais	E
Intensamente asfaltado/cimentado	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; profundidade = 1,0 m; paredes 1:1. A tal canal corresponde a seguinte velocidade de água :

$$V = R_h^{2/3} I^{1/3} / n, \text{ onde:}$$

V - velocidade (0,8 m/s)

I - inclinação do canal (0,0001 m/m)

R<sub>h</sub> - raio hidráulico (0,55 m)

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

Tabela 13 - fator de rugosidade 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. A Figura 16 apresenta a posição aproximada do canal, à margem esquerda da barragem B2 .

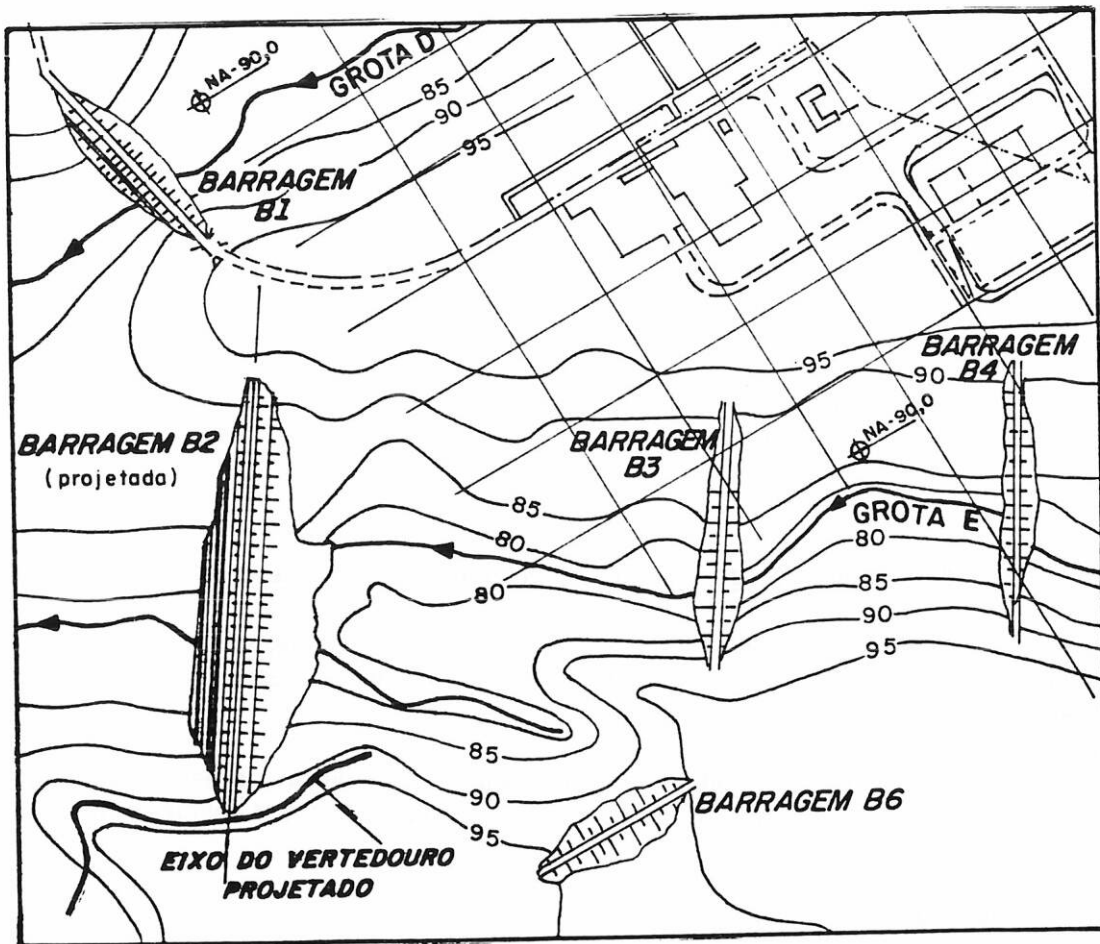


Figura 16 - Barragem B2 e canal extravazor

## 8. Considerações finais

A barragem B2 deverá ser construída no eixo apresentado na Figura 1, alteada pelo método da linha de centro conforme descrito no item 6 - "Processo construtivo da barragem B2", apresentado na Figura 15 e segundo o cronograma abaixo, obtido a partir da Figura 14 :

Etapa	Cota de crista (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 jusante (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 nas barragens

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, eventuais alterações da capacidade de produção, das características dos rejeitos ou do cronograma de produção, implicarão em impacto sobre a vida útil dos reservatórios e cronograma de alteamento da B2.

## 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)

\* documentos de propriedade da Mineração Taboca



BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN

BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/005 - Aluste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL

BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico - W<sub>i</sub>, segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA

BT/PMI/021 - Caracterização de Maços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FÁBIO AUGUSTO DA SILVA SALVADOR, HELMUT BORN

BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA

BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominuição Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES

BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA

BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas - LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO

BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE

BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e Consequências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE

BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA

BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR

BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALIES LEAL FILHO

BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Aquecimento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES

BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELTON AZEVEDO MASINI, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Piiritoso da Mina de Urânio de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ

BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN

BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO FUJIMURA

