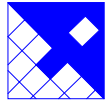




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais



**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE
ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA
O NORDESTE SETENTRIONAL**

PROJETO BÁSICO

**TRECHO II – EIXO NORTE
R9 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS E
SEDIMENTOLÓGICOS
TOMO II – ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS PARA
PREVISÃO DE ASSOREAMENTO**



**TRECHO II – EIXO NORTE
R9 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS
TOMO II – ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS PARA
PREVISÃO DE ASSOREAMENTO**

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Ministro de Estado da Integração Nacional: Fernando Luiz Gonçalves Bezerra

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Rômulo de Macedo Vieira

Coordenador Geral: João Urbano Cagnin

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor Interino: Volker W. J. H. Kirchhoff

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador Técnico: Antônio Carlos de Almeida Vidon

Coordenador Técnico Adjunto: Ricardo Antônio Abrahão

Brasília, abril de 2001

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional; Trecho II – Eixo Norte – R9 – Estudos Hidrológicos e Sedimentológicos – Tomo II – Estudos Sedimentológicos para Previsão de Assoreamento. – São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2001. 38 p

1. Transposição de Águas; Hidrologia

I. Trecho II – Eixo Norte – R9 – Estudos Hidrológicos e Sedimentológicos – Tomo II – Estudos Sedimentológicos para Previsão de Assoreamento

CDU 556.5

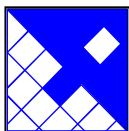
FUNCATE:

Av. Dr. João Guilhermino, 429, 11º Andar – Centro

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 325 1399 Fax: (0XX 12) 341 2829



FUNCATE

**Fundação de Ciência,
Aplicações e Tecnologia
Espaciais**

Projeto						Data	
Verificação						Data	
Aprovação						Data	
Aprovação						Data	
Código FUNCATE						Data	
EN.B/II.RF.HI.0003							
Rev.	Data	Folha	Descrição	Aprovação		FUNCATE	
						Data	Aprovação

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS
DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL
*PROJETO BÁSICO***

**TRECHO II - EIXO NORTE
R9 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS
TOMO II - ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS PARA
PREVISÃO DE ASSOREAMENTO**

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

Equipe

José Armando Varão Monteiro: Gerente

Antônio Carlos de Almeida Vidon: Coordenador Técnico

Ricardo Antônio Abrahão: Coordenador Técnico Adjunto

Akira Ussami: Chefe da Equipe de Geotecnia:

Geverson Luiz Machado – Engenheiro Civil
Gislaine Terezinha de Matos – Engenheira Civil
Newton Bitencourt Santos – Engenheiro Civil

Nobutugu Kaji: Chefe da Equipe de Geologia

Aloysio Accioly de Senna Filho – Geólogo
Fábio Canzian – Geólogo
José Frederico Büll – Geólogo
Wilson Roberto Mori – Geólogo
Fernando Bispo de Jesus – Técnico de Campo
José Antonio Santos Subrinho – Técnico de Campo

Anibal Young Eléspuru: Chefe da Equipe de Hidráulica e Hidrologia

Giovanni Magnus Dantas Amaro – Engenheiro Civil
Rafael Guedes Valença – Engenheiro Civil
Sérgio Bianconcini – Engenheiro Civil

José Carlos Degaspere: Chefe da Equipe de Estrutura

José Ricardo Junqueira do Val: Chefe da Equipe de Orçamento e Planejamento

Roberto Lira de Paula – Engenheiro Civil

Ricardo Carone: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

Sandra Schaaf Benfica: Chefe da Equipe de Produção

Aleksander Szulc – Projetista
Antonio Muniz Neto – Projetista
Carla Costa R. Pizzo Atvars – Projetista
Florencio Ortiz Martinez – Projetista
João Luiz Bosso – Projetista
Leandro Eboli – Projetista
Rubens Crepaldi – Projetista
Ricardo Sanches – Desenhista
Mônica de Lourdes Sampaio – Auxiliar Técnica

Infra Estrutura e Apoio

Ana Julia Cristofani Belli – Secretária
Maria Luiza Chiarello Miragaia – Secretária
Célia Regina Pandolphi Pereira – Assistente Adm. Especializada
Carlos Roberto Leite Marques – Assistente Administrativo
Juliana Cristina Ribeiro da Silva – Técnica de Informática
Jacqueline Oliveira de Souza – Auxiliar Administrativo
Marcelo Pereira Almeida – Auxiliar Administrativo
Priscila Pastore M. dos Santos – Auxiliar Administrativo
Juliano Augusto do Rosário – Mensageiro
Maria Aparecida de Souza – Servente

Consultores

Francisco Gladston Holanda
Luiz Antonio Villaça de Garcia
Luiz Ferreira Vaz
Nick Barton



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R9 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS, parte integrante do **Projeto Básico do Trecho II – Eixo Norte**, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pela FUNCATE através do contrato INPE/FUNCATE nº 01.06.094.0/99.

O Projeto de Transposição está sendo desenvolvido com base no Convênio nº 06/97-MPO/SEPPE – celebrado entre o MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL-MI e o MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA-MCT e seu INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE.

O **Projeto Básico do Trecho II – Eixo Norte** compõe-se dos seguintes relatórios:

- R1 Descrição do Projeto
- R2 Critérios de Projeto
- R3 Sistemas de Adução e Geração nos Reservatórios Jati e Atalho
- R4 Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas de Usos Difusos, Túneis e Estruturas de Controle
- R5 Barragens e Vertedouros
- R6 Bases Cartográficas
- R7 Sistema de Drenagem
- R8 Geologia e Geotecnia
- R9 Estudos Hidrológicos e Sedimentológicos
 - Tomo I – Estudos Hidrológicos
 - Tomo II – Estudos Sedimentológicos para Previsão de Assoreamento
- R10 Sistemas de Supervisão, Controle e Telecomunicações
- R11 Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional
- R12 Sistema Elétrico
- R13 Canteiros e Sistema Viário
- R14 Cronograma e Orçamentos
- R15 Dossiê de Licitação
- R16 Memoriais de Cálculo
- R17 Caderno de Desenhos



ÍNDICE	PG.
1 . OBJETO E OBJETIVO	1
2 . INTRODUÇÃO.....	1
3 . DADOS BÁSICOS.....	1
4 . METODOLOGIA.....	2
4.1 Disponibilidade de Dados Sedimentométricos.....	2
4.2 Dados de Levantamentos Topobatimétricos de Reservatórios Existentes	3
5 . PREVISÃO DE ASSOREAMENTO NOS RESERVATÓRIOS	4
5.1 Síntese dos Dados Básicos.....	4
5.2 Avaliação da Densidade do Sedimento Depositado.....	4
5.3 Eficiência de Retenção de Sedimentos	5
5.4 Previsão dos Volumes de Assoreamento dos Reservatórios.....	6
5.5 Distribuição do Sedimento no Reservatório	6
5.5.1 Classificação do Tipo de Reservatório	6
5.5.2 Previsão da Cota de Assoreamento	7
6 . CONCLUSÕES.....	8
7 . RECOMENDAÇÕES	9
TABELAS.....	10
FIGURAS.....	24



1 . OBJETO E OBJETIVO

O objeto deste relatório é o Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional e o seu objetivo é o estudo sedimentológico dos reservatórios do Trecho II.

2 . INTRODUÇÃO

Durante a fase de viabilidade da alternativa selecionada, foram desenvolvidos os “Estudos Sedimentológicos para Previsão de Assoreamento nos Reservatórios”, parte integrante do relatório R18 – Dimensionamento Hidrológico das Obras Principais da Alternativa Selecionada. Estes estudos foram desenvolvidos para todos os trechos que compõem o sistema de transposição do rio São Francisco (TRSF).

Nos estudos desenvolvidos no projeto básico do Trecho II, foram definidas importantes alterações, dentre os quais destaca-se a inclusão dos reservatórios dos Porcos, Cana Brava, Cipó, do Boi e de Morros, além da alteração nas características físicas e operacionais do reservatório Cuncas. Desta forma, desenvolve-se os estudos sedimentológicos para previsão do assoreamento dos reservatórios do Trecho II, incluindo:

- previsão do assoreamento nos reservatórios formados pelas barragens do Trecho II;
- determinação da altura de sedimentos nos reservatórios visando a vida útil do projeto;
- análise dos resultados.

3 . DADOS BÁSICOS

Os estudos desenvolvidos no âmbito do Projeto Básico estabeleceram a localização prevista para as barragens e os reservatórios do Trecho II, doravante denominados simplesmente de barragens. Além das novas barragens e reservatórios previstos para serem implantados com o projeto de TRSF, merece destaque a integração do açude Atalho no sistema hidráulico. O açude Atalho, implantado pelo DNOCS, teve sua operação iniciada em 1991.

Para cada barragem, a partir das bases cartográficas, foi delimitada a bacia hidrográfica e determinada sua área de drenagem. A Tabela 1 apresenta, para cada barragem, a área de drenagem das bacias hidrográficas.

As bacias hidrográficas delimitadas pelas barragens foram locadas no Mapa 3.2 “Isoietas Médias Anuais”, que consta do relatório de “Estudo Hidrológico Regional” elaborado no âmbito dos Estudos de Inserção Regional. Assim, com base nas isoietas médias anuais e na localização das bacias hidrográficas, determinou-se o respectivo total precipitado médio anual.

O coeficiente de escoamento de cada bacia hidrográfica foi obtido a partir do relatório “Estudo Hidrológico Regional”, Tabela 5.26, adotando-se o coeficiente de um açude próximo e com área de drenagem similar. A partir da área de drenagem, do coeficiente de escoamento e da precipitação média anual obteve-se, para cada bacia hidrográfica, a vazão média natural de longo termo afluente a cada reservatório. Os valores dos citados parâmetros são apresentados na Tabela 1.

A utilização das vazões médias naturais justifica-se pelas seguintes razões:

- critério conservador, uma vez que vazões baixas resultam em maior período de retenção e maior sedimentação, aumentando o volume de sedimentos depositados;
- que durante os primeiros anos, as vazões bombeadas serão de pequena monta, além da intermitência.

Não obstante, como será visto ao longo deste relatório, foi estudada a variante de somar a vazão



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

bombeada média de 37,7 m³/s para o Cenário 2.025 (R18 – Dimensionamento Hidrológico das Obras Principais da Alternativa Selecionada) à vazão natural proveniente das bacias hidrográficas.

Para cada bacia hidrográfica, foi desenvolvida uma análise da composição da camada superficial dos solos, avaliando-se os percentuais de argila, silte e areia. A composição do solo da bacia permite uma boa avaliação dos sedimentos que serão carregados para o reservatório através do escoamento superficial. A Tabela 1 apresenta, para cada barragem, a composição dos respectivos solos das bacias hidrográficas.

Para cada reservatório resultante da implantação das barragens foram determinadas, a partir das bases cartográficas disponíveis, as curvas cota x área x volume que são apresentadas nas Figuras 1 a 7.

O projeto básico de engenharia do Trecho II definiu os NA operacionais ao longo de todo o sistema. Com base nestes valores, foram definidos os NA operacionais dos reservatórios das barragens que compõem o sistema, apresentados na Tabela 2, juntamente com os respectivos volumes. O NA médio, parâmetro utilizado nos estudos sedimentológicos, foi obtido pela média aritmética dos NA mínimo e máximo normal. A partir das curvas cota x área x volume, foram obtidos os respectivos volumes operacionais.

O projeto de TRSF deverá alterar significativamente os NAs do açude Atalho. Os NAs do açude Atalho deverão permanecer, freqüentemente, em cotas elevadas, muito próximas ao NA máximo normal correspondente à cota 425,00 m. Da mesma forma, os NAs dos reservatórios localizados imediatamente a jusante – dos Porcos, Cana Brava, do Cipó e do Boi – deverão permanecer em cotas elevadas. Uma vez que a retenção dos sedimentos no reservatório são crescentes com o volume, julgou-se conveniente adotar o critério conservador de considerar os NA médios iguais aos NA máximos operacionais. Ressalta-se que, até a presente data, os NA mínimos operacionais dos novos reservatórios - dos Porcos, Cana Brava, do Cipó, do Boi, Cuncas e de Morros – não foram estabelecidos.

A Tabela 2 apresenta, também, os limites inferiores de NA estabelecidos como uma referência para a comparação com as estimativas das cotas a serem atingidas pelo acúmulo de sedimento junto às barragens. No caso particular do açude Atalho, a cota 404,00 m corresponde ao NA mínimo operacional nas condições atuais. O volume morto dos reservatórios foi obtido da curva cota x área x volume de cada reservatório, utilizando a cota correspondente ao mencionado limite inferior de NA ou NA mínimo minimorum.

4 . METODOLOGIA

4.1 Disponibilidade de Dados Sedimentométricos

Para a definição da metodologia foi feita, inicialmente, uma pesquisa da disponibilidade de dados sedimentométricos na região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro, com base no Inventário das Estações Fluviométricas.

Os postos fluviométricos com medição de descarga sólida (postos sedimentométricos) localizados na região de interesse são apresentados na Tabela 3. Esta tabela apresenta, para cada posto, o código da ANEEL, o nome do posto, os tipos de medições efetuadas, o rio, a unidade da federação, a localização, a área de drenagem e o início da operação.

Foram obtidos junto à ANEEL os dados fluviométricos e sedimentométricos destes postos. A análise destes dados permitiu verificar que:

- existem inconsistências em alguns dados;
- o número de medições de descarga sólida é pequeno, com exceção do posto Ponte da



Batalha no rio Paraíba, com área de drenagem de 19.244 km²;

- as áreas de drenagem dos postos são muito superiores às das bacias hidrográficas de interesse do projeto de TRSF.

Desta forma, concluiu-se que os dados sedimentométricos disponíveis são insuficientes para a avaliação do assoreamento dos reservatórios das barragens do projeto de TRSF.

4.2 Dados de Levantamentos Topobatimétricos de Reservatórios Existentes

Uma alternativa metodológica para a determinação das taxas de produção de sedimentos em bacias hidrográficas é a utilização dos dados de levantamentos topobatimétricos de reservatórios existentes. Em pesquisa realizada nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco verificou-se que os reservatórios dos açudes Itãns e Epitácio Pessoa apresentam levantamentos topobatimétricos feitos após alguns anos de operação.

O açude de Itãns, cuja operação foi iniciada em 1935, localiza-se na bacia do rio Piranhas-Açu, com uma área de drenagem de 1.187,7 km². Os estudos efetuados pelo Consórcio CNEC-SOGREAH em 1971 resultaram em uma taxa de produção de sedimentos de 330.555 m³/ano ou 278,3 m³/km²/ano.

Em 1998, o Laboratório de Metrologia do Estado da Paraíba (LMSR), vinculado à Secretaria de Recursos Hídricos, efetuou um levantamento topobatimétrico no açude Epitácio Pessoa, tendo obtido um volume de assoreamento de 85.258.448 m³. Uma vez que este açude teve sua operação iniciada em 1.956, resultou em uma taxa de produção de sedimentos de 1.982.755 m³/ano ou 158,8 m³/km²/ano.

O USDA desenvolveu um estudo de deposição de sedimentos em reservatórios americanos, efetuando levantamentos topobatimétricos sistemáticos, antes e após alguns anos do início de operação dos aproveitamentos¹. Selecionando-se os reservatórios com dados de levantamentos topobatimétricos localizados na região de clima semi-árido, correspondente ao sudoeste dos Estados Unidos, o US Department of Interior² preparou o gráfico apresentado na Figura 8, que correlaciona a taxa anual de produção de sedimentos com a área de drenagem da bacia hidrográfica.

A Figura 8 apresenta os pontos correspondentes aos 28 reservatórios utilizados, bem como a curva média ajustada por regressão e as respectivas envoltórias. Os dados citados anteriormente, referentes aos açudes Itãns e Epitácio Pessoa, foram plotados na Figura 8. Verifica-se que estes pontos situam-se entre as envoltórias, próximos à curva média ajustada.

Desta forma, considerando-se a impossibilidade de utilizar dados de medições de descarga sólida, optou-se por desenvolver os estudos com base nos dados e nas pesquisas desenvolvidas para os reservatórios americanos localizados na região semi-árida dos Estados Unidos.

¹ "Sediment Deposition in U.S. Reservoirs, Summary Data Report Through 1975", Miscellaneous Publication No. 1362, USDA, Agriculture Research Service, February, 1978

² "Design of Small Dams", US Department of Interior, Bureau of Reclamation, 1987



5 . PREVISÃO DE ASSOREAMENTO NOS RESERVATÓRIOS

5.1 Síntese dos Dados Básicos

Conforme exposto no item anterior, as taxas anuais de produção de sedimentos nas bacias hidrográficas das barragens do sistema de TRSF foram avaliadas utilizando-se a curva da Figura 8. A Tabela 4 apresenta uma síntese dos dados básicos das barragens e dos reservatórios, incluindo a taxa média anual de sedimentos por unidade de área de drenagem da bacia hidrográfica.

5.2 Avaliação da Densidade do Sedimento Depositado

A densidade dos sedimentos depositados depende, basicamente, dos seguintes fatores:

- a operação do reservatório;
- a textura e o tamanho das partículas dos sedimentos depositados;
- as taxas de compactação e consolidação dos sedimentos depositados.

Lara e Pemberton³ analisaram 1.300 amostras de sedimentos depositados em reservatórios, concluindo que a massa específica W_1 pode ser avaliada por:

$$W_1 = W_{\text{areia}} \cdot p_{\text{areia}} + W_{\text{silte}} \cdot p_{\text{silte}} + W_{\text{argila}} \cdot p_{\text{argila}} \quad (1)$$

onde:

p_{areia} , p_{silte} e p_{argila} são as percentagens de areia, silte e argila, respectivamente, presentes no sedimento afluente;

W_{areia} , W_{silte} e W_{argila} são as massas específicas de areia, silte e argila, respectivamente, dos sedimentos afluentes.

No entanto, verificou-se, através de análise sistemática das amostras, que os volumes depositados em cada ano nos reservatórios apresentam diferentes tempos de compactação. Assim, Miller⁴ desenvolveu uma equação que, integrando os resultados obtidos, permite determinar a densidade média dos sedimentos depositados no reservatório após T anos de operação (W_T), onde:

$$W_T = W_1 + 0,4343 K [T \cdot \ln T / (T - 1) - 1] \quad (2)$$

onde:

K é uma constante que depende do tipo de operação do reservatório e da composição dos sedimentos, principalmente quanto ao tamanho das partículas.

Neste estudo considerou-se que os reservatórios terão uma operação com deplecionamentos moderados. Em função deste tipo de operação, os trabalhos de Lara e Pemberton³ e Miller⁴ permitem determinar as massas específicas para a areia, a argila e o silte, bem como a constante K.

³ "Initial Unit Weight of Deposited Sediments", Lara, J. M. and E.L. Pemberton, Proceedings of Federal Interagency Sedimentation Conference, 1963, Miscellaneous Publication n. 970, USDA, Agriculture Research Service, June 1965

⁴ "Determination of the Unit Weight of Sediment for Use in Sediment Volume Computations", Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1953



A Tabela 5 reproduz, para cada barragem, a área de drenagem e a composição da camada superficial do solo da respectiva bacia hidrográfica. Com base nesta composição e nas características operativas dos reservatórios, foi determinado através da equação (1) a massa específica inicial dos sedimentos depositados (W_1). Com base nos mesmos dados foram determinados para os diversos reservatórios os valores da constante K, utilizando-se o trabalho de Miller⁴.

Através da equação (2) foi determinada, para cada reservatório de interesse, a massa específica média em 25, 50 e 100 anos de operação. Estes resultados são apresentados na Tabela 5. As três últimas colunas da tabela apresentam o aumento da massa específica média dos sedimentos depositados, resultante do processo de compactação e consolidação.

Verifica-se que, em 100 anos de operação, a massa específica média aumentaria entre 7,0 e 19,5 % em relação ao valor inicial. De forma geral, os aumentos de massa específica são altos devido, principalmente, à predominância de argila na maioria das bacias, com exceção das bacias dos açudes Atalho e Cuncas, onde predomina a areia na composição dos sedimentos.

5.3 Eficiência de Retenção de Sedimentos

A eficiência de retenção de sedimentos no reservatório é definida pela relação entre a quantidade de sedimento depositado e o total de sedimento afluente ao reservatório. Esta eficiência depende, principalmente, da velocidade de caimento da partícula e da vazão através do reservatório.

Churchill⁵ desenvolveu uma relação entre a porcentagem de sedimento afluente que passa através do reservatório e um parâmetro adimensional, utilizando os dados do Tennessee Valley Authority. O parâmetro adimensional é obtido pelo produto entre o índice de sedimentação, definido como a relação entre o período de detenção e a velocidade média de escoamento através do reservatório, e a aceleração da gravidade. A Figura 9 apresenta a curva que representa a relação desenvolvida por Churchill⁵.

A Tabela 6 apresenta, para cada reservatório, os valores obtidos para as variáveis que permitem calcular a porcentagem de sedimentos retidos no reservatório, incluindo o período de retenção, a velocidade média de escoamento, o índice de sedimentação e o parâmetro adimensional K. Verifica-se que, em condições naturais, os reservatórios retêm, praticamente, a totalidade dos sedimentos afluentes devido, principalmente, à pequena magnitude das vazões afluentes em relação ao volume, o que resulta em um alto período de retenção.

Foi considerada, também, a variante que representa a operação após a implantação do projeto de TRSF, para qual foi somada a vazão bombeada média de 37,7 m³/s para o Cenário 2.025 (R18 – Dimensionamento Hidrológico das Obras Principais da alternativa Selecionada) à vazão natural proveniente das bacias hidrográficas. A Tabela 7 apresenta, para cada reservatório, a porcentagem de sedimentos retidos, além das demais variáveis. Verifica-se que, nas condições de plena operação do projeto de TRSF, os reservatórios reduzem a retenção dos sedimentos, transferindo para jusante parte dos sedimentos afluentes. Desta forma, em relação à condição natural, haveria uma pequena redução dos volumes retidos no açude Atalho e, conseqüentemente, um aumento nos volumes de sedimentos dos açudes dos Porcos, Cana Brava e do Cipó.

⁵ Churchill, M. A , Discussion of “Analysis and Use of Reservoir Sedimentation Data”, by L.C. Gottschalk, Proceedings of Federal Interagency Sedimentation Conference, Denver, CO, January, 1948



5.4 Previsão dos Volumes de Assoreamento dos Reservatórios

A avaliação dos volumes de assoreamento dos reservatórios é feita utilizando-se os resultados obtidos nos itens anteriores, incluindo a taxa anual média de afluência de sedimentos, a massa específica média do sedimento depositado e a eficiência de retenção. As Tabelas 6 e 7 apresentam a taxa anual média de sedimentos depositados, obtida pelo produto da taxa anual média de produção de sedimentos pela área de drenagem da bacia hidrográfica. As três últimas colunas das Tabelas 6 e 7 apresentam a previsão dos volumes totais de sedimentos retidos nos reservatórios em 25, 50 e 100 anos de operação, obtidos pelo produto da taxa anual média de afluência de sedimentos pelo número de anos de operação, considerando a compactação, a porcentagem de retenção e o aumento da massa específica, apresentado na Tabela 5.

A comparação da previsão dos volumes totais de sedimentos retidos com a capacidade volumétrica, apresentada na Tabela 4, permite verificar que, a princípio, o assoreamento não deverá prejudicar o desempenho operacional dos reservatórios e do sistema. Apenas no reservatório do açude Atalho, o volume de sedimento depositado após 100 anos atinge 35,56 hm³, correspondente a mais de 2 vezes o volume morto previsto no projeto original (15,01 hm³).

5.5 Distribuição do Sedimento no Reservatório

5.5.1 Classificação do Tipo de Reservatório

Os sedimentos que depositam em um reservatório não se limitam ao espaço alocado para o volume morto ou à região inferior do reservatório. As partículas mais pesadas, que geralmente são transportadas por arrasto, são depositadas na entrada do reservatório, enquanto que as menores avançam mais para o interior, podendo ou não se depositar.

Para avaliar a distribuição dos sedimentos no reservatório, Borland e Miller⁶ propuseram uma metodologia denominada “método empírico de redução de área”, utilizando dados obtidos de levantamentos topobatimétricos de 30 reservatórios. Este método, aprimorado por Lara⁷, considera que a distribuição de sedimentos no reservatório depende, principalmente, dos seguintes fatores:

- forma de operação do reservatório;
- textura e tamanho das partículas de sedimentos;
- forma do reservatório;
- volume de sedimento depositado no reservatório.

Os estudos indicaram que a forma do reservatório é o fator principal para a distribuição espacial dos sedimentos. A forma do reservatório é avaliada através do parâmetro m , obtido da recíproca da inclinação da relação da capacidade (volume) em função da profundidade, plotados em escala bi-logarítmica. Em função do parâmetro m , a forma do reservatório pode ser classificada através do seguinte critério:

⁶ “Distribution of Sediment in Large Reservoirs”, Borland, W. M. and C.R. Miller, Transactions, ASCE, vol. 125, 1960

⁷ “Revision of the Procedure to Compute Sediment Distribution in Large Reservoir”, Lara, J. M., Bureau of Reclamation, May 1962



Tipo de reservatório	Parâmetro m	Classificação
I	3,5 a 4,5	De zonas planas, lago
II	2,5 a 3,5	De zonas de inundação a colinas
III	1,5 a 2,5	Montanhoso
IV	1.0 a 1,5	De gargantas profundas

O aprimoramento sugerido por Lara⁷ prevê que o tipo de reservatório pode ser “corrigido” em função da operação prevista e do tamanho predominante das partículas.

Os reservatórios do trecho II são, em grande parte, do tipo II (planícies de inundação e colinas) e do tipo III (montanhoso). Esta classificação permite determinar a altura do sedimento no pé da barragem e avaliar a distribuição de sedimentos ao longo do reservatório.

5.5.2 Previsão da Cota de Assoreamento

A distribuição dos depósitos no reservatório pode ser avaliada através das curvas desenvolvidas pelo US Bureau of Reclamation² que relacionam, em porcentagem, a profundidade com o volume de sedimentos. Foram desenvolvidas quatro curvas, correspondentes aos tipos de reservatórios apresentados no item anterior, considerando ainda a operação e o tamanho predominante das partículas. O resultado principal para avaliação da adequabilidade dos reservatórios propostos quanto ao aspecto sedimentológico resume-se na determinação da altura do sedimento junto à barragem.

Assim, as curvas de distribuição dos sedimentos depositados deram origem às denominadas curvas de projeto, que permitem determinar a altura do sedimento no pé da barragem. A Figura 10 apresenta as curvas de projeto para os reservatórios tipo I, II e III, correspondentes às classificações apresentadas na Tabela 7. Estas curvas têm na abcissa a profundidade relativa p , obtida em relação à profundidade do reservatório no NA máximo normal, e na ordenada a função adimensional F .

A função adimensional F é calculada através da seguinte equação:

$$F = (S_T - V_i) / (H \cdot A_i)$$

onde:

S é a previsão do volume total de sedimentos depositados para um período T de operação;

V_i é a capacidade do reservatório para uma profundidade h_i ;

H é a profundidade original do reservatório;

A_i é a área do reservatório na profundidade h_i .

Esta metodologia foi aplicada, exclusivamente, ao reservatório Atalho, uma vez que foi o único que apresentou alguma potencialidade de assoreamento que poderia prejudicar seu desempenho no sistema. A metodologia consiste em plotar no mesmo gráfico a curva de projeto de acordo com a classificação do reservatório e a curva obtida a partir da relação cota x área x



volume e da previsão do volume total de sedimentos depositados (S), apresentados nas Tabelas 6 e 7 para 25, 50 e 100 anos de operação. A profundidade relativa correspondente à altura do sedimento junto à barragem é obtida da interseção das curvas.

As Figuras 11 e 12 apresentam, para o reservatório Atalho nas duas condições operativas consideradas, as curvas obtidas para os períodos de operação de 25, 50 e 100 anos juntamente com a curva de projeto correspondente ao tipo do reservatório. A Tabela 8 apresenta a profundidade relativa do reservatório Atalho obtida da interseção das curvas, a altura do sedimento junto à barragem e a respectiva cota de assoreamento para períodos de operação de 25, 50 e 100 anos.

Verifica-se que, dependendo das condições operacionais, a cota de assoreamento junto à barragem do açude Atalho poderá atingir 403,92 m, coincidente com o NA mínimo operacional nas condições atuais de 404,0 m.

6 . CONCLUSÕES

A Tabela 9 apresenta, para cada barragem e o respectivo reservatório, o NA máximo operacional e o limite inferior mínimo operacional e as cotas de assoreamento para 25, 50 e 100 anos de operação. A análise comparativa dos NA operacionais e da previsão das cotas de assoreamento permite inferir, com base nos dados disponíveis e na metodologia utilizada, que não haverá comprometimento do desempenho operacional dos reservatórios dentro de uma vida útil de até 100 anos. Ressalta-se que o açude Atalho está em operação desde 1991.

As vazões médias de longo termo nas barragens, conforme explicado no item 2 deste relatório, foram avaliadas de forma indireta, utilizando coeficientes de escoamento de bacias próximas, com área de drenagem similar. Logicamente, este procedimento reveste-se de uma significativa imprecisão. No entanto, verificou-se que uma imprecisão de $\pm 50\%$ nos valores destas vazões não afetaria os resultados e as conclusões apresentadas devido à grande capacidade de retenção de sedimentos.

O estudo apresentado teve como base a relação apresentada na Figura 8, obtida pelo US Department of Interior⁸ a partir dos reservatórios com dados de levantamentos topobatimétricos localizados na região de clima semi-árido, que correlaciona a taxa média anual de produção de sedimentos com a área de drenagem da bacia hidrográfica. Em que pese a abrangência desta relação e o fato de terem sido utilizados dados de reservatórios localizados em clima semi-árido, a aplicabilidade para a região de interesse do projeto de TRSF será sempre discutível. Além disso, verifica-se na Figura 8, em escala bi-logarítmica, que existe uma dispersão significativa da taxa média anual de produção de sedimentos.

Desta forma, desenvolveu-se uma análise de sensibilidade adotando-se a envoltória superior da relação apresentada na Figura 8. A Tabela 10 apresenta os valores das taxas médias anuais de produção de sedimentos, considerando a envoltória superior. As Tabelas 11 e 12 apresentam os volumes de sedimentos retidos nos reservatórios para este critério, permitindo concluir que:

- os reservatórios das barragens dos Porcos, Cana Brava, do Cipó, do Boi, Cuncas e de Morros não deverão apresentar problemas de assoreamento no horizonte de 100 anos;
- no reservatório da barragem Atalho, o assoreamento poderá impedir o desempenho adequado de suas funções, caso as taxas médias anuais de sedimentos estejam acima dos valores médios apresentados na relação da Figura 8.

⁸ “Design of Small Dams”, US Department of Interior, Bureau of Reclamation, 1987



As Figuras 13 e 14 apresentam para o reservatório Atalho, nas duas condições operativas consideradas, as curvas obtidas a partir da relação cota x área x volume e da previsão do volume total de sedimentos depositados (S), para os períodos de operação de 25, 50 e 100 anos juntamente com a curva de projeto correspondente ao tipo do reservatório. A partir destas curvas, determinou-se a profundidade relativa do reservatório Atalho obtida da interseção das curvas, a altura do sedimento junto à barragem e a respectiva cota de assoreamento para períodos de operação de 25, 50 e 100 anos, apresentados na Tabela 13. Verifica-se que, para altas taxas anuais de produção de sedimentos, haveria a possibilidade de, em 50 anos, a cota de assoreamento superar o NA mínimo normal de 404,00 m e em 100 anos atingir a cota 418,5 m, ficando apenas a 6,5 m da cota da soleira do vertedouro ou do NA máximo normal.

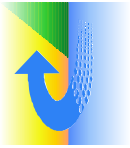
7 . RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que no Projeto Básico Ambiental sejam previstas medidas preventivas na bacia hidrográfica do riacho dos Porcos que minimizem a erosão e garantam que as taxas de produção de sedimentos tenham magnitudes abaixo de $170 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ou $380.000 \text{ m}^3/\text{ano}$. Ressalta-se que, via de regra, a implantação de projetos de agricultura irrigada traz mudança significativas no uso e ocupação do solo e na cobertura vegetal das bacias hidrográficas que resultam em erosões e aumento significativo nas taxas de afluência de sedimentos para os cursos d'água.

Além disso, é altamente recomendável programar um levantamento topobatimétrico do reservatório de Atalho para verificar o assoreamento neste período de operação de 1991 a 2001, proporcionando uma maior segurança quanto às conclusões deste estudo.



TABELAS



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Tabela 1 – Dados Básicos das Bacias Hidrográficas de Interesse do Trecho II

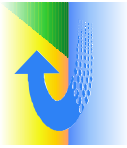
	Dados Hidrológicos							Textura Predominante na Camada Superficial dos Solos das Bacias Hidrográficas		
	Área de Drenagem (km ²)	Precipitação Média (mm)	Deflúvio Médio (mm)	Coef. de Escoamento (%)	Vazão Média Natural m ³ /s	Vazão Específica l/s/km ²	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	
Barragem										
Atalho (existente)	2.211	902,8	43,9	4,86	3,08	1,39	26,9	31,2	41,9	
dos Porcos	2.479	902,8	43,9	4,86	3,45	1,39	30,0	60,1	9,9	
Cana Brava	2.494	902,8	43,9	4,86	3,47	1,39	29,9	64,4	5,7	
do Cipó	2.498	902,8	43,9	4,86	3,48	1,39	27,9	42,1	30,0	
do Boi	2.589	902,8	43,9	4,86	3,60	1,39	30,3	60,1	9,6	
de Morros	4,04	757,8	82,3	10,86	0,01	2,61	30,0	65,0	5,0	
Cuncas	96,95	757,8	82,3	10,86	0,24	2,61	33,5	30,2	36,3	
de Morros	4,04	757,8	82,3	10,86	0,01	2,61	30,0	65,0	5,0	



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Tabela 2– Dados Básicos das Bacias Hidrográficas de Interesse do Trecho II

	Níveis Operacionais de Projeto (m)				Volume Operacionais de Projeto (10 ⁶ m ³)						
	Máximo Maximorum	Máximo Normal	Médio	Mínimo	Volume Máximo Maximorum	Volume total	Volume médio	Volume mínimo	Volume Útil	Volume Morto (abaixo do fundo do canal)	
Barragem											
Atalho (existente)	429,80	425,00	425,00	420,00	134,79	108,25	108,25	108,25	0,00	15,01	
dos Porcos	404,46	401,46	401,46	398,46	121,44	98,34	98,34	98,34	0,00	49,89	
Cana Brava	401,50	400,55	400,55	397,50	10,60	9,69	9,69	9,69	0,00	5,38	
do Cipó	401,50	400,52	400,52	397,50	7,59	6,95	6,95	6,95	0,00	3,87	
do Boi	401,50	400,41	400,41	397,50	28,34	26,17	26,17	26,17	0,00	17,26	
de Morros	390,30	389,55	389,55	386,86	0,00	4,60	4,60	4,60	0,00	1,16	
Cuncas	390,04	389,04	389,04	386,46	0,00	212,57	212,57	212,57	0,00	39,76	



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Tabela 3– Disponibilidade de Dados Sedimentométricos

Código	Nome da Estação	Tipo ¹	Rio	UF	Latitude	Longitude	Área (km ²)	Início	Número de Medições de Descarga Sólida
37030000	Pau dos Ferros	FDSQ	rio Apodi	RN	06 07 00	38 12 00	2.050	fev/63	9
37080000	Pedra de Abelhas	FRDSQ	rio Apodi	RN	05 35 00	37 41 00	6.481	nov/10	18
38860000	Bodocongo	FRDSQ	rio Paraíba	PB	07 32 00	35 59 00	13.772	dez/69	38
38895000	Ponte da Batalha	FRDSQ	rio Paraíba	PB	07 08 00	35 03 00	19.244	dez/69	44
39130000	Toritama ²	FRDSQ	rio Capibaribe	PE	08 01 00	36 04 00	2.750	jan/54	17
39340000	Caruaru ²	FRDSQ	rio Ipojuca	PE	08 17 00	35 58 00	2.100	mar/69	12
39540000	Capivara ²	FDSQ	rio Una	PE	08 30 00	35 55 00	2.607	out/77	24
48860000	Floresta	FRDSQT	rio Pajeu	PE	08 37 00	38 34 00	13.240	abr/72	9

(1) Tipo de Estação

F - estação com escala para observação do nível d'água

R - estação com registrador (limnógrafo)

D - estação são efetuadas medições de descarga líquida

S - estação com medição de descarga sólida

T - estação telemétrica

Q - estação de qualidade das águas

(2) postos localizados fora da área de interesse direto do projeto de TRSF



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Tabela 4– Dados Gerais dos Reservatórios e Bacias Hidrográficas do Trecho II

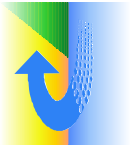
Barragem	Área de Drenagem (km ²)	Taxa de Produção de Sedimentos m ³ /km ² por ano	Vazão Específica (l/s/km ²)	Vazão Média m ³ /s	Níveis Operacionais de Projeto (m)				Volume Operacionais de Projeto (10 ⁶ m ³)					
					Máximo Maximorum	Máximo Normal	Médio	Mínimo	Volume Máximo Maximorum	Volume total	Volume médio	Volume mínimo	Volume Útil	Volume Morto (abaixo do fundo do canal)
Atalho (existente)	2.210,57	173	1,39	3,08	429,80	425,00	425,00	420,00	134,79	108,25	108,25	108,25	0,00	15,01
dos Porcos	268,87	287	1,39	3,45	404,46	401,46	401,46	398,46	121,44	98,34	98,34	98,34	0,00	49,89
Cana Brava	15,03	573	1,39	3,47	401,50	400,55	400,55	397,50	10,60	9,69	9,69	9,69	0,00	5,38
do Cipó	3,91	792	1,39	3,48	401,50	400,52	400,52	397,50	7,59	6,95	6,95	6,95	0,00	3,87
do Boi	90,51	372	1,39	3,60	401,50	400,41	400,41	397,50	28,34	26,17	26,17	26,17	0,00	17,26
de Morros	4,04	785	2,61	0,01	390,04	389,55	389,55	386,46		4,60	4,60	4,60	0,00	1,16
Cuncas	96,95	366	2,61	0,24	390,30	389,04	389,04	386,86		212,57	212,57	212,57	0,00	39,76

XXXXX valores arbitrados



Tabela 5– Avaliação da Massa Específica dos Sedimentos Depositados

Barragem	Área de Drenagem (km ²)	Textura Predominante na Camada Superficial dos Solos das Bacias Hidrográficas			Massa Específica Inicial (kg/m ³)	constante ponderada K	Massa Específica Média após N anos de operação (kg/m ³)			Aumento da Massa Específica após N anos de operação (%)		
		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)			25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Atalho (existente)	2.210,57	27	31	42	1.131	50	1.182	1.196	1.210	4,5	5,7	7,0
dos Porcos	2.479,44	30	60	10	833	90	924	949	975	11,0	14,0	17,1
Cana Brava	2.494,47	30	64	6	790	96	888	915	942	12,4	15,7	19,2
do Cijó	2.498,38	28	42	30	1.019	65	1.086	1.104	1.122	6,5	8,3	10,1
do Boi	2.588,89	30	60	10	831	90	923	948	974	11,1	14,1	17,2
de Morros	4,04	30	65	5	784	96	883	909	937	12,6	16,0	19,5
Cuncas	96,95	33	30	36	1.114	50	1.166	1.180	1.194	4,6	5,9	7,2



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Tabela 6– Avaliação dos Volumes de Sedimentos Retidos nos Reservatórios do Trecho II – Vazão Afluente Natural Média ou de Baixas Vazões Bombeadas

Barragem	Período de Retenção (s x 10 ⁶)	Comprimento do Reservatório para o N.A. médio (m)	Área da Seção Média do Reservatório m ²	Velocidade Média no Reservatório (m/s x 10 ⁻⁶)	Índice de Sedimentação (s ² /m)	K da relação de Churchill	Sedimentos Retidos (%)	Sedimentos Passantes (%)	Volume de Sedimentos Retidos 10 ⁶ m ³ (Considerando a Compactação)			
									Annual	após 25 anos	após 50 anos	após 100 anos
Atalho (existente)	35	18.400	5.883	523,06	6,73E+10	6,60E+11	100	0	0,3823	9,13	18,02	35,56
dos Porcos	28	8.400	11.707	294,81	9,66E+10	9,48E+11	100	0	0,0771	1,71	3,31	6,39
Cana Brava	3	2.100	4.614	752,67	3,71E+09	3,64E+10	99,6	0,4	0,0086	0,19	0,36	0,69
do Cipó	2	1.350	5.146	675,81	2,96E+09	2,90E+10	99,1	0,9	0,0031	0,07	0,14	0,28
do Boi	7	3.800	6.886	523,38	1,39E+10	1,36E+11	100	0	0,0337	0,75	1,45	2,79
de Morros	436	1.000	4.599	2,29	1,90E+14	1,87E+15	100	0	0,0032	0,07	0,13	0,26
Cuncas	893	8.000	26.571	8,96	9,96E+13	9,78E+14	100	0	0,0355	0,85	1,67	3,30

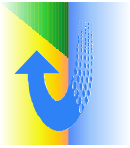
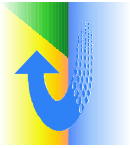


Tabela 7 – Avaliação dos Volumes Retidos nos Reservatórios do Trecho II – Vazão Afluente Natural Média adicionada à Vazão Média Bombeada no Cenário 2.025

Barragem	Período de Retenção (s x 10 ⁶)	Comprimento do Reservatório para o N.A. médio (m)	Área da Seção Média do Reservatório m ²	Velocidade Média no Reservatório (m/s x 10 ⁻⁶)	Índice de Sedimentação (s ² /m)	K da relação de Churchill	Sedimentos Retidos (%)	Sedimentos Passantes (%)	Volume de Sedimentos Retidos 10 ⁶ m ³ (Considerando a Compactação)			
									Anual	após 25 anos	após 50 anos	após 100 anos
Atalho (existente)	2,7	18.400	5.883	6931,19	3,83E+08	3,76E+09	92,5	7,5	0,3538	8,45	16,68	32,91
dos Porcos	2,4	8.400	11.707	3514,98	6,80E+08	6,67E+09	94,6	5,4	0,0994	2,21	4,27	8,24
Cana Brava	0,2	2.100	4.614	8924,33	2,64E+07	2,59E+08	78,8	21,2	0,0121	0,27	0,51	0,98
do Cipó	0,2	1.350	5.146	8001,50	2,11E+07	2,07E+08	77,2	22,8	0,0050	0,12	0,23	0,45
do Boi	0,6	3.800	6.886	5998,46	1,06E+08	1,04E+09	86,8	13,2	0,0304	0,68	1,31	2,52
de Morros	0,1	1.000	4.599	8199,73	1,49E+07	1,46E+08	74,7	25,3	0,0024	0,05	0,10	0,19
Cuncas	5,6	8.000	26.571	1427,81	3,92E+09	3,85E+10	99,8	0,2	0,0354	0,84	1,67	3,29



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Tabela 8– Avaliação da Cota de Sedimentação no Reservatório Atalho no Pé da Barragem

Cenários	Tipo de Curva	Cota do Fundo (m)	NAMáx normal (m)	Profundidade Relativa			Profundidade (m)			Cota dos Sedimentos (m)		
				25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Atual ou baixo bombeamento	II	394,0	31,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	394,00	394,00	394,00
	III	394,0	31,0	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	9,92	394,00	394,00	403,92
com TRSF, com vazão média bombeada de 37,7 m ³ /s	II	394,0	31,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	394,00	394,00	394,00
	III	394,0	31,0	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	6,20	394,00	394,00	400,20

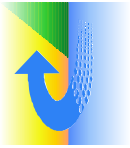


Tabela 9– Avaliação da Cota de Assoreamento dos Reservatórios do Trecho II

Barragem	NA operacionais (m)		Cota dos Sedimentos (m)		
	Máximo Normal	Limite Mínimo	25 anos*	50 anos*	100 anos*
Atalho (existente)	425,00	404,00	394,00	394,00	403,92
dos Porcos	401,46	395,00	abaixo da cota 385,26 m		
Cana Brava	400,55	395,00	abaixo da cota 385,42 m		
do Cipó	400,52	395,00	abaixo da cota 383,57 m		
do Boi	400,41	395,00	abaixo da cota 380,62 m		
de Morros	390,30	384,00	abaixo da cota 380,18 m		
Cuncas	390,04	383,97	abaixo da cota 355,53 m		

*número de anos após o início da operação

(1) o açude Atalho entrou em operação em 1991

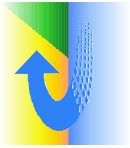


Tabela 10– Dados Gerais dos Reservatórios e Bacias Hidrográficas do Trecho I
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA ANUAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Barragem	Área de Drenagem (km ²)	Taxa de Produção de Sedimentos m ³ /km ² por ano	Vazão Específica (l/s/km ²)	Vazão Média Natural m ³ /s	Vazão Média com TRSF m ³ /s	Níveis Operacionais de Projeto (m)				Volume Operacionais de Projeto (10 ⁶ m ³)					
						Máximo Maximorum	Máximo Normal	Médio	Mínimo	Volume Máximo Maximorum	Volume total	Volume médio	Volume mínimo	Volume Útil	Volume Morto (abaixo do fundo do canal)
Atalho	2.210,57	394	1,39	3,08	40,78	429,80	425,00	425,00	420,00	134,79	108,25	108,25	108,25	0,00	15,01
dos Porcos	268,87	653	1,39	3,45	41,15	404,46	401,46	401,46	398,46	121,44	98,34	98,34	98,34	0,00	49,89
Cana Brava	15,03	1305	1,39	3,47	41,17	401,50	400,55	400,55	397,50	10,60	9,69	9,69	9,69	0,00	5,38
do Cijó	3,91	1802	1,39	3,48	41,18	401,50	400,52	400,52	397,50	7,59	6,95	6,95	6,95	0,00	3,87
do Boi	90,51	848	1,39	3,60	41,30	401,50	400,41	400,41	397,50	28,34	26,17	26,17	26,17	0,00	17,26
de Morros	4,04	1788	2,61	0,01	37,71	390,04	389,55	389,55	386,46		4,60	4,60	4,60	0,00	1,16
Cuncas	96,95	834	2,61	0,24	37,94	390,30	389,04	389,04	386,86		212,57	212,57	212,57	0,00	39,76

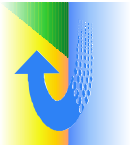
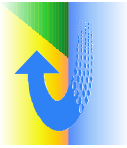


Tabela 11– Avaliação dos Volumes de Sedimentos Retidos nos Reservatórios do Trecho II – Vazão Afluente Natural Médio ou de Baixas Vazões Bombeadas

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA ANUAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Barragem	Período de Retenção (s x 10 ⁶)	Comprimento do Reservatório para o N.A. médio (m)	Área da Seção Média do Reservatório m ²	Velocidade Média no Reservatório (m/s x 10 ⁶)	Índice de Sedimentação (s ² /m)	K da relação de Churchill	Sedimentos Retidos (%)	Sedimentos Passantes (%)	Volume de Sedimentos Retidos 10 ⁶ m ³ (Considerando a Compactação)			
									Anual	após 25 anos	após 50 anos	após 100 anos
Atalho	35	18.400	5.883	523,06	6,73E+10	6,60E+11	100	0	0,8705	20,78	41,03	80,96
dos Porcos	28	8.400	11.707	294,81	9,66E+10	9,48E+11	100	0	0,1755	3,90	7,55	14,55
Cana Brava	3	2.100	4.614	752,67	3,71E+09	3,64E+10	99,6	0,4	0,0195	0,43	0,82	1,58
do Cipó	2	1.350	5.146	675,81	2,96E+09	2,90E+10	99,1	0,9	0,0070	0,16	0,32	0,63
do Boi	7	3.800	6.886	523,38	1,39E+10	1,36E+11	100	0	0,0767	1,71	3,30	6,36
de Morros	436	1.000	4.599	2,29	1,90E+14	1,87E+15	100	0	0,0072	0,16	0,30	0,58
Cuncas	893	8.000	26.571	8,96	9,96E+13	9,78E+14	100	0	0,0809	1,93	3,80	7,50

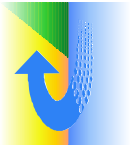


Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Tabela 12– Avaliação dos Volumes Retidos nos Reservatórios do Trecho II – Vazão Afluente Natural Médio adicionada à Vazão Média Bombeada no Cenário 2.025

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA ANUAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Barragem	Período de Retenção (s x 10 ⁶)	Comprimento do Reservatório para o N.A. médio (m)	Área da Seção Média do Reservatório m ²	Velocidade Média no Reservatório (m/s x 10 ⁶)	Índice de Sedimentação (s ² /m)	K da relação de Churchill	Sedimentos Retidos (%)	Sedimentos Passantes (%)	Volume de Sedimentos Retidos 10 ⁶ m ³ (Considerando a Compactação)			
									Anual	após 25 anos	após 50 anos	após 100 anos
Atalho	2,7	18.400	5.883	6931,19	3,83E+08	3,76E+09	92,5	7,5	0,8055	19,23	37,97	74,92
dos Porcos	2,4	8.400	11.707	3514,98	6,80E+08	6,67E+09	94,6	5,4	0,2262	5,03	9,73	18,75
Cana Brava	0,2	2.100	4.614	8924,33	2,64E+07	2,59E+08	78,8	21,2	0,0275	0,60	1,16	2,23
do Cipó	0,2	1.350	5.146	8001,50	2,11E+07	2,07E+08	77,2	22,8	0,0113	0,26	0,52	1,02
do Boi	0,6	3.800	6.886	5998,46	1,06E+08	1,04E+09	86,8	13,2	0,0692	1,54	2,97	5,73
de Morros	0,1	1.000	4.599	8199,73	1,49E+07	1,46E+08	74,7	25,3	0,0054	0,12	0,23	0,43
Cunças	5,6	8.000	26.571	1427,81	3,92E+09	3,85E+10	99,8	0,2	0,0807	1,92	3,80	7,49



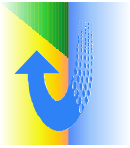
Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

**Tabela 13 – Avaliação da Cota de Sedimentação no Reservatório Atalho no Pé da Barragem
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA ANUAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS**

Cenários	Tipo de Curva	Cota do Fundo (m)	Profundidade no NAMáx normal (m)	Profundidade Relativa			Profundidade (m)			Cota dos Sedimentos (m)		
				25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Atual ou baixo bombeamento	II	394,0	31,0	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	20,77	394,00	394,00	414,77
	III	394,0	31,0	0,00	0,40	0,79	0,00	12,40	24,49	394,00	406,40	418,49
com TRSF, com vazão média bombeada de 37,7 m ³ /s	II	394,0	31,0	0,00	0,00	0,65	0,00	0,00	20,15	394,00	394,00	414,15
	III	394,0	31,0	0,00	0,36	0,72	0,00	11,16	22,32	394,00	405,16	416,32

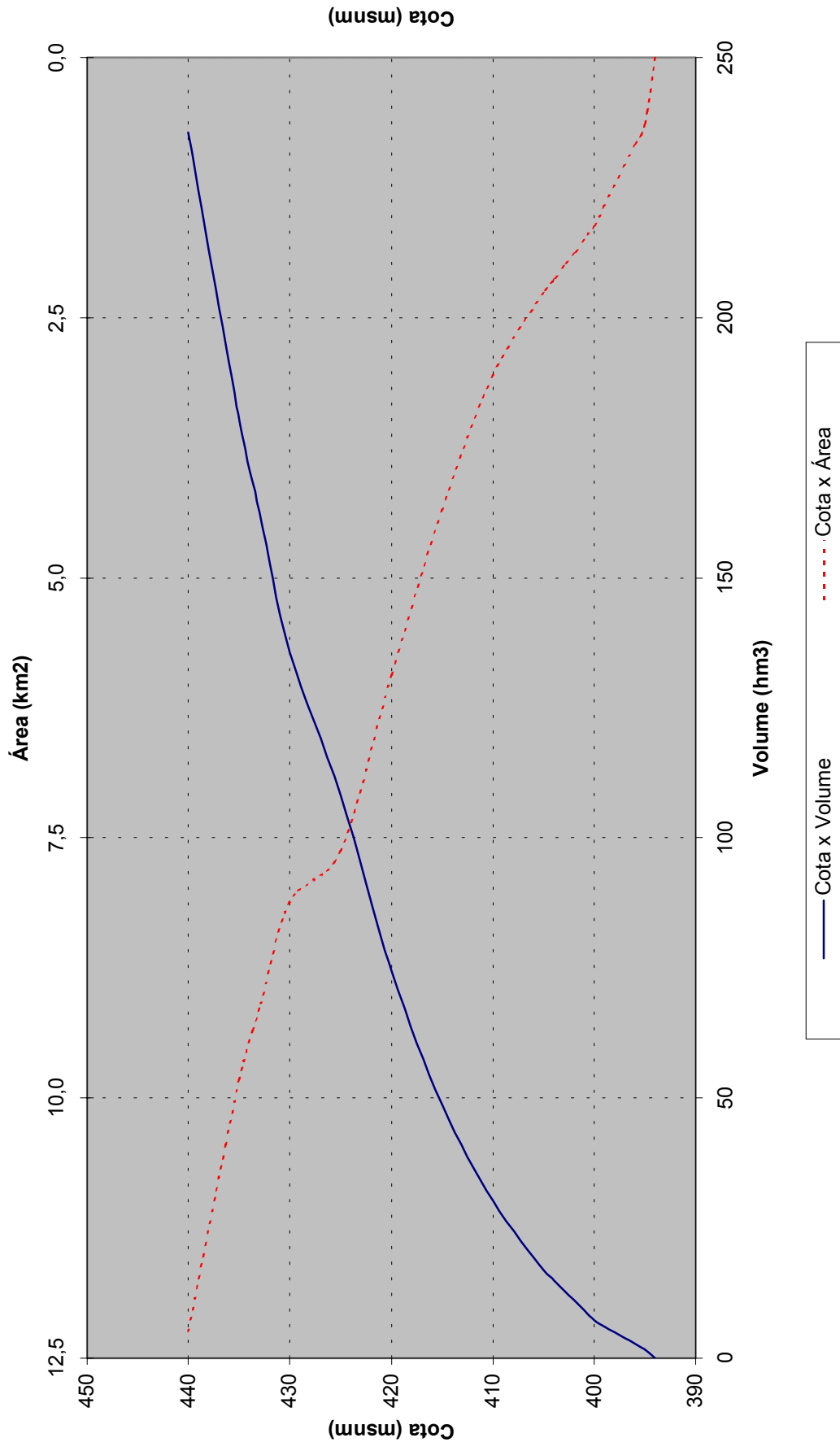


FIGURAS



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Figura 1 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório Atalho - No início da Operação



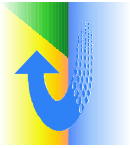
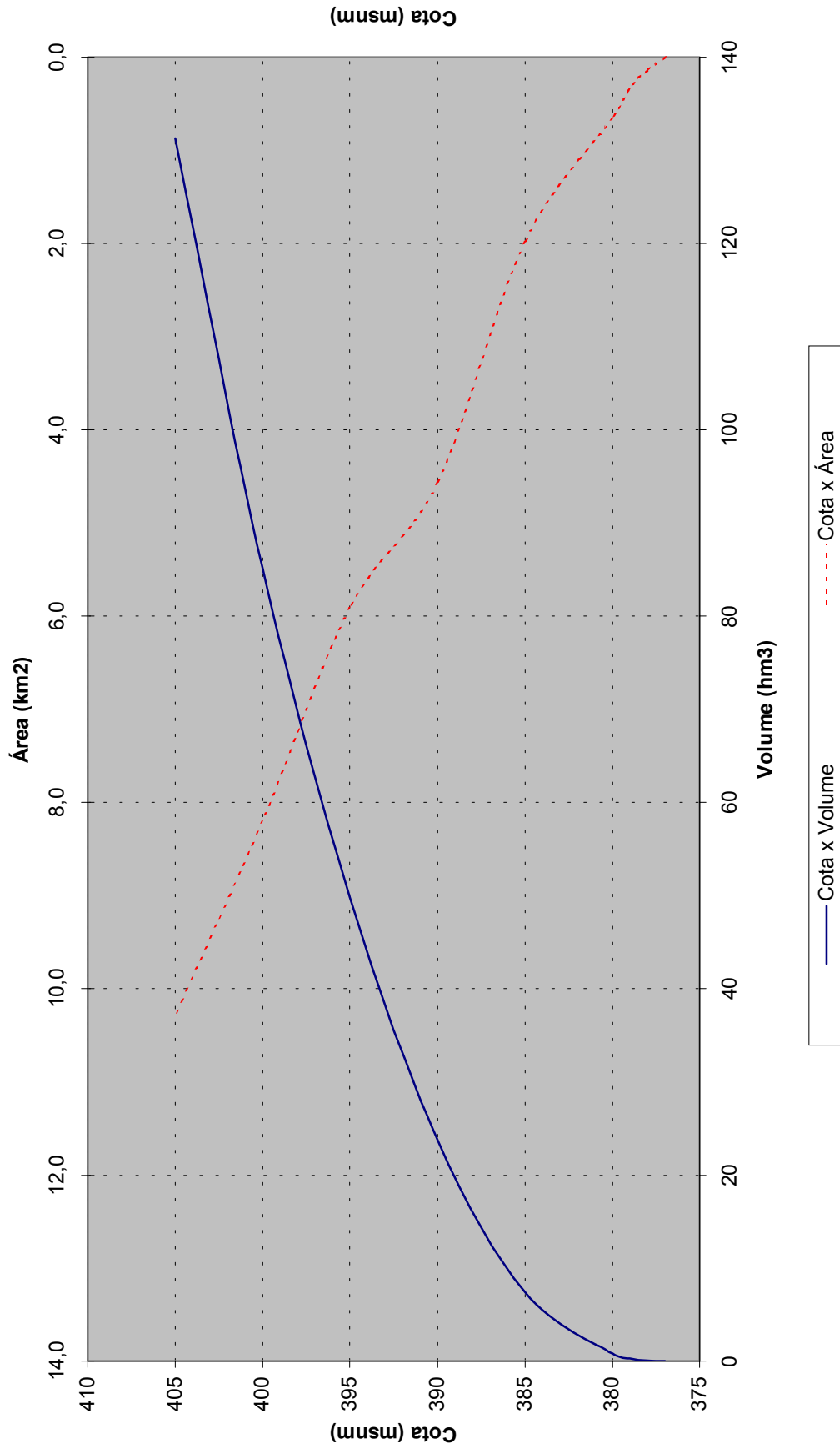


Figura 2 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório dos Porcos



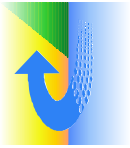


Figura 3 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório de Cana Brava

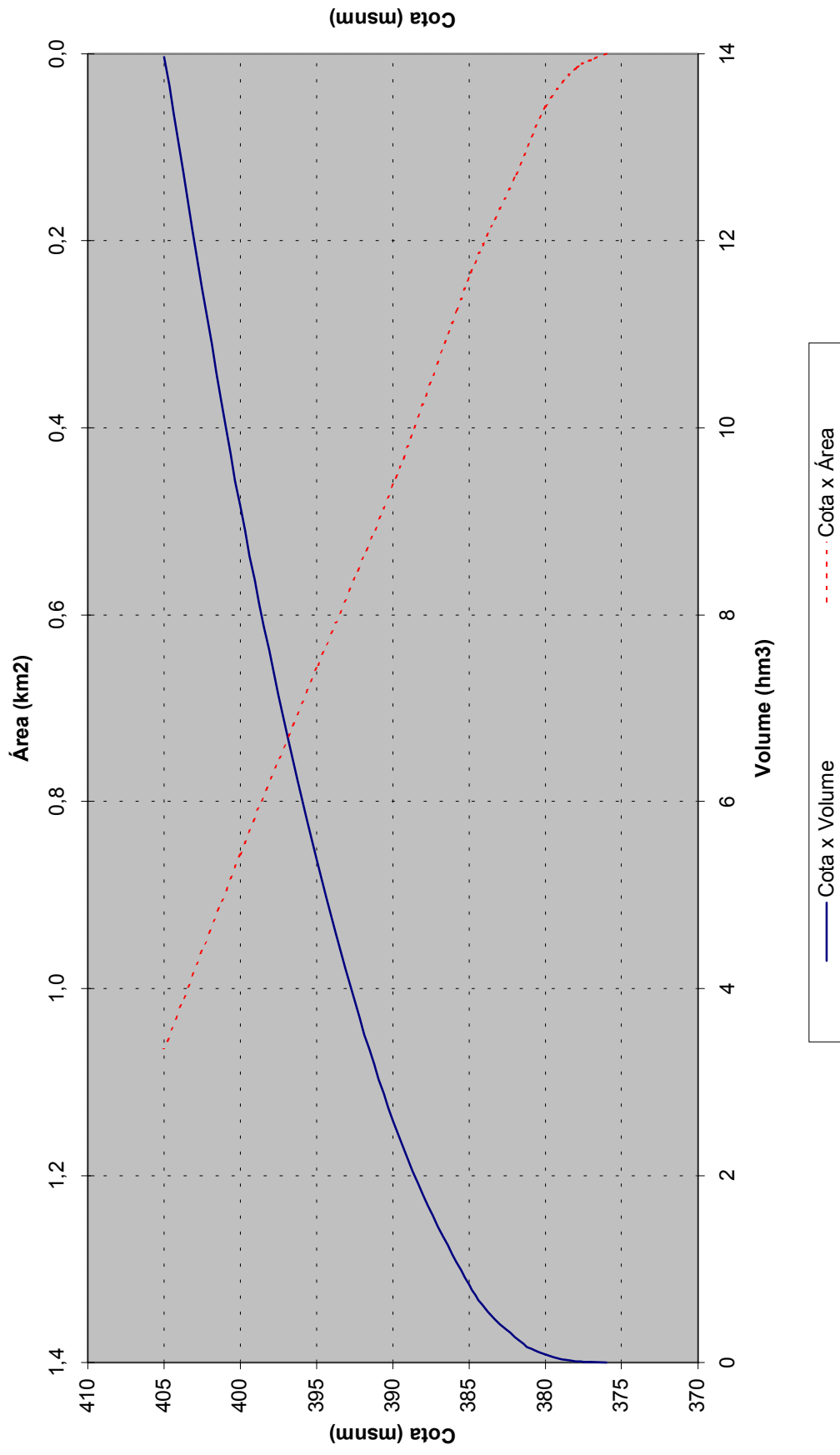
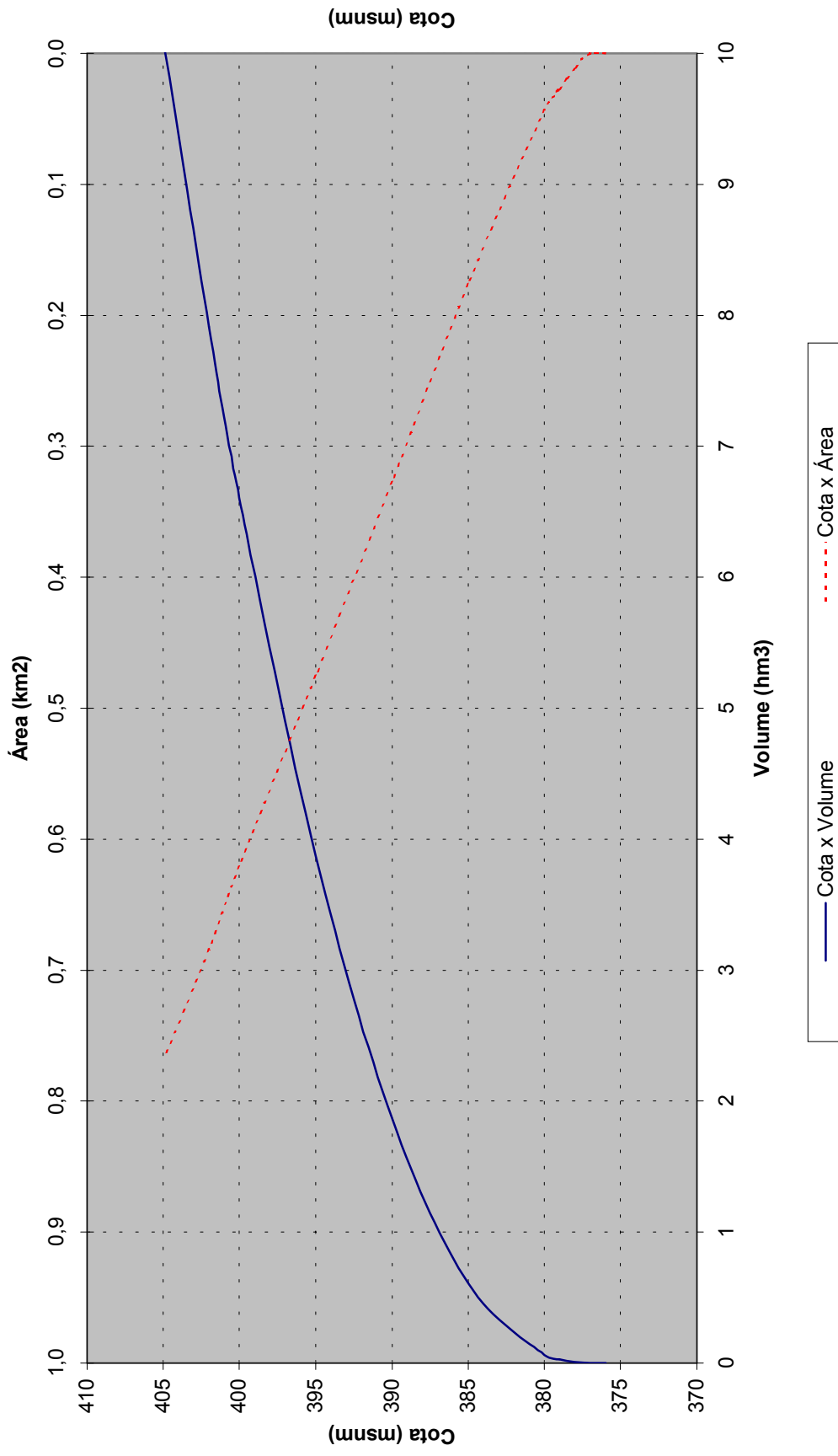




Figura 4 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório do Cipó



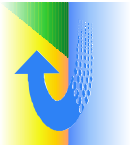
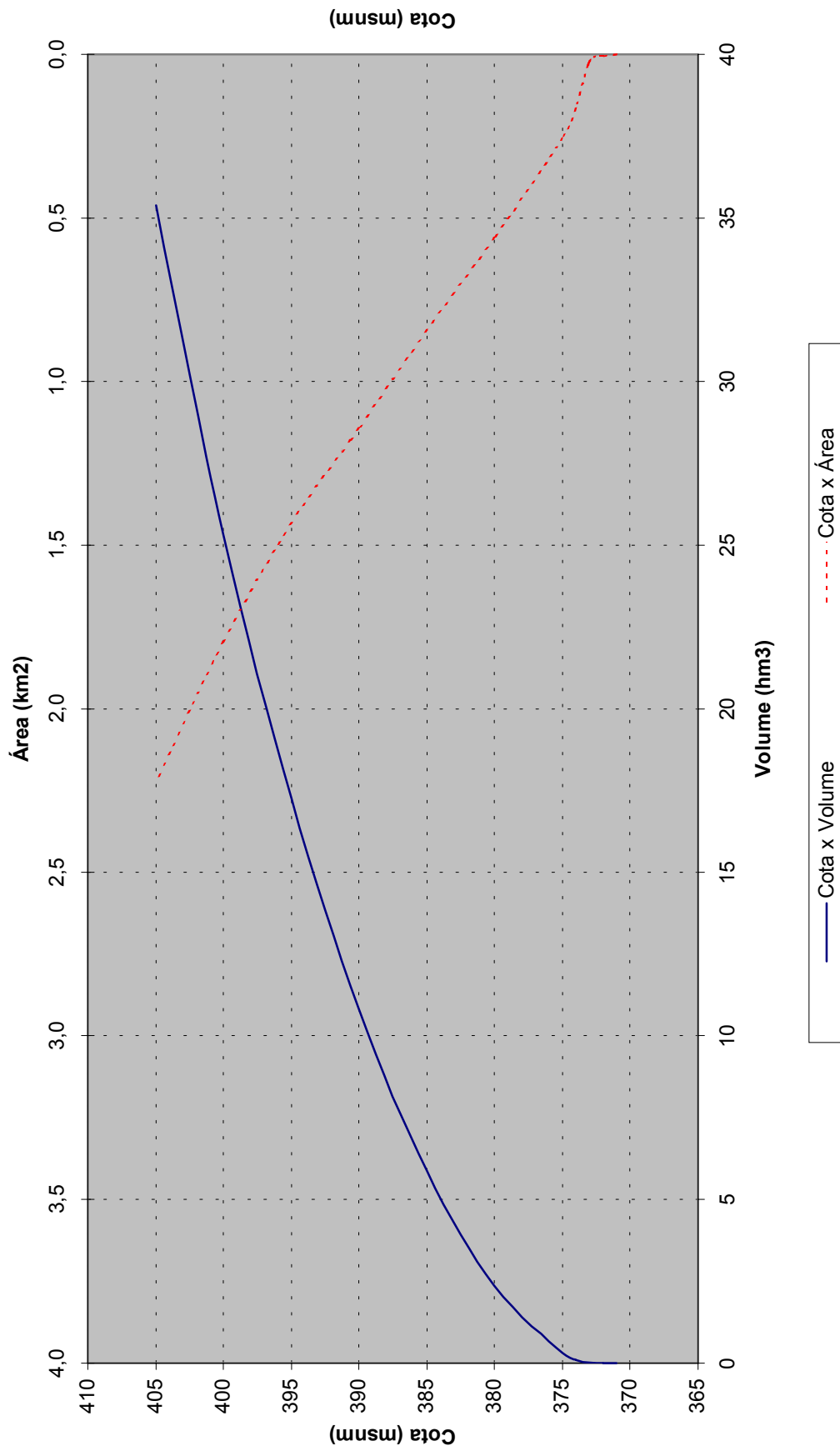


Figura 5 - Curva Cota x Volume do Reservatório do Boi



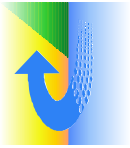


Figura 6 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório Cunucas

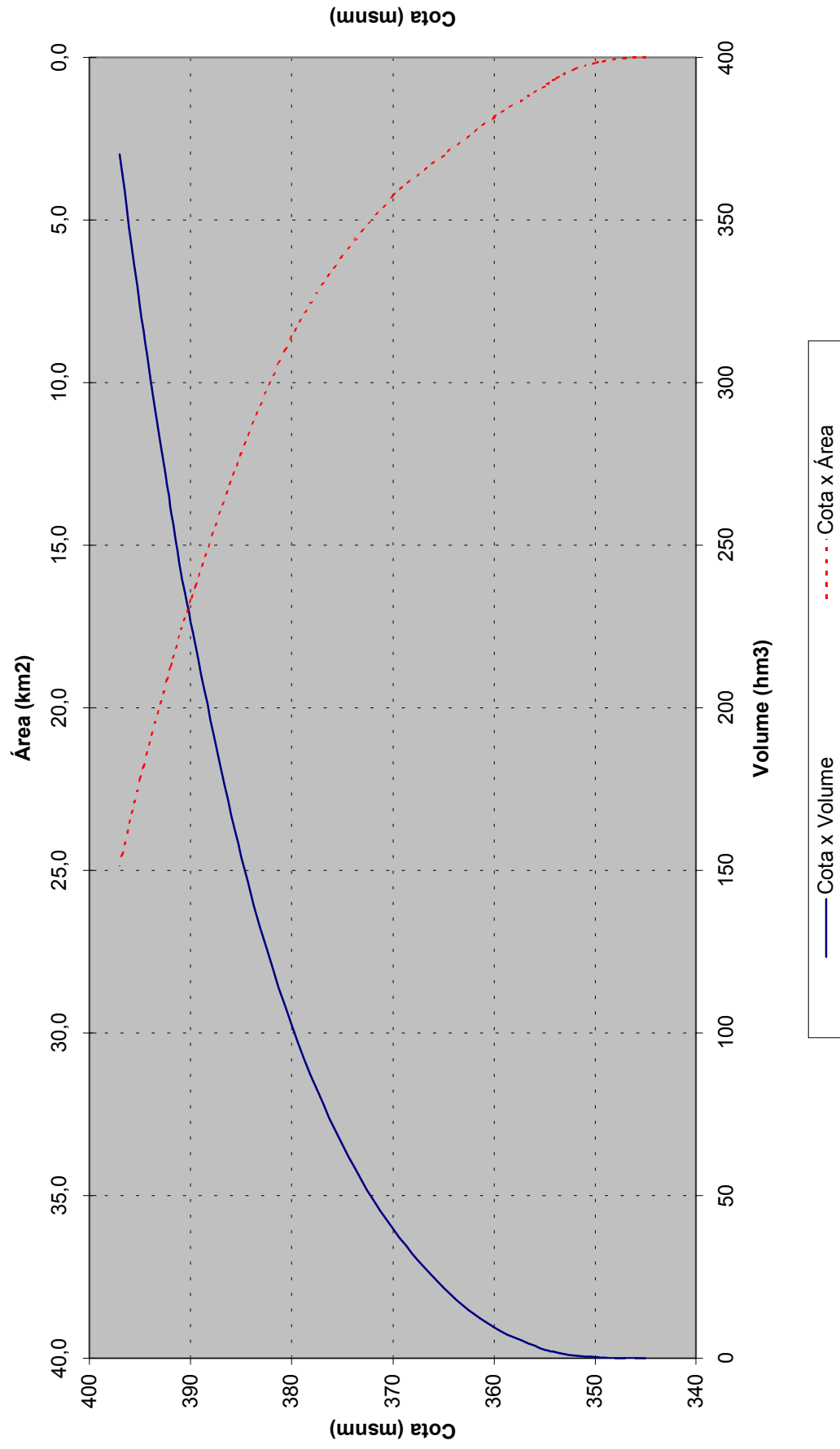
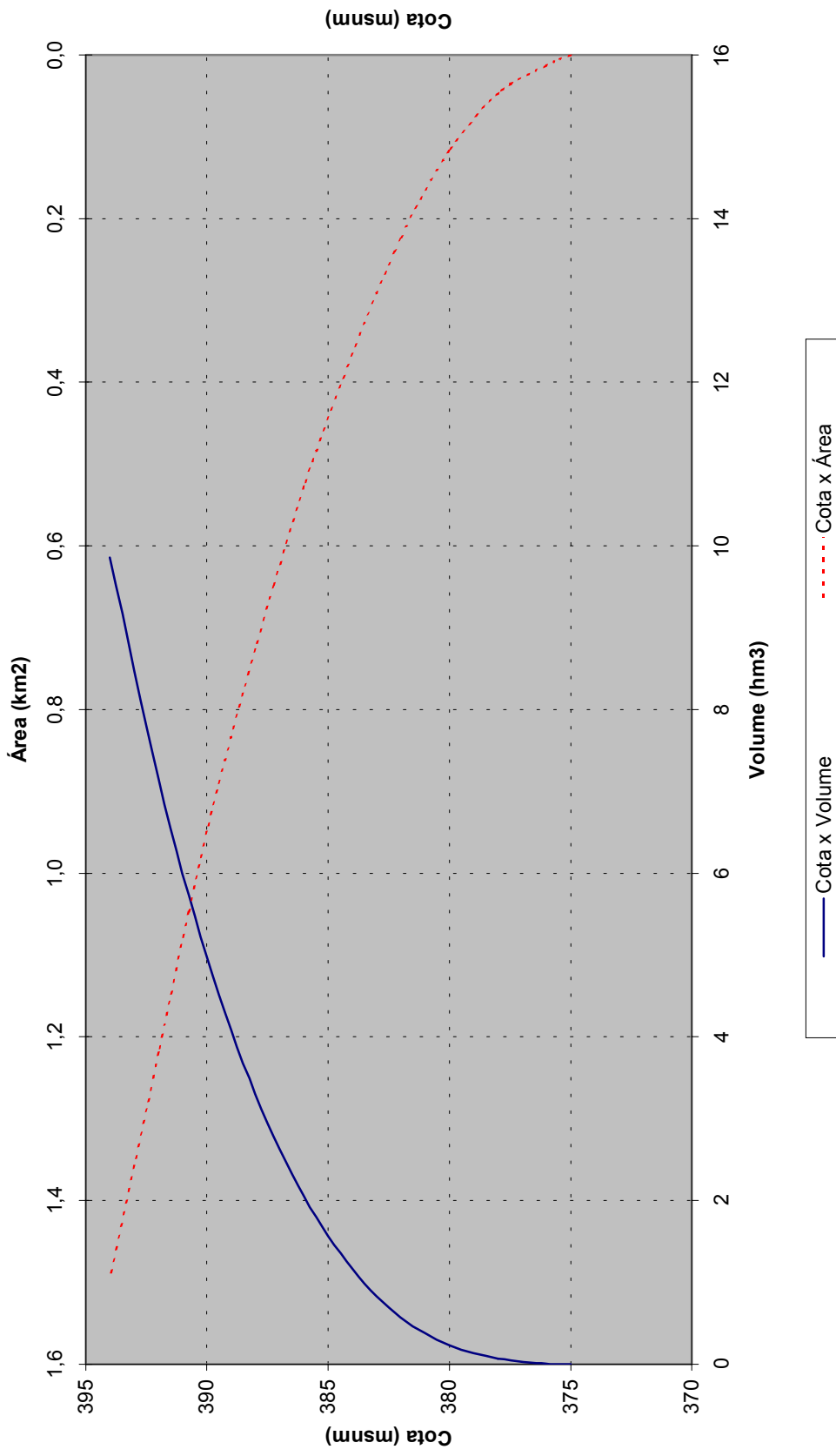
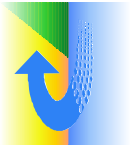




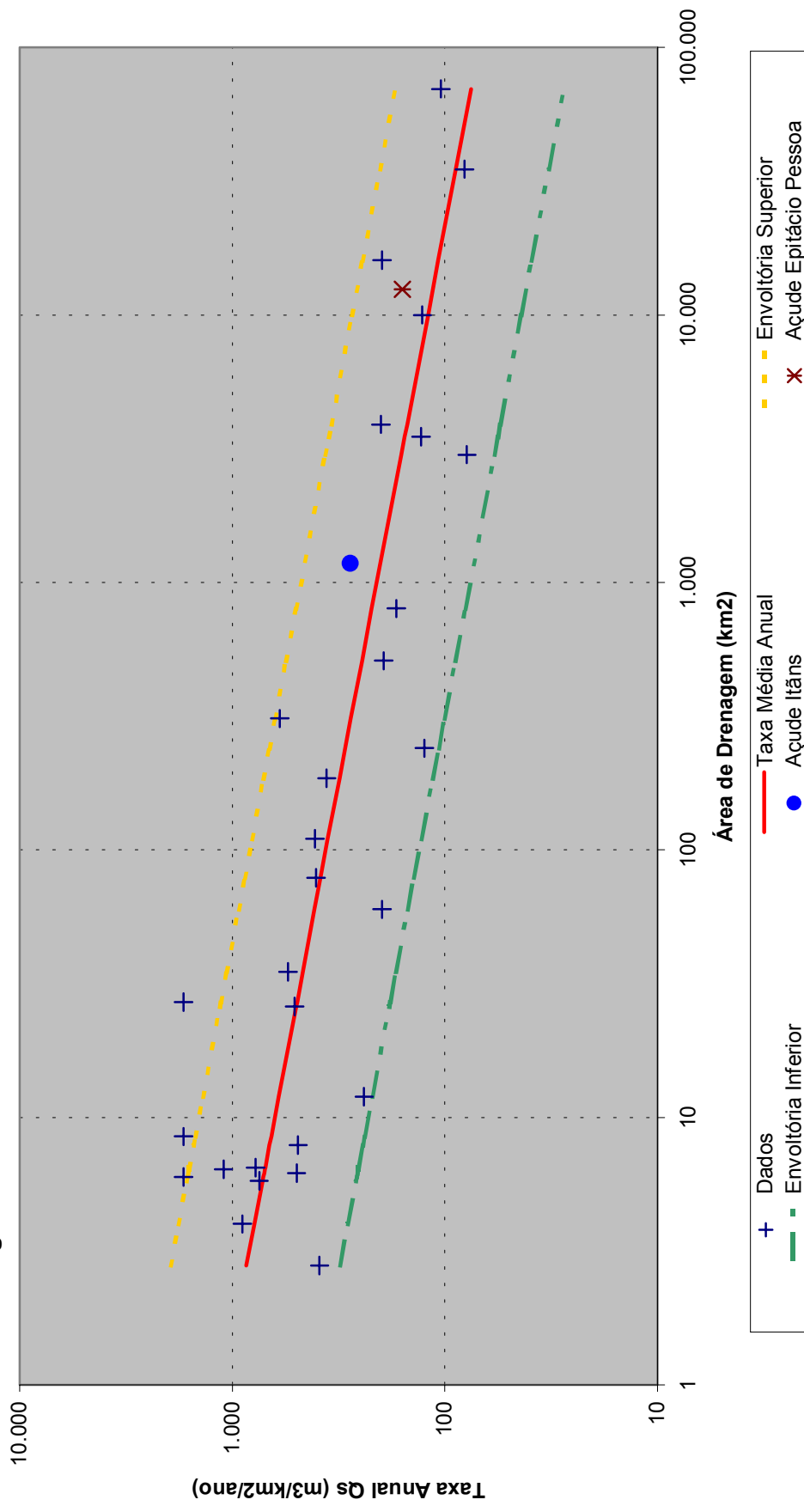
Figura 7 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório de Morros





Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Figura 8 - Taxas Anuais de Produção de Sedimentos em função da Área de Drenagem da Bacia Hidrográfica - Reservatórios Situados no Sudoeste dos Estados Unidos - Clima Semi-Árido*



*fonte: Design of Small Dams, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1987

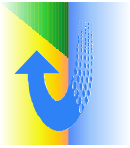
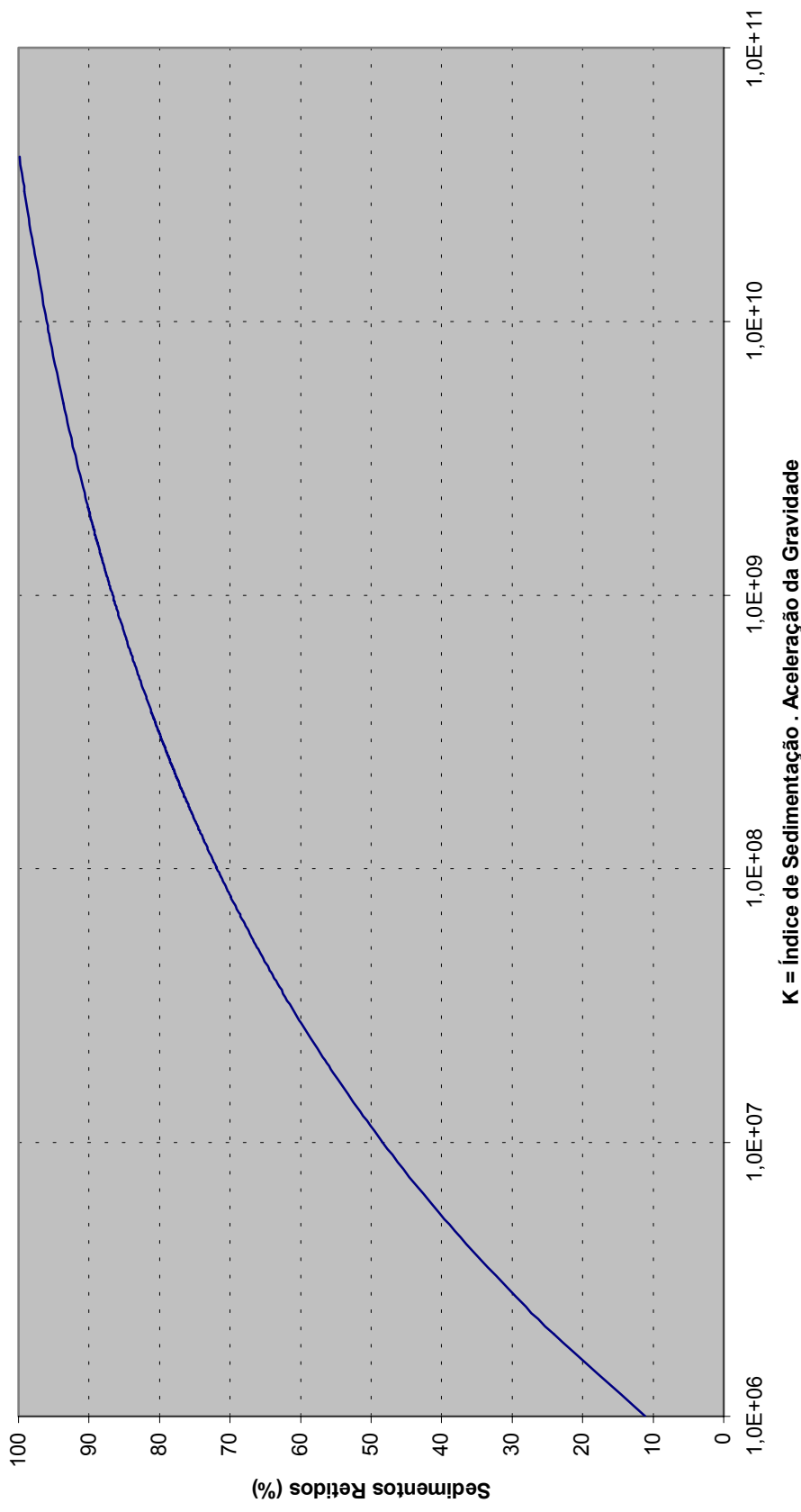
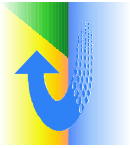


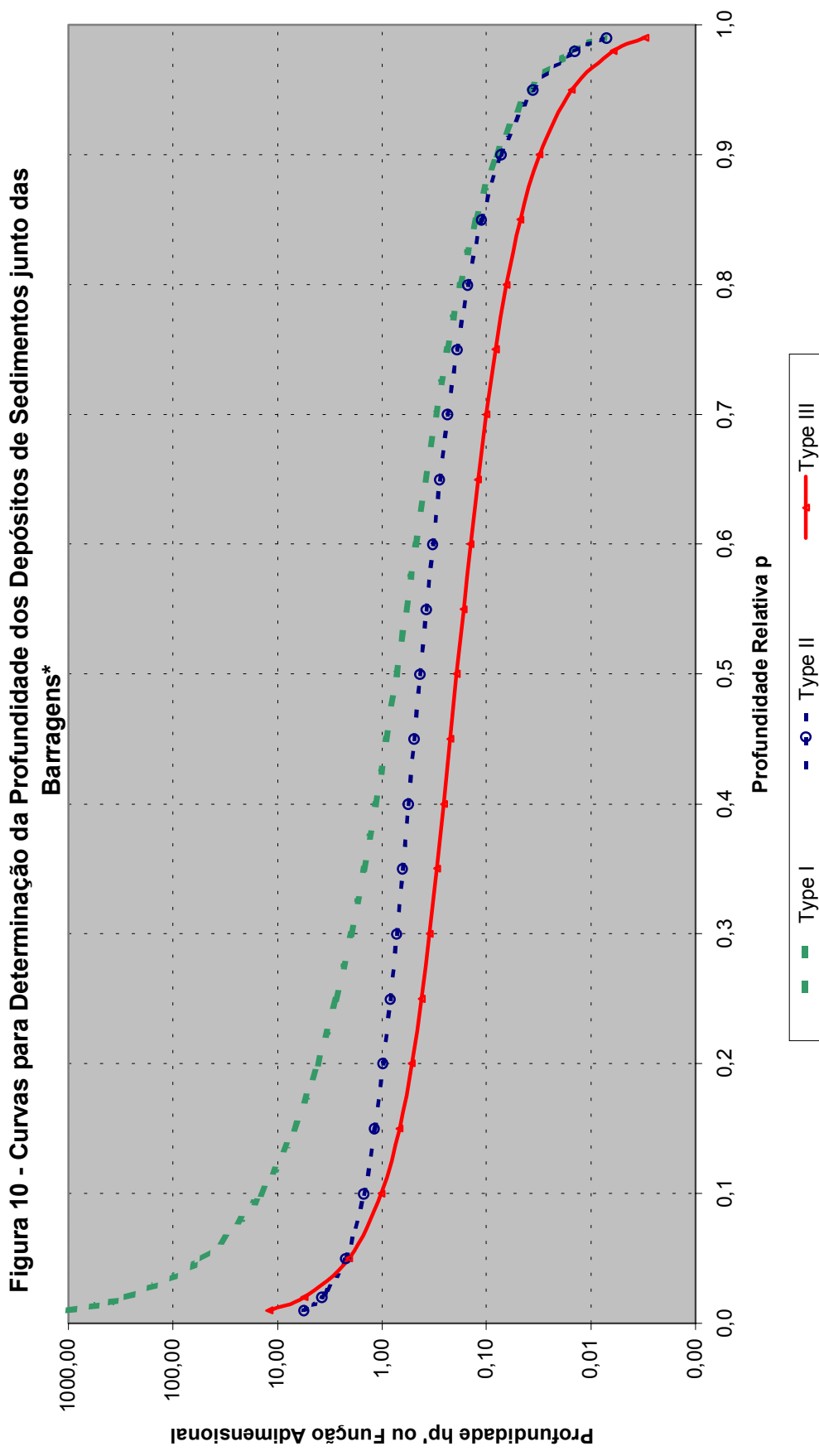
Figura 9 - Curvas de Eficiência de Retenção de Sedimentos em Reservatórios



fonte: Churchill, M.A., Janeiro, 1948 / Design of Small Dams, US Department of Interior



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico



*fonte: Design of Small Dams, US Bureau of Reclamation, 1987

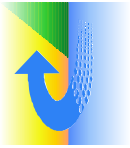
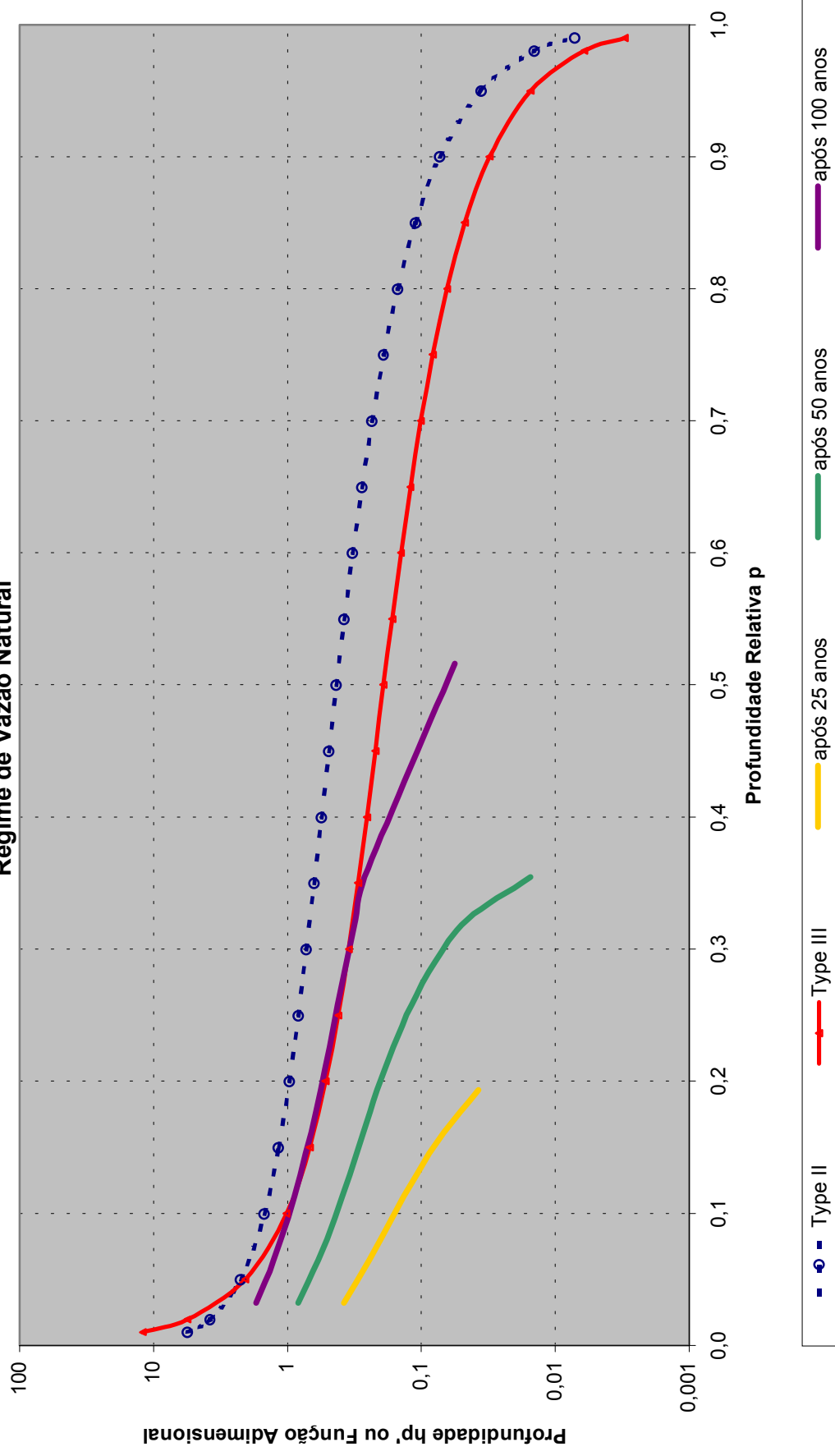


Figura 11 - Avaliação da Altura de Sedimento no Pé da Barragem do Açude Atalho
Regime de Vazão Natural



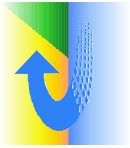
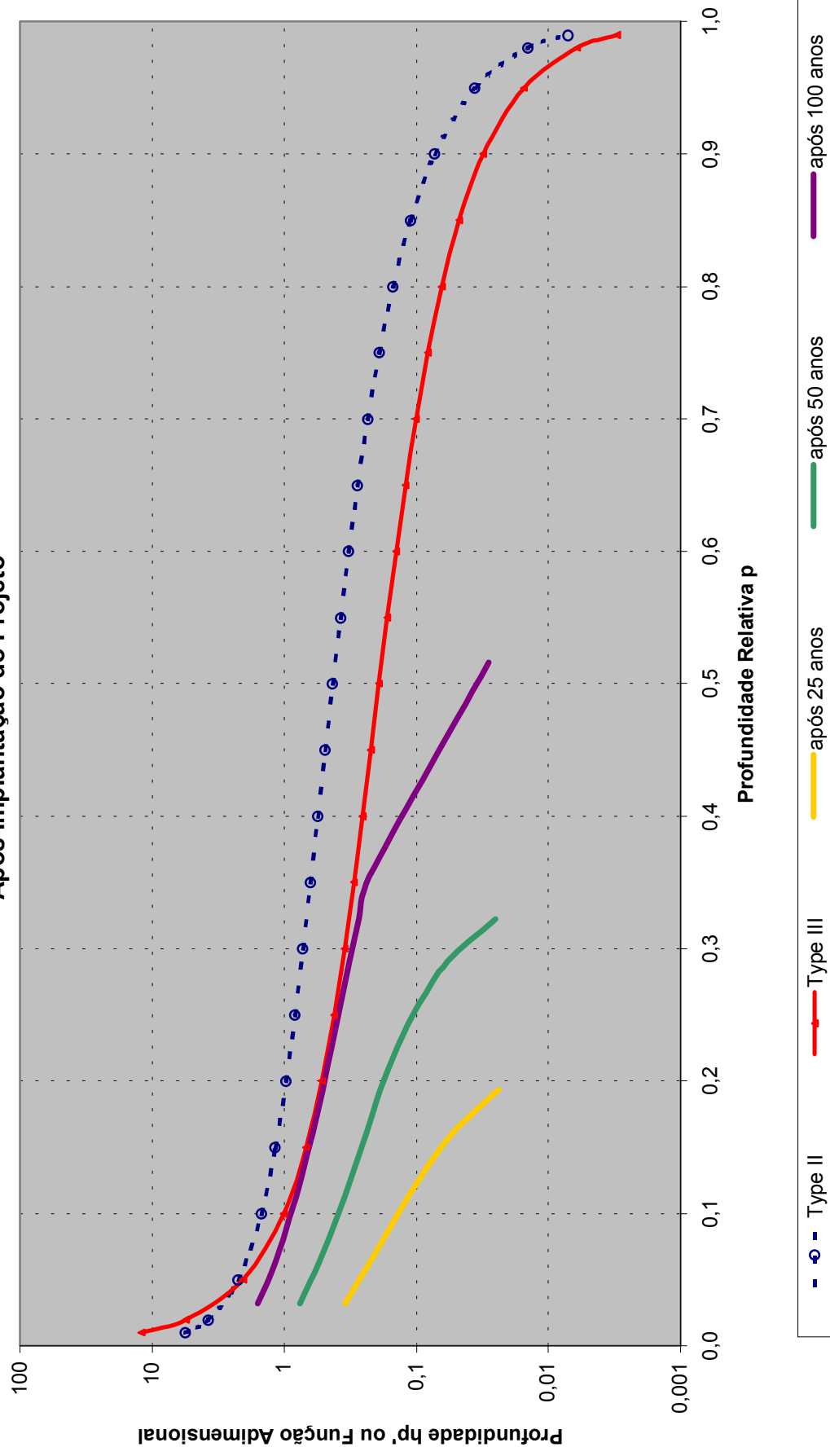


Figura 12 - Avaliação da Altura de Sedimento no Pé da Barragem do Açude Atalho Após Implantação do Projeto



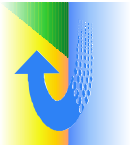
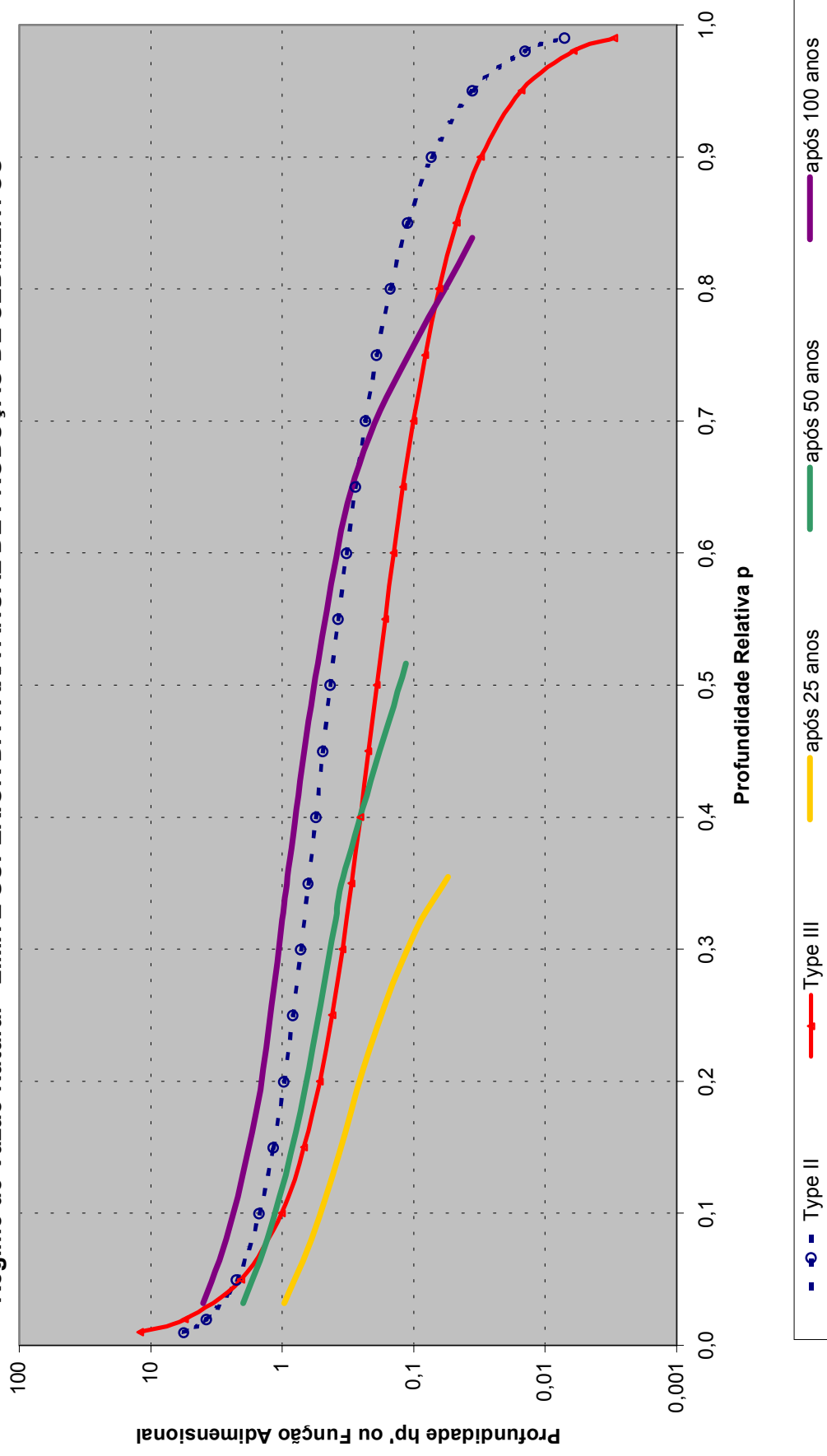


Figura 13 - Avaliação da Altura de Sedimento no Pé da Barragem do Açude Atalho
Regime de Vazão Natural - LIMITE SUPERIOR DA TAXA ANUAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS



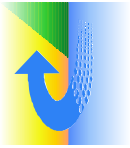


Figura 14 - Avaliação da Altura de Sedimento no Pé da Barragem do Açude Atalho
Após Implantação do Projeto
LIMITE SUPERIOR DA TAXA ANUAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

