



Folha de Dados

IDGED:

203/005/01

LOTE:

2212

AUTOR:

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICO – SRH; GOLDER ASSOCIATES; PIVOT

TÍTULO:

ESTUDOS DE ALTERNATIVA, VIABILIDADE E PROJETO BÁSICO DA ALTERNATIVA SELECIONADA DA BARRAGEM ARNEIROZ II

SUBTÍTULO:

TOMO V - PROJETO BÁSICO; VOLUME I – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH



PROÁGUA

S E M I - Á R I D O

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS, VIABILIDADE E
PROJETO BÁSICO DA ALTERNATIVA SELECIONADA
DA BARRAGEM ARNEIROZ II**

TOMO V - PROJETO BÁSICO

VOLUME 1 - MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Janeiro - 2001

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS, VIABILIDADE E
PROJETO BÁSICO DA ALTERNATIVA
SELECIONADA DA BARRAGEM ARNEIROZ II**

TOMO V – PROJETO BÁSICO

VOLUME 1

MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Elaborado para

*SÉCRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH – CE
Fortaleza – CE
Brasil*

Elaborado por

*Consórcio GOLDER-PIVOT
Rua Leonardo Motta, 699
Fortaleza – CE
Brasil*

Distribuição

01 Cópia - Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH – CE
01 Cópia - Consórcio GOLDER-PIVOT

Janeiro, 2001

009-5601-OS1-016

001-003

GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ

Tasso Ribeiro Jereissati

SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS

Hypérides Pereira de Macedo

COORDENADOR GERAL DOS PROJETOS ESPECIAIS

Francisco José Coelho Teixeira

GERÊNCIA GERAL ADJUNTA

Ramon Flávio Gomes Rodrigues

GERÊNCIA DE PLANEJAMENTO TÉCNICO

Francisco de Assis Souza Filho

000004

EQUIPE DE ELABORAÇÃO

José Carlos Virgili Geólogo	Francisco de Assis Souza Filho M S Hidráulica e Saneamento Presidente da Comissão
Jeovah Cardoso de Lima Engº Agrônomo	Lucrécia Nogueira de Sousa Geólogo Membro
Nelson Luiz Ferreira Porto Engº Civil	Dorian Ponte Lima Engº Civil Membro
Mário Cicareli Pinheiro Engº Civil	Nelson L. de S. Pinto Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
José Mário Queiroga Mafra Engº Civil	Paulo Teixeira da Cruz Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Tácito Cunha de Souza * Geólogo	Ronei Vieira de Carvalho Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Márcio Ferreira de Araújo Mendes Engº Civil	
Luciana Flávia Campos Baptista Villefort Engª Civil	
Ronaldo de Azevedo Chaves Engº Civil	
Cláudio Márcio da Silva Geólogo	
Elias Lopes Duarte Coelho Projetista	
Marcus Vinícius Santos Silva Projetista	
Nerilene Aparecida Silva Chaves Secretária de Projeto	

000005

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	01
2	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	02
3	FICHA TÉCNICA DO BARRAMENTO	03
4	SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS	05
4 1	Estudos cartográficos, topográficos e aerofotogramétricos	05
4 1 1	Cartografia	05
4 1 2	Topografia	06
4 1 3	Aerofotogrametria	07
4 2	Estudos Geológicos e Geotécnicos	07
4 2 1	Geologia e Geomorfologia	07
4 2 2	Geotecnia	13
4 2 2 1	Investigações do Barramento e Vertedouro – Sondagens e Ensaio de Campo	13
4 2.2 1 1	Investigações Realizadas nos Estudos Anteriores	13
4 2 2 1 2	Investigações Realizadas no Estudo Atual	13
4 2 2 2	Modelo Geomecânico do Maciço	15
4 2 2 2 1	Classificação Geomecânica do Maciço Rochoso	19
4 2 2 2 2	Estratos Geomecânicos do Maciço	19
4 2 2 3	Condições de Fundação e Tratamento Previstos	19
4 2 2 4	Materiais Naturais de Construção	20
4 2 2 4 1	Materiais Terrosos	21
4 2 2 4 2	Materiais Granulares	27
4 2 2 4 3	Material Pétreo	29
4 3	Estudos Hidrológicos	29
4 3 1	Caracterização da Bacia Hidrográfica	29
4 3 2	Caracterização Climatológica	30
4 3 3	Caracterização Pluviométrica	32
4 3 4	Estudos de Regularização	34
4 3 5	Cheias de Projeto	36
4 3 6	Trânsito de Cheias no Reservatório	41
4 3 7	Cálculo de Borda Livre	42
4 3 8	Estudos de Remanso no Reservatório	42
4 3 9	Análise do Enchimento do Reservatório	43
4 3 10	Vida Útil do Reservatório	44

5	CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DO BARRAMENTO	46
5 1	Dimensionamento Hidráulico	46
5 1 1	Sistema Extravassor (Vertedouro)	46
5 1 2	Tomada de Água	48
5 2	Dimensionamento da barragem de terra	50
5 2 1	Análise de percolação	50
5 2 2	Análise de estabilidade dos taludes da barragem	55
5 3	Dimensionamento das estruturas de concreto	63
5 3 1	Características das fundações das estruturas de concreto	63
5 3 2	Crítérios de dimensionamento das estruturas de concreto	64
6	DESCRIÇÃO DO PROJETO BÁSICO DAS OBRAS	67
6 1	Arranjo Geral	67
6 2	Barragem de Terra	67
6 3	Vertedouro	68
6 4	Tomada de Água	68
6 5	Instrumentação	68
6 5 1	Objetivo da Instrumentação	68
6 5 2	Concepção do Sistema de Instrumentação	69
7	ORÇAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS	69
8	CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO	77
9	EQUIPAMENTO MÍNIMO	81
10	CANTEIRO DE OBRAS	81
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1. INTRODUÇÃO

Este documento constitui-se no **Memorial Descritivo do Projeto Básico da Barragem Arneiroz II**, localizada no Rio Jaguaribe, no município de Arneiroz, Estado do Ceará, elaborado nos termos do contrato N° 002/PROÁGUA/SRH/2000, celebrado entre a Secretaria dos Recursos Hídricos do estado do Ceará e o Consórcio GOLDER-PIVOT

A Barragem Arneiroz II é uma das obras referenciadas no Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – PERH/CE (SRH/CE, 1992), sendo considerada como um empreendimento prioritário do governo estadual, com destinação principal de preencher o vazio hídrico existente no vale do Alto Jaguaribe. Além desta finalidade principal, o empreendimento, que está inserido no programa do PROÁGUA/Semi-Árido, deverá garantir o abastecimento de água das cidades de Arneiroz, Saboeiro e outras localidades marginais ao rio Jaguaribe, no trecho que se desenvolve do eixo da barragem até o remanso do reservatório do Açude de Orós. Nesse trecho, o fluxo deverá ser perenizado pela obra em tela.

Segundo os dados constantes do Relatório “Elaboração dos Estudos de Identificações Técnica, Socioeconômica, Ambiental e Demográfica do Projeto da Barragem Arneiroz II, no Município de Arneiroz, Previsto no PROÁGUA” (ESC – Engenharia Serviços e Consultoria, 1998), a obra é de extrema importância para a perenização de trecho do rio Jaguaribe, no centro da região mais árida do Estado do Ceará. Como benefício direto mais importante, deverá ser atendida uma população de cerca de 20 000 habitantes, distribuída pelas localidades de Arneiroz, Saboeiro, São Pedro e Canafístula (município de Jucás), Barro Alto, Quixóá e Gadelha (município de Iguatu).

Já tendo sido objeto de um projeto anterior (“Açude Público Arneiroz II – Volume I Relatório Geral”, AGUASOLOS Consultoria de Engenharia Ltda., 1992), a concepção e dimensionamento da obra foram submetidos ao Painel de Inspeção e Segurança de Barragens do PROURB-CE, que concluiu pela necessidade de uma revisão geral, motivo do presente Projeto Básico.

O Projeto Básico, ora apresentado, está consubstanciado em seis volumes, conforme descrito a seguir:

- Projeto Básico
Memorial Descritivo do Projeto – Volume 1
- Projeto Básico
Desenhos – Volume 2
- Projeto Básico
Memória de Cálculo – Volume 3
- Projeto Básico
Especificações Técnicas – Volume 4
- Projeto Básico
Quantitativos e Orçamento – Volume 5
- Projeto Básico
Relatório Síntese – volume 6

No desenvolvimento deste relatório são apresentados o resumo dos estudos básicos, que subsidiaram a elaboração do projeto, uma descrição detalhada das estruturas componentes do arranjo geral do empreendimento, as diretrizes para implantação do canteiro de obras, bem como a planilha orçamentaria, o cronograma de construção e uma relação de quantidade mínima de equipamentos necessários à execução da obra

Este relatório apresenta, portanto, o resultado final dos estudos que culminaram no Projeto Básico da Barragem Arneiroz II. Salienta-se que durante o desenvolvimento do projeto diversas alterações foram sendo feitas relativamente aos estudos básicos. Tais alterações foram gradativamente sendo incorporadas, devido ao refinamento dos estudos e/ou devido ao atendimento às sugestões do Painel de Inspeção e Segurança de Barragem da SRH.

Assim, podem ser encontradas algumas diferenças entre os elementos do Projeto Básico final e aqueles apresentados nos relatórios anteriores.

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A Barragem Arneiroz II está localizada no rio Jaguaribe, município de Arneiroz, 11 km a montante da sede do município. A obra situa-se no sudoeste do Estado do Ceará, na região denominada Sertão do Inhamuns. Em relação a outras obras hidráulicas de importância na bacia, a barragem está localizada a montante dos Açudes de Orós e Castanhão, bem como do Canal do Trabalhador.

O sítio de obra situa-se em uma seção fluvial do rio Jaguaribe, tendo coordenadas geográficas 6°7'15" de latitude Sul e 40°13'20" de longitude Oeste.

O acesso ao local da barragem é feito, a partir de Fortaleza, pela rodovia federal asfaltada BR-020 até a cidade de Tauá, em um trecho de 315 km, de Tauá segue-se 56 km na direção sudoeste, em uma estrada carroçável até a cidade de Arneiroz, de Arneiroz segue-se na direção noroeste, também em uma estrada carroçável, margeando o rio Jaguaribe, onde a 11 km situa-se a barragem. A Figura 2.1 mostra a localização e os acessos ao local da obra, bem como a situação da área de interesse em relação à bacia do rio Jaguaribe, onde aparecem ainda as posições relativas de outros empreendimentos hidráulicos de importância, tais como os Açudes Orós e Castanhão e o Canal do Trabalhador.

3. FICHA TÉCNICA DO BARRAMENTO

– Identificação

▪ Denominação	Barragem Arneiroz II
▪ Estado	Ceará
▪ Município	Arneiroz
▪ Sistema	Jaguaribe
▪ Rio Barrado	rio Jaguaribe
▪ Proprietário	Estado do Ceará/SRH
▪ Autor do Projeto	Golder Associates Brasil Ltda
▪ Data do Projeto	Janeiro/2001

– Características do Reservatório

▪ Volume acumulado (cota 368,00 m)	197,06 x 10 ⁶ m ³
▪ Área da bacia Hidráulica	20,338 km ²
▪ Volume alerta	9,88 x 10 ⁶ m ³
▪ Volume morto do reservatório	11,33 x 10 ⁶ m ³
▪ Percentual de volume (morto) acumulado	5,75 %

– Bacia Hidrográfica

▪ Área	5 342 km ²
▪ Precipitação média anual	544 mm
▪ Evaporação média anual	2 691 mm
▪ Coeficiente de escoamento	0,59
▪ Vazão regularizada (90%)	1,47 m ³ /s

– Barragem

▪ Tipo	terra homogênea / terra-enrocamento
▪ Altura máxima	34,20 m
▪ Largura do coroamento	7,0 m
▪ Extensão pelo coroamento	1401 m (margem direita + margem esquerda)
▪ Cota do coroamento	El 374,40
▪ Volume de escavação (fundação)	98 088 m ³
▪ Volume do maciço	1 001 760 m ³
▪ Volume de enrocamento (rip-rap e rock-fill)	170 733 m ³
▪ Volume de transições	40 436 m ³
▪ Volume de areia (filtro e transições)	52 988 m ³
▪ Largura máxima da base	125 m
▪ Talude de Montante	1v 2h
▪ Talude de Jusante trecho enrocamento	1v 1,5h – trecho terra 1v 1,8h
▪ Cortina de injeção (altura var)	8 a 12 m

- Tomada de água

- Tipo Torre sem ligação com as margens
- Diâmetro 800 mm
- Cota da geratriz inferior a montante El 345,00 m
- Cota de geratriz inferior a jusante El 345,00 m
- Volume de escavação 1 190 m³
- Volume de concreto armado 522 m³
- Volume de concreto de regularização 18 m³
- Descarga máxima de trabalho 4,62 m³/s
- Comprimento 114 m
- Dissipador de energia bacia com lage de impacto tipo VI do Bureau of Reclamation
- Dispositivos de controle e medição de vazões válvula borboleta e vertedouro retangular na extremidade jusante
- Localização ombreira direita

- Vertedouro

- Tipo superfície, com soleira livre tipo Creager
- Largura 300,00 m
- Vazão máxima (Tr=10000 anos) 3436 m³/s
- Lâmina máxima Prevista 2,20 m
- Borda livre 2,13 m
- Volume de escavação 262 036 m³
- Volume de concreto ogiva 9 300 m³
- Bacia - Lajes 2 470 m³

- Muros de contenção

- Material concreto armado
- Altura máxima 9,90 m
- Comp Na margem direita 42,55 m
- Comp Na margem esquerda 47,50 m
- Volume de concreto estrutural 2 560 m³

- Muro central

- Material concreto armado
- Altura máxima 8,50 m
- Comprimento 19,50 m
- Volume de concreto estrutural 190 m³

4. SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

Dentre os estudos básicos de maior importância para o projeto da barragem, destacam-se os de Cartografia, Topografia, Aerofotogrametria, Geologia e Geotécnica, Hidrologia e Dimensionamento Hidráulico

Cada um desses temas foi objeto de um relatório específico, contendo descrições detalhadas dos estudos desenvolvidos. No presente Relatório de Projeto Básico foram destacados apenas os tópicos mais relevantes de cada tema, necessários ao entendimento das soluções adotadas. Maiores detalhes dos estudos básicos podem ser obtidos nos seguintes relatórios

- Tomo II: Relatório dos Estudos Básicos

VOLUME 1	- HIDROLOGIA E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO
VOLUME 1A	- HIDROLOGIA E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO – MEMÓRIA DE CÁLCULO
VOLUME 2	- TOPOGRAFIA
VOLUME 2A	- TOPOGRAFIA – DESENHOS
VOLUME 2B	- TOPOGRAFIA – MEMÓRIA DE CÁLCULO
VOLUME 2C	- TOPOGRAFIA – CADERNETA DE CAMPO
VOLUME 3	- ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS
VOLUME 4	- AEROFOTOGRAFIA

4.1 Estudos Cartográficos e Topográficos

4.1.1 Cartografia

As características físicas da bacia do rio Jaguaribe foram determinadas com base na cartografia disponível, em escalas 1 100 000 e 1 250.000, listada a seguir

- Carta de Arneiroz, folha SB 24-Y-B-I, escala 1 100 000, elaborada pela SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (1972)
- Carta de Novo Oriente, folha SB 24-V-C-VI MI-967, escala 1 100 000, elaborada pela SUDENE (1987)
- Carta de Parambu, folha SB 24-A-III, escala 1 100 000, elaborada pela SUDENE (1972)
- Carta de Várzea do Boi, folha SB 24-V-D-IV MI-968, escala 1 100 000, elaborada pela SUDENE (1987)
- Carta de Independência, folha SB 24-H-II, escala 1 100 000, elaborada pela SUDENE (1969)

- Carta de Mombaça, folha SB 24-V-D-V, escala 1 100 000, elaborada pela SUDENE (1972)
- Carta de Catarina, folha SB 24-Y-B-II MI-1046, escala 1 100 000, elaborada pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército (1971)
- Carta de Iguatu, folha SB-24-Y-B, elaborada pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército (1971)
- Carta de Crateús, folha SB-24-V-C, elaborada pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército (1971)
- Carta de Quixeramobim, folha SB-24-V-D, elaborada pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército (1971)
- Carta de Valença do Piauí, folha SB-24-Y-A, elaborada pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército (1971)

As características da bacia hidráulica do reservatório (relações cota-área-volume) foram calculadas a partir do Levantamento Aerofotogramétrico realizado na região do futuro reservatório, que atingiu a El 380,00 m Este levantamento esta consubstanciado em 15 desenhos na escala 1 10000, constantedo Tomo II – Relatório do Estudos Básicos – Volume 4 Aerofotogrametria As características deste trabalho estão indicadas no item 4 1 3

Além dos mapas relacionados acima, outros em escalas menos detalhadas foram utilizados para visualização global da divisão em sub-bacias e, em destaque, da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, possibilitando o início da análise dos impactos advindos da implantação de mais um barramento na cascata Essa documentação cartográfica está listada a seguir

- Atlas do Ceará - IPLANCE - Fundação Instituto de Planejamento do Ceará.
- Mapas do Estado do Ceará - da SEPLAN, IPLANCE, DCG, escala 1 500 000, de 1994.
- Mapa da Rede de Açudagem de Leitos Perenizados do Estado do Ceará, da COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, escala 1 700 000, de 1999

4.1.2 Topografia

Os trabalhos de topografia constaram dos levantamentos planialtimétricos da área de implantação dos eixos da barragem e do vertedouro, da linha de base e infra-estrutura existente na bacia hidráulica, e das jazidas de materiais naturais da construção Estes levantamentos estão consubstanciados nos desenhos "Levantamento Planialtimétrico do Eixo Barrável e Vertedouro" na escala 1 2 000, "Topografia do Eixo e Perfil Longitudinal" na escala 1 5 000 e "Topografia da Bacia Hidráulica" (divididos em trinta e três desenhos) na escala 1 2 000

Os estudos topográficos realizados estão detalhados no Tomo II - Volumes 2, 2A, 2B e 2C - que são parte integrante do Relatório dos Estudos Básicos da Barragem Arneiroz II

4.1.3 Aerofotogrametria

Os trabalhos de restituição aerofotogramétrica da área da bacia hidráulica foram realizados a partir das fotos aéreas do Projeto C-5 da SUDENE, ano 1965 (escala 1 70 000), e fotos aéreas referentes ao Projeto 0-134 do DNOCS (escala 1 25 000) A restituição foi feita até a cota 380,00 m e está consubstanciada em 15 desenhos na escala 1 10 000 A infraestrutura da bacia, constante nos desenhos, foi atualizada através de levantamento topográfico Estes trabalhos estão detalhados nos documentos Relatório dos Estudos Básicos – Volumes 4 e 4A que são parte integrante do Projeto da Barragem Arneiroz II

4.2 Estudos Geológicos e Geotécnicos

Os estudos geológico-geotécnicos levados a cabo tiveram o objetivo de identificar as características geomecânicas da fundação da barragem, bem como levantar a disponibilidade e características dos materiais naturais de construção

- Os estudos geológicos de superfície envolveram trabalhos de fotointerpretação geológica, mapeamento geológico-geotécnico, reconhecimento dos materiais naturais de construção e levantamento de geologia estrutural

Assim, os estudos geológicos de subsuperfície envolveram a execução de sondagens rotativas, sondagens à percussão, ensaios de perda de água sob pressão, ensaios de infiltração e uma campanha de ensaios de laboratório orientados à caracterização dos materiais de construção Os dados disponíveis referentes às campanhas de investigações anteriores foram também incorporados nesta fase dos estudos

Estes estudos levaram ao estabelecimento da classificação geomecânica do maciço segundo a "Classificação de Bieniawski"

Os estudos geotécnicos realizados estão detalhados no Tomo II - Volume 3 - Estudos Geológicos e Geotécnicos e Volume 3A - Anexos, que são parte integrante do Projeto da Barragem Arneiroz II

4.2.1 Geologia e Geomorfologia

4.2.1.1 Geomorfologia regional

A região onde se insere o empreendimento inclui, em sua parte mais baixa, setores de topografia predominantemente plana ou suavemente rampeada, que se orientam para os fundos dos vales A fisionomia é conferida por feições de topografia aplainadas, decorrentes da pequena capacidade de incisão linear proporcionada pela rede de drenagem As altitudes são inferiores a 200m

À medida que as altitudes atingem cotas superiores (até 400m, ou, em raros casos, um pouco acima disso), há uma tendência generalizada para maior dissecação do relevo em feições

morfológicas diversificadas. Dentre estas incluem-se formas de topos convexos, lombadas, morros, esporões e feições tabuliformes. Estas áreas, com aspecto de rampas degradadas eventualmente dissecadas, constituem patamares de acesso para os níveis elevados dos maciços residuais. Em sua maior parte, representam regiões que circundam os planaltos, marcando a transição entre estes e as terras baixas.

A vegetação predominante na região é constituída pela caatinga arbustiva aberta e pela floresta caducifolia espinhosa (caatinga arbórea).

Os solos pedológicos predominantes são os litólico eutrófico e distrófico, e o podzólico vermelho-amarelo eutrófico e distrófico bruno não cálcico.

A região, onde a semi-aridez é aguda e as caatingas têm distribuição extensiva, está inserida nas Depressões Sertanejas, com altitudes de no máximo 400 m, sendo detectadas, raramente, elevações superiores.

As litologias são representadas tanto por rochas do pré-Cambriano Superior como do pré-Cambriano Indiviso. Apesar da extrema complexidade litológica, as depressões sertanejas se apresentam como vastas superfícies de aplainamento, onde o trabalho erosivo truncou indistintamente essas rochas. Este fato não invalida, porém, o trabalho de erosão diferencial, que tende a colocar em destaque rochas resistentes, dissecando ou rebaixando mais intensamente os setores de litologias menos resistentes.

A topografia do sertão nem sempre tem aspecto aplanado, que tão bem caracteriza a superfície sertaneja. Nos locais em que a rede de drenagem se adensa, assumindo um padrão dentrítico, sem qualquer controle estrutural, o sulcamento linear tende a dissecar o relevo, dando ao mesmo feições onduladas.

A morfologia das depressões sertanejas se evidencia através de vastas rampas sedimentares, que partem das bases dos maciços residuais, com caimento no sentido dos fundos dos vales.

O processo evolutivo dos sedimentos está intimamente ligado às características climáticas e de vegetação das depressões sertanejas semi-áridas. A par da aguda irregularidade das precipitações pluviométricas, as amplitudes diurnas de temperatura, afora o caráter caducifólio do revestimento florístico, têm íntima associação com os processos morfogenéticos atuantes.

O clima semi-árido, além de ser o principal fator condicionante da desagregação das rochas, contribui para impor os processos de remoção dos colúvios e de deposição deste material a jusante da área fonte. O tipo de revestimento vegetal pouco contribuiu para deter ou atenuar os efeitos do escoamento difuso ou em lençol, que tem acentuado o seu papel de agente de desgaste. O material carregado seletivamente justifica o adelgaçamento dos solos, pouco espessos em toda a região, enquanto que os detritos grosseiros, impondo obstáculos à sua remoção, depositam-se em superfície, dando à mesma o aspecto de chão pedregoso. Quando este material é revestido por colúvio, se expande às áreas cujos solos apresentam linhas de seixos sotopostos aos horizontes superficiais dos solos.

Resumidamente, e em função do exposto, pode-se dizer que a região apresenta as seguintes características geomorfológicas de maior relevância: grande variação litológica, truncamento indistinto das litologias por processos de morfogênese mecânica, que tenderam a aplanar a superfície, revestimento generalizado de caatinga com capacidade mínima para diminuir a ação de desgaste dos processos de erosão, pequena espessura de manto de alteração das rochas, ocorrência frequente de pavimentos e paleopavimentos dentrícos, pequena capacidade de erosão linear em face da intermitência dos cursos de água, o que justifica a pequena amplitude altimétrica entre os interflúvios e os fundos de vales, presença de altos residuais nos locais de maior resistência litológica, e desenvolvimento de áreas de acumulação inundáveis à jusante das rampas sedimentares

4.2.1.2 Geomorfologia local

A área, objeto dos estudos, está inserida na unidade geomorfológica denominada Planalto Sertanejo, que comporta-se, de um modo geral, como um patamar de acesso aos níveis mais altos, uma vez que representa um degrau intermediário entre a Depressão Sertaneja e os topos dos Planaltos e Chapadas que o circundam

Morfologicamente caracteriza-se por uma intensa dissecação do relevo, resultando em formas predominantemente convexas e aguçadas, dispostas geralmente seguindo uma direção preferencial SO-NE e S-N. Trata-se de uma área de grandes dobramentos e falhamentos, que se refletem no relevo através de extensos alinhamentos de cristas, com escarpas íngremes e vales encaixados em “V”

O Planalto Sertanejo apresenta-se como importante centro dispersor de drenagem. Os rios que drenam este planalto possuem os cursos retilíneos, intercalados por curvas e ângulos anômalos, sendo marcados por inflexões bruscas em vários sentidos. Correm geralmente encaixados, não permitindo o desenvolvimento de planícies, salvo em pequenos trechos, principalmente nos setores em que interceptam litologias sedimentares. A maior parte do Planalto Sertanejo está incluída na categoria de “Serras Secas”, submetidas às deficiências hídricas típicas do clima semi-árido

4.2.1.3 Geologia regional

Em termos estratigráficos, a região situa-se no Complexo Nordestino, que, em conjunto com outras áreas pré-cambrianas, encontra-se posicionado como substrato das sequências supra cristais

A geologia regional é formada, predominantemente, por rochas metamórficas, entrecortadas por intrusões ígneas de rochas básicas, como é apresentado no Mapa Geológico Regional (Figura 01)

Uma síntese das principais características estratigráficas da região é apresentada a seguir

- *Rochas Plutônicas Granulares* As rochas plutônicas são representadas por dois tipos característicos, um de composição granítica e outro de composição gabróide, que ocorrem em forma de corpos relativamente extensos e alongados. Estas rochas se apresentam geralmente discordantes com a estrutura regional, preenchendo fraturas em rochas do Complexo Caicó
- *Complexo Caicó* Esta unidade ocorre largamente por toda a região, e corresponde a maior unidade em termos de distribuição geográfica, sendo constituída por gnaisses variados, por lentes de metarcóseos, por quartzitos e por magmatitos, com as mais variadas estruturas
- *Complexo Independência* Esta unidade é basicamente para-metamórfica, constituída de gnaisses variados, xistos e lentes de calcário cristalino. O complexo Independência ocorre, regionalmente, ao longo de uma faixa de direção NNE e SSW, sendo seus contatos com as unidades circunvizinhas geralmente tectônicos
- *Grupo Ceará* Esta unidade é constituída por uma sequência ectínica, para-metamórfica, com quartzito na base, ao qual sobrepõem-se xistos, filitos e gnaisses. O contato das rochas desta unidade com as rochas subjacentes é geralmente concordante
- *Diques Básicos* Constituem-se de rochas filoneanas básicas, discordantes com a estrutura regional, preenchendo fraturas em rochas do Complexo Caicó. Em termos petrográficos, a unidade é representada por diabásios e por gabros de granulação média e grosseiras, de cor cinza-escura a negra, com impregnação de óxido de ferro
- *Aluviões* Os depósitos aluviais estão restritos à calha principal dos rios e riachos. Os sedimentos da calha do rio são representados por um pacote arenoso composto de areia média a grossa. Nas áreas de relevo mais acidentado, os aluviões são extremamente escassos, sendo comum nessas áreas a presença de afloramentos ao longo dos rios e riachos

4.2.1.4 Geologia local

Em termos estratigráficos a região situa-se no Complexo Nordestino, que, em conjunto com outras áreas pré-cambrianas, encontra-se posicionado como substrato das sequências supracrustais

O padrão geocronológico da área demonstra um envolvimento nos eventos do Pré-Cambriano superior, tendo sido, entretanto, o Evento Transamazônico o mais atuante no referido complexo

A unidade em questão está representada por um grande número de amostras, que caracterizam a ampla e complexa associação de rochas que a compõem. As litologias predominantes do Complexo Nordestino compreendem migmatitos, gnaisses migmatizados e granitóides, anfibolitos, quartzitos, calcários cristalinos, xistos, itabiritos, calcosilicatadas e rochas cataclásticas

Em escala local, aparece na área um tipo lítico, encoberto parcialmente por depósitos sedimentares recentes ou por capeamento de solo residual. A rocha em questão é um gnaiss que foi afetado pelo processo de migmatização, caracterizando condições de temperatura bastante variadas e pressão em torno da média.

Os gnaisses exibem tonalidades cinza. A estrutura normalmente mostra uma intercalação de bandas escuras, enriquecidas em máficas, com bandas claras quartzo-feldspáticas. A granulação é principalmente equigranular média, podendo variar para equigranular fina.

As ombreiras esquerda e direita, bem como o local analisado nos estudos anteriores para implantação do sangradouro da Barragem Arneiroz II, são formados por uma camada de solo residual de gnaiss intercalado por afloramentos do gnaiss migmatítico, localmente alterado.

No leito do rio Jaguaribe os depósitos aluviais encobrem as rochas cristalinas, apresentando uma espessura em torno de 2,0 m e composição granulométrica predominantemente de areia média a grossa. Além desses aluviões ocorrem ainda sedimentos nas partes elevadas e encostas, sendo predominantemente transportados pelo efeito da gravidade (coluviões).

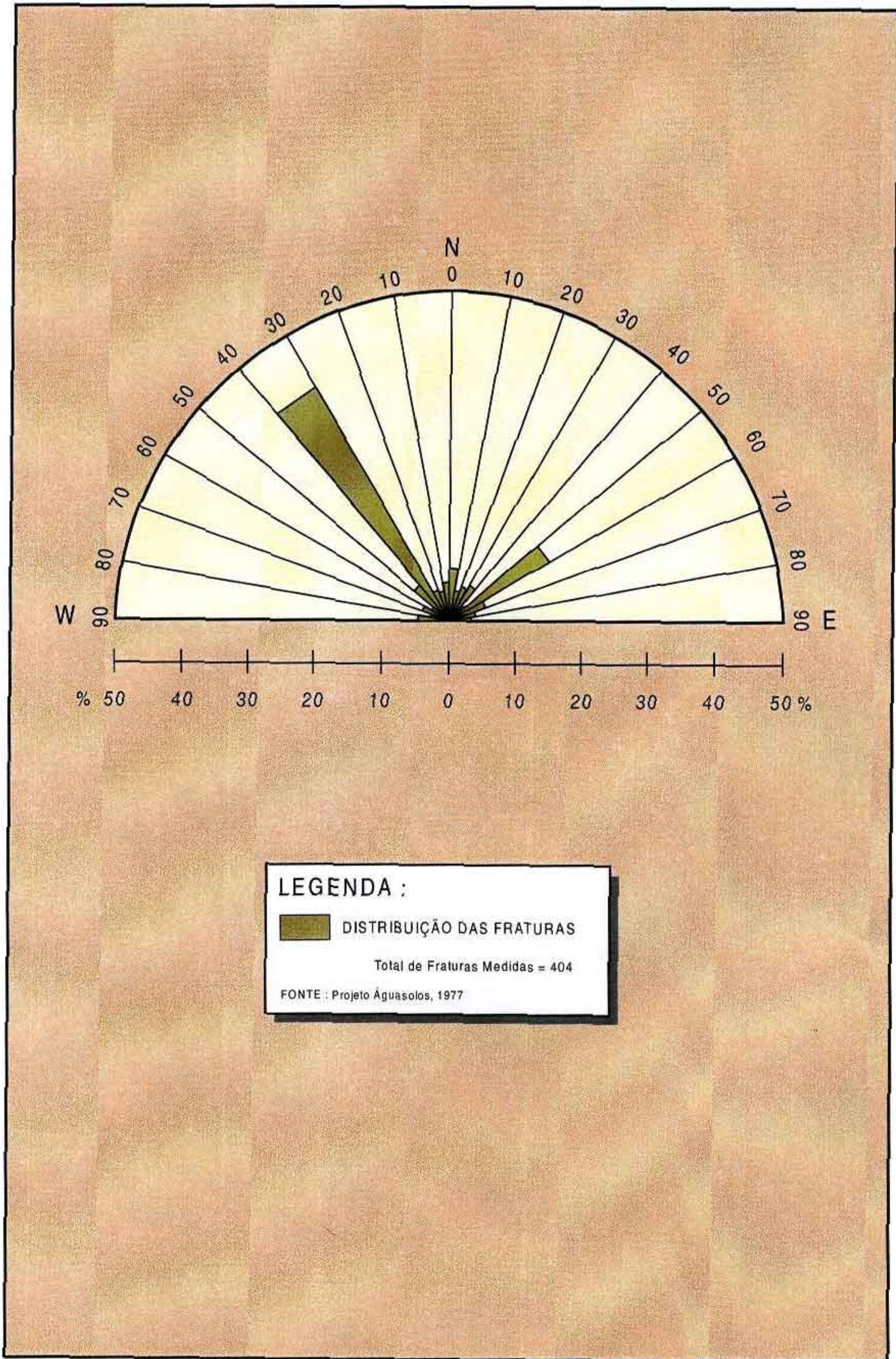
A exemplo de outras áreas pré-cambrianas, a região apresenta um padrão estrutural complexo, com planos de foliação geralmente verticalizados e intensamente contorcidos, raramente lineares, formando, dentre outros tipos, dobramentos isoclinais e recumbentes, com eixos verticais, inclinados e horizontais. Terminações branquiformais são frequentemente observadas, assim como falhamentos, extensivos a toda a área.

Do ponto de vista da geologia estrutural, a área está muito próxima dos lineamentos Arneiroz-Senador Pompeu e Cococi, sofrendo forte influência destas falhas.

Os estudos anteriores efetuados na área mostram que as estruturas primárias – lineações e plano de xistosidade – têm direções predominantes entre 40° AZ e 70° AZ, com direção média de 55° AZ. Esta direção é característica do local de interesse.

As estruturas secundárias, representadas pelas fraturas, podem ser melhor analisadas com a observação do “diagrama de setor”, apresentado a seguir, onde pode-se constatar que

- existem três direções principais de fraturamento, quais sejam N320, N60 e N5.
- predomina o quadrante noroeste sobre o nordeste, com maior número de fraturas na direção N320, perpendiculares aos falhamentos referidos, observando-se que, provavelmente, fraturas tracionais apresentam-se mais abertas que as demais, estando, porém, preenchidas por material quartzoso.
- as fraturas de direção N 60 apresentam a mesma direção das falhas referidas, sendo, portanto, longitudinais, com probabilidade de apresentarem-se fechadas por serem decorrentes de esforços compressivos perpendiculares a esses planos.
- as fraturas de direção N5 são tipicamente de cisalhamento e, portanto, não possuem aberturas consideráveis.



4.2.2 Geotecnia

4.2.2.1 Investigações do Barramento e Vertedouro – Sondagens e Ensaios de Campo

4.2.2.1.1 Investigações Realizadas nos Estudos Anteriores

As campanhas de sondagens realizadas anteriormente à atual fase do projeto estão resumidas na Tabela 4.1. Foram realizadas 18 (dezoito) sondagens rotativas num total de 231,95m perfurados. Cabe-nos aqui salientar que os dados das campanhas anteriores foram utilizados somente quando da não disponibilidade de dados recentes.

4.2.2.1.2 Investigações Realizadas no Estudo Atual

Para o desenvolvimento da atual fase do projeto foi realizada uma campanha de sondagens rotativas, sondagens a percussão e perfuração de poços de inspeção que subsidiaram os estudos de caracterização geológico-geotécnica e geomecânica aqui desenvolvidos (Tabelas 4.2 e 4.3).

TABELA 4.1

INVESTIGAÇÕES ANTERIORES À CAMPANHA ATUAL

FURO	PROF. (m)	COORDENADAS		COTA (m)	DATA TÉRMINO	EXECUTORA
		N	E			
PRIMEIRA CAMPANHA DE SONDAJENS						
SR-1	10,00	9 307 312.2339	364 940.3774		14/08/1992	ÁGUA SOLOS
SR-2	10,00	9 307 209.2534	364 997.9883		30/07/1992	ÁGUA SOLOS
SR-3	15,00	9 307 071.3642	365 075.1283		28/07/1992	ÁGUA SOLOS
SR-4	18,00	9 306 948.3112	365 143.9685		24/07/1992	ÁGUA SOLOS
SR-5	18,00	9 306 988.3466	365 051.6746		24/07/1992	ÁGUA SOLOS
SR-6	15,00	9 307 056.6985	365 173.8548		28/07/1992	ÁGUA SOLOS
SR-7	10,00	9 306 652.4369	365 180.4195		20/08/1992	ÁGUA SOLOS
SR-8	15,00	9 306 234.8311	365 228.2755		17/08/1992	ÁGUA SOLOS
SR-9	10,00	9 306 219.2750	365 285.1878		20/08/1992	ÁGUA SOLOS
SR-10	10,00	9 306 700.2691	365 198.1136		21/08/1992	ÁGUA SOLOS
SR-11	9,00	9 306 632.2896	365 234.8077		24/08/1992	ÁGUA SOLOS
SR-12	10,00	9 306 593.3600	365 158.5353		26/08/1992	ÁGUA SOLOS
SR-13	9,00	9 306 611.1001	365 292.0092		27/08/1992	ÁGUA SOLOS
SP-1		9 307 034.3902	365 050.0011		20/07/1992	ÁGUA SOLOS
SP-2		9 307 083.2130	365 137.2728		21/07/1992	ÁGUA SOLOS
SP-3		9 307 014.2590	365 175.8259		21/07/1992	ÁGUA SOLOS
SP-4		9 306 965.4362	365 088.5543		20/07/1992	ÁGUA SOLOS

TABELA 4.2
QUADRO COM O RESUMO DA ATUAL FASE DE INVESTIGAÇÕES

FURO	PROF. (m)	COORDENADAS		COTA (m)	DATA TÉRMINO	EXECUTORA
		N	E			
SEGUNDA CAMPANHA DE SONDAgens						
SM-01	10,40	9 307 105,4001	365 056,0875	343,72	08/03/2000	MINAS SOLOS
SM-01A	20,00	-	-	343,89	30/03/2000	MINAS SOLOS
SM-02	11,75	9 307 026,8557	365 100,0280	343,45	04/03/2000	MINAS SOLOS
SM-03	10,00	9 307 262,4890	364 968,2064	355,38	26/03/2000	MINAS SOLOS
SM-04	4,60	9 306 904,6754	365 168,3799	354,98	06/03/2000	MINAS SOLOS
SM-05	7,50	9 307 437,2377	364 871,3870	363,81	12/03/2000	MINAS SOLOS
SM-06	5,00	9 306 880,2640	365 124,7441	352,48	09/03/2000	MINAS SOLOS
SM-07	5,00	9 306 924,2045	365 203,2885	353,18	04/03/2000	MINAS SOLOS
SM-08	11,00	9 306 843,5853	365 202,5558	363,57	16/03/2000	MINAS SOLOS
SM-09	7,90	9 306 734,9571	365 210,9878	371,00	17/03/2000	MINAS SOLOS
SM-10	8,70	9 306 457,7756	365 157,3504	368,60	10/03/2000	MINAS SOLOS
SM-11	5,22	9 306 477,5818	365 192,1026	366,08	12/03/2000	MINAS SOLOS
SM-12	5,11	9 306 507,2911	365 244,2308	361,68	15/03/2000	MINAS SOLOS
SM-13	10,88	9 306 370,8952	365 206,8659	370,84	07/03/2000	MINAS SOLOS
SM-14	7,15	9 306 428,0663	365 105,2221	365,96	17/03/2000	MINAS SOLOS
SM-15	7,00	9 306 602,6313	365 193,9619	373,20	22/03/2000	MINAS SOLOS
SP-01	2,12	9 307 060,5086	365 097,9627	342,00	05/03/2000	MINAS SOLOS
TOTAL	139,33					

TABELA 4.3
POÇOS DE INVESTIGAÇÃO EXECUTADOS

Nº POÇO	COORDENADAS		PROFUNDIDADE (m) ver nota
	N	E	
P1	9 306 659,34	365 183,13	0.60
P2	9 306 644,72	365 219,80	0.68
P3	9 306 630,92	365 257,59	0.36
P4	9 306 617,17	365 295,46	0.60
P5	9 306 602,85	365 333,09	0.20
P6	9 306 697,08	365 196,58	0.64
P7	9 306 686,42	365 235,83	0.00
P8	9 306 672,11	365 273,44	0.52
P9	9 306 657,96	365 310,88	0.10
P10	9 306 644,21	365 348,58	0.30
P11	9 306 715,92	365 203,66	0.86
P12	9 306 737,24	365 233,09	0.80
P13	9 306 730,36	365 251,86	0.30
P14	9 306 723,31	365 270,62	0.46
P15	9 306 716,41	365 289,16	0.50
P16	9 306 709,53	365 308,09	0.70
P17	9 306 965,57	365 134,07	0.60
P18	9 306 983,54	365 124,04	0.30
P19	9 307 035,68	365 095,05	1.20

Nota: Os poços foram interrompidos quando atingiu-se o topo rochoso

4.2.2.2 Modelo Geomecânico do Maciço

Para a elaboração do modelo geomecânico do maciço foram desenvolvidas as seguintes atividades descrição dos testemunhos de sondagens, elaboração de seções geomecânicas e classificação do maciço

A caracterização geotécnica dos testemunhos de sondagem, foi realizada nos furos SM-01 a SM-15 Os furos SM-16, SM-17 e SM-19, localizados em uma das alternativas para o vertedouro não foram utilizados devido à própria mudança na região de implantação da estrutura

Os testemunhos de sondagens foram descritos segundo os critérios sugeridos pela ISRM (International Society for Rock Mechanics - 1981), juntamente com as classificações de Bieniawski (1989)

A Tabela 4 4 apresenta os graus de alteração, a Tabela 4.5 os graus de resistência e a Tabela 4 6 a classificação de Bieniaswiski (1989), adotados na descrição dos testemunhos

TABELA 4.4
GRAUS DE ALTERAÇÃO

GRAU	TERMO	DESCRIÇÃO
A1	Rocha Sã	Alteração mineralógica nula a incipiente. Minerais preservam brilho original, cor e clivagem. Eventual descoloração nas discontinuidades. Foliação visível e selada. Resistência original da rocha não afetada pela alteração.
A2	Rocha Pouco Alterada	Alteração mineralógica perceptível, cores esmaecidas e perda do brilho. Leve descoloração e oxidação na matriz e ao longo das discontinuidades. Foliação visível e selada. Juntas fechadas, paredes ligeiramente alteradas. Resistência original da rocha parcialmente afetada pela alteração.
A3	Rocha Moderadamente Alterada	A matriz apresenta-se descolorida, com evidências de oxidação. Juntas abertas (< 1,0 mm) e oxidadas, podendo ocorrer material mais alterado ao longo das discontinuidades. Foliação realçada pelo intemperismo. Resistência afetada pelo intemperismo.
A4	Rocha Muito Alterada	Alteração mineralógica muito acentuada, alguns minerais parcialmente decompostos em argilo-minerais. Matriz totalmente oxidada e cores muito modificadas. Fraturas abertas (2 < e < 5 mm) e oxidadas, preenchidas por materiais alterados. Foliação realçada pelo intemperismo. Deslocamentos ao longo da foliação. Resistência muito afetada pela alteração.
A5	Rocha Completamente Alterada	Todo o material está completamente alterado para solo estruturado. Extremamente descolorido, minerais resistentes quebrados e outros transformados em argilo-minerais. Foliação preservada. Juntas não discerníveis. Desintegra em água após um período de imersão.

Referência: Adaptado de Brown, 1981 "Suggested Methods for Rock Characterization Testing and Monitoring"- ISRM

TABELA 4.5
GRAUS DE RESISTÊNCIA / COERÊNCIA

GRAU	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS	RESISTÊNCIA UNIAXIAL (σ_c) ESTIMADA (Mpa)
R0	Extremamente Branda e Solo Estruturado Coesivo. Rijo a Duro	<ul style="list-style-type: none"> - Penetrada pela ponta do dedo polegar - Moldada pelas mãos - Facilmente penetrada pelo canivete e martelo de geólogo - Escavada por equipamento manual 	0,25 - 1,0
R1	Muito Branda	<ul style="list-style-type: none"> - Esmigalha-se facilmente sob o impacto de martelo de geólogo - Indentada facilmente pela ponta fina do martelo de geólogo - Riscada e raspada facilmente pelo canivete - Deslocamentos ao longo da foliação sob pressão dos dedos - Bordas dos fragmentos facilmente quebradas pela pressão dos dedos - Pequenos fragmentos (2 x 2 x 2 cm) não quebram sob pressão dos dedos - Escavação por equipamentos mecanizados 	1,0 - 5,0
R2	Rocha Branda	<ul style="list-style-type: none"> - Quebra-se sob único impacto do martelo - Indentação rasa sob impacto firme da ponta fina do martelo de geólogo - As bordas dos fragmentos podem ser quebradas pela pressão dos dedos - A lâmina do canivete provoca sulco acentuado na superfície do fragmento - Podem ser raspadas pelo canivete - Escavação por equipamentos mecanizados, exigindo em alguns casos, fogo de afrouxamento do maciço 	5,0 - 25,0
R3	Medianamente Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Espécimes de mão podem ser quebradas sob poucos golpes firmes do martelo de geólogo - Bordas finas dos fragmentos podem ser quebradas pelas mãos com certa dificuldade - Superfície pouco riscável por lâmina de aço - Não pode ser raspada pelo canivete - Escavada por desmonte a fogo 	25,0 - 50,0
R4	Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Espécimes de mão requerem alguns golpes do martelo para serem quebrados - Bordas dos fragmentos dificilmente quebradas pelas mãos - Superfície dificilmente riscada pelo canivete - Escavada por desmonte a fogo 	50,0 - 100,0
R5	Muito Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Espécimes de mão requerem muitos golpes do martelo para serem quebrados - Fragmentos possuem bordas cortantes que resistem ao corte por lâmina de aço - Superfície praticamente não riscada pelo canivete - Escavada por desmonte a fogo 	100 - 250
R6	Extremamente Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Espécime somente lascados com uso do martelo 	> 250

Referência: Adaptado de Brown, (1981) - "Suggested Methods for Rock Characterization" Janeiro, 2001

TABELA 4.6
SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA RMR (BIENIAWISKI, 1989)

Resistência da rocha intacta	Índice puntiforme	10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Utilizar compressão		
	Compressão simples (MPa)	250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	15 - 25	1 - 15	1
Peso Relativo		15	12	7	4	2	1	0
RQD (%) (Designação de Qualidade da Rocha)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Peso Relativo		20	17	13	8	3		
Espaçamento de fraturas		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600	60 - 200 mm	< 60mm		
Peso Relativo		30	25	10	8	5		
Condições das fraturas		Superfícies muito rugosas, não contínuas, fechadas, paredes moles	Superfícies pouco rugosas, abertura < 1 mm, paredes duras	Superfícies pouco rugosas, abertura < 1 mm, paredes moles	Superfícies estriadas ou preenchimento < 5 mm ou abertura 1 - 5 mm	Preenchimento mole > 5 mm ou abertura > 5 mm, contínuas		
Peso Relativo		30	25	20	10	0		
Água subterrânea	Infiltração em 10 m de túnel	Nenhuma (ou)	< 1 0	< 25 (ou)	25 - 125 (ou)	> 125 (ou)		
	Relação: [pressão de água na fratura /tensão principal máxima]	0 (ou)	< 0.1	0.1 - 0.2 (ou)	0.2 - 0.5 (ou)	0.5 (ou)		
	Condições gerais	Completamente seco		Umidade	Água sob pressão moderada	Problemas graves de água		
Peso Relativo		10		7	4	0		
Ajuste para orientação das descontinuidades								
Direção e mergulho		Muito favorável	Favorável	Aceitável	Destavorável	Muito desfavorável		
Peso Relativo	Túneis	0	-2	-5	-10	-12		
	Fundações	0	-2	-7	-15	-50		
	Taludes	0	-2	-25	-50	-60		
Classes do maciço rochoso								
Classe	I	II	III	IV	V			
Descrição	Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Muito pobre			
Soma dos Pesos	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20			
Significado das classes								
Classe	I	II	III	IV	V			
Tempo médio de auto-sustentação	10 anos	6 meses	1 semana	5 horas	10 minutos			
Vão da seção (m)	15	10	5	2.5	1,0			
Coesão (KPa)	> 400	400 - 300	300 - 200	200 - 100	< 100			
Ângulo de atrito (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15			

4.2.2.2.1 Classificação Geomecânica do Maciço Rochoso

Para a classificação geomecânica do maciço foi utilizada a classificação de Bieniawski apresentada na Tabela 4.6

A Tabela 4.7 apresenta a classificação de Bieniawski, valores do RMR, e os respectivos termos descritivos

TABELA 4.7

CLASSES DE MACIÇO

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE BIENIAWISKI E BARTON

CLASSE	I	II	III	IV	V
RMR	100 - 80	80 - 60	60 - 40	40 - 20	20 - 0
TERMO DESCRITIVO	Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Solo / rocha alterada

4.2.2.2.2 Estratos Geomecânicos do Maciço

O modelo geomecânico da região de implantação da Barragem de Arneiróz-II, elaborado com base na caracterização dos testemunhos de sondagem e nas seções geomecânicas, demonstrou que existem 3 classes geomecânicas principais no maciço rochoso

- Classe V - Estrato Superior - constituído por solo residual, saprolito e aluvião, com resistência muito branda (R1), e material extremamente alterado (A5), ocorrendo com espessuras muito reduzidas, variando de algumas dezenas de centímetros a poucos metros, nas regiões das ombreiras, a pouco mais de quatro metros na região do leito do Rio Jaguaribe
- Classe III-IV - Estrato Intermediário - correspondendo maciço rochoso muito fraturado (F4) a extremamente fraturado (F5), composto por rochas medianamente resistentes a resistentes (R3 e R4) e pouco alteradas (A2) a medianamente alteradas (A3) Em termos práticos, o critério mais marcante para este limite de classe foi o grau de alteração por ser este mais marcante e mensurável
- Classe II - Estrato inferior correspondente ao maciço rochoso bom a muito bom, pouco fraturado, muito resistente (R5), composta por rocha sã (A1)

4.2.2.3 Condições de Fundação e Tratamentos Previstos

As condições de fundação da barragem e do vertedouro podem ser consideradas boas. O grau de fraturamento do maciço, em geral, é maior nos primeiros metros superficiais, condicionados pelo alívio de tensões gerado pela erosão do vale. Entretanto, é conveniente salientar que as

sondagens e ensaios de perda de água executados não identificaram nenhuma feição geológica importante, como juntas de alívio, que pudessem condicionar maiores precauções quanto ao tratamento de fundação

A fundação do vertedouro será constituída, parte em maciço tipo III/IV e parte em maciço tipo II. O maciço tipo III/IV, nesta região, apresenta grau de fraturamento F4 e perda de água da ordem de 2 l/mxmxkg/cm^2 , o que significa perda de água mediana. Já o maciço tipo II apresenta grau de fraturamento variável, de F1 a F4, e perdas de água variando entre zero e $1.0 \text{ l/mxmxkg/cm}^2$, o que significa baixa perda de água. Em ambos os trechos, os resultados descritos indicam que a maior parte das fraturas se encontram fechadas

Na ombreira direita, entre o vertedouro e o leito do rio, a barragem terá como fundação os maciços tipo III/IV e II. Nesta região, os dois tipos de maciço apresentam majoritariamente, grau de fraturamento F3. As perdas de água foram baixas, da ordem de $1.0 \text{ l/mxmxkg/cm}^2$

No leito do rio, o maciço apresenta grau de fraturamento F4 para o maciço tipo III/IV e grau de fraturamento F2, para o maciço tipo II. Nesta região, as perdas de água foram mais elevadas, sendo determinadas perdas da ordem de $8.0 \text{ l/mxmxkg/cm}^2$

Na ombreira esquerda, a barragem será apoiada no maciço tipo III/IV em toda a sua extensão. Distinguem-se para esta região dois trechos: o primeiro entre o leito do rio e a estaca 58+00, onde a perda de água foi elevada (perda da ordem de $9.0 \text{ l/mxmxkg/cm}^2$), e o segundo da estaca 58+00 até o final da barragem, onde as perdas foram médias (perdas da ordem de $2.0 \text{ l/mxmxkg/cm}^2$). Observa-se que a sondagem SR-01, executada na campanha de investigações do projeto elaborado pelo DNOCS em 1992, apresentou excessiva perda de água, não condizente com o restante dos ensaios executados. As perdas determinadas, da ordem de $160.0 \text{ l/mxmxkg/cm}^2$, também não se correlacionam com os graus de fraturamento e alteração do maciço tipo II. Assim sendo, os resultados deste ensaio não foram considerados

Das condições descritas, conclui-se da necessidade de adoção de uma cortina de injeções de impermeabilização para homogeneizar as permeabilidades e eliminar os maiores valores de perda de água. Esta cortina de injeções poderá ser iniciada com os furos exploratórios espaçados a cada 12,00 m, e prosseguir fechando o espaçamento nos pontos onde os ensaios de perda de água apresentarem absorções maiores que 5 l/mxmxkg/cm^2 . Tendo em vista que não há nenhum condicionante geológico importante, a profundidade dos furos deverá ser de 0,4 h, sendo h a carga hidráulica sobre a fundação. Assim os furos da cortina exploratória terão profundidade máxima de 12,0 m. A esta cortina de injeções de impermeabilização deverão ser associadas duas linhas de furos rasos, uma a montante e outra a jusante, com profundidade de 4,00 m e espaçados a cada 6,00 m, para injeção de fraturas mais frequentes, à pequena profundidade

4.2.2.4 Materiais Naturais de Construção

Este item trata do estudo das fontes de obtenção, das propriedades geotécnicas e da aplicabilidade dos materiais naturais de construção às diversas partes da obra

4.2.2.4.1 Materiais Terrosos

Próximo ao eixo do barramento, as ocorrências de solos são escassas, não tendo sido identificada no reconhecimento de campo, nenhuma área potencialmente aproveitável como área de empréstimo. No entorno do eixo é generalizada a ocorrência de solo residual de gnaiss, cuja espessura varia de 0,50 a 1,00 m, nas ombreiras. No leito do rio ocorrem aluviões silto arenosos com espessuras variáveis, atingindo até 4,00 m.

Áreas com ocorrências de solos coluvionares, com características adequadas à construção de barragens, foram identificadas na área do reservatório, a distâncias que variam de 5,00 a 8,00 km. Nestas áreas, o capeamento de solo também é pouco espesso, apresentando espessura média da ordem de 0,50 m de material aproveitável. Assim, extensas áreas tiveram de ser pesquisadas, para obtenção de material em volume suficiente para execução do maciço.

A investigação dos empréstimos foi executada apoiada nos trabalhos de mapeamento geológico, que identificaram os locais onde ocorrem os depósitos mais promissores. Nestes locais foram executados poços de investigação, distanciados a cada 200 m. Assim, foram selecionadas três áreas de empréstimo, cujas características são apresentadas a seguir.

Os volumes cubados nas três áreas estudadas são apresentados nas Tabelas 4.8 a 4.10. No Volume 3 A, anexo deste relatório, são apresentados os boletins de sondagem e os resultados dos ensaios geotécnicos de laboratório.

TABELA 4.8

ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 - PROPRIETÁRIO: JOAQUIM QUINCAS

Área estudada	840 126 m ²
Nº de poços executados	31
Espessura média do expurgo	0,10 m
Espessura média de mat. Utilizável	0,55 m
Volume de material utilizável	457 400 m ³
Volume de expurgo	89 300 m ³
Distância ao eixo da barragem	5,45 km

TABELA 4.9

ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 - PROPRIETÁRIO: JENIVAL BENÍCIO

Área estudada	760 650 m ²
Nº de poços executados	29
Espessura média do expurgo	0.10 m
Espessura média de mat Utilizável	0.52 m
Volume de material utilizável	401 900 m ³
Volume de expurgo	83 400 m ³
Distância ao eixo da barragem	7.0 km

TABELA 4.10

ÁREA DE EMPRÉSTIMO 3 - PROPRIETÁRIO: ANTÔNIO FICO

Área estudada	1 599 295 m ²
Nº de poços executados	55
Espessura média do expurgo	0.10 m
Espessura média de mat Utilizável	0.52 m
Volume de material utilizável	792 100 m ³
Volume de expurgo	167 500 m ³
Distância ao eixo da barragem	8.63 km

A Tabela 4.11 apresenta o resumo do volume cubado nas três áreas selecionadas

TABELA 4.11

RESUMO DOS VOLUMES DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO

LOCAL	Volume (m ³)	
	Utilizável	Expurgo
Área de empréstimo 1	457 400	89 300
Área de empréstimo 2	401 900	83 400
Área de empréstimo 3	792 100	167 500
Volume Total	1 651 400	340 200

A localização das áreas de empréstimo e dos respectivos poços de investigação estão indicados no desenho nº II-3-05/05-000

As principais características dos solos coluvionares dos empréstimos são apresentadas nas Tabelas 4.12 a 4.14 – Resumo dos Ensaio de Caracterização, na Figura 4.1 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Curvas de Distribuição Granulométrica, na Figura 4.2 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Compactação – Proctor Normal e na Figura 4.3 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Carta de Plasticidade

TABELA 4.12
ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 – RESUMO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Peneira		GRANULOMETRIA											
		Poço de Investigação N°											
		1	4	8	14	18	19	21	23	24	26	29	39
2	Percentagem Passante (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11/2		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2		98	99	100	100	97	100	99	100	99	100	99	99
3/8		95	98	100	100	96	99	97	100	97	99	98	98
N° 4		92	92	97	100	93	98	95	95	91	96	97	93
N° 10		86	86	93	99	88	94	90	90	86	90	96	85
N° 40		72	74	81	93	74	80	66	74	75	73	86	68
N° 200		50	54	61	66	53	52	37	48	45	38	56	45
<0,005		15	17	20	28	19	17	11	17	15	12	16	13
LIMITES DE ATTERBERG													
Lim. de Liquidez LL - (%)		35	35	36	37	36	37	34	35	35	34	36	34
Lim. de Plasticidade LP - (%)		20	19	18	18	20	20	22	20	21	22	19	21
Índice de Plasticidade I.P. (%)		15	16	18	19	16	17	12	15	14	12	17	13
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.													
Classificação U.S.C.S.		SC	CL	CL	CL	CL	CL	SC	SC	SC	SC	CL	SC
COMPACTAÇÃO													
Densidade Seca (máx.) - $\gamma_{d,máx}$ (%)		2,028	1,82	1,568	1,6	1,725	1,799	1,866	1,802	1,866	1,928	1,72	1,846
Umidade ótima - $h_{úm}$ (%)		17,5	14,3	15,9	17,7	13,7	13,3	13	13,5	11,3	11,2	15,5	13,6
Umidade Natural - h (%)		17,57	17,6	12,19	6,67	10,63	11,44	13,42	11,64	9,89	11,15	12,91	13,7

TABELA 4.13
ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 – RESUMO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Peneira		GRANULOMETRIA									
		Poço de Investigação N°									
		3	7	9	10	13	15	17	19	21	24
2	Percentagem Passante (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11/2		100	100	100	100	100	100	100	93	100	100
1		98	97	100	99	100	100	93	100	100	100
3/4		97	96	100	97	100	100	92	100	98	97
1/2		95	95	97	94	99	96	89	99	96	96
3/8		93	94	96	92	97	93	87	98	95	94
N° 4		90	91	94	87	85	83	82	95	91	91
N° 10		84	86	92	80	70	71	73	91	84	87
N° 40		69	74	86	65	54	56	60	77	71	79
N° 200		40	49	63	51	41	37	39	53	56	62
<0,005		10	12	18	15	8	7	9	16	17	17
LIMITES DE ATTERBERG											
Lim. de Liquidez LL - (%)		29	30	32	31	29	30	30	31	31	31
Lim. de Plasticidade LP - (%)		21	20	19	17	19	20	21	19	18	19
Índice de Plasticidade I.P. (%)		8	10	13	14	10	10	9	12	13	12
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.											
Classificação U.S.C.S.		SC	SC	CL	CL	SC	SC	SC	CL	CL	CL
COMPACTAÇÃO											
Densidade Seca (máx.) - $\gamma_{d,máx}$ (%)		1,97	1,794	1,765	1,832	1,906	1,933	1,868	1,77	1,793	1,77
Umidade ótima - $h_{úm}$ (%)		10,4	14,6	14,3	13,9	12	12,3	14,5	17	15	16
Umidade Natural - h (%)		9,91	11,7	11,65	6,64	7,03	12,31	14,02	8,66	7,16	16,61

TABELA 4.14
ÁREA DE EMPRÉSTIMO 3 - RESUMO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

GRANULOMETRIA																					
Peneira		Poço de Investigação N°																			
		1	4	7	10	12	16	19	22	23	25	27	30	34	37	39	41	45	47	49	52
2"	Porcentagem Passante (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
1 1/2"		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
1"		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
3/4"		100	97	100	100	100	99	96	100	100	100	98	98	99	97	98	98	98	97	100	100
1/2"		100	95	99	100	100	99	92	99	100	100	98	98	97	93	95	92	96	93	98	100
3/8"		100	94	98	98	100	98	88	98	99	100	97	98	94	89	91	88	93	89	97	100
N° 4		98	91	94	95	99	94	85	94	97	99	97	96	83	77	85	77	88	84	94	97
N° 10		92	85	83	92	96	91	84	91	92	93	95	91	68	70	77	63	86	78	89	91
N° 40		60	69	56	83	77	80	62	81	77	68	60	78	35	53	59	39	66	50	61	66
N° 200		35	47	34	56	37	53	35	57	51	37	33	38	19	33	37	29	42	23	38	41
<0,005	11	15	10	25	13	23	14	27	20	14	10	15	6	11	13	10	16	7	18	15	
LIMITES DE ATTERBERG																					
Lim. de Liquidez LL - (%)	34	38	34	38	36	37	34	39	39	35	33	33	29	31	35	31	36	30	35	35	
Lim. de Plasticidade - LP (%)	23	22	23	21	22	20	22	21	22	22	23	22	23	23	22	23	21	23	21	22	
Índice de Plasticidade (%)	11	16	11	17	14	17	12	18	17	13	10	11	6	8	13	8	15	17	14	13	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																					
Classificação U.S.C.S.	SC	SC	SC	CL	SC	CL	SC	CL	CL	SC	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SC	
COMPACTAÇÃO																					
Densidade Seca (máx) - $\gamma_{s(máx)}$	1,85	1,82	1,91	1,69	1,69	1,710	1,86	1,63	1,86	1,88	1,83	1,900	1,92	1,88	1,84	1,860	1,82	1,89	1,79	1,89	
Umidade ótima - $h_{ótima}$ (%)	12,5	13,5	11,7	17,3	12	17	14	17,6	13,6	12,3	13,7	10,7	9,7	12,2	14,4	13,2	10,5	10,1	14,2	12,5	
Umidade Natural - h (%)	14,3	14,6	11,3	16,7	11,8	16,21	12,8	16	12,6	11,1	11,6	9,47	7,53	9,81	12,7	11,73	8,47	8,32	11,5	10,4	

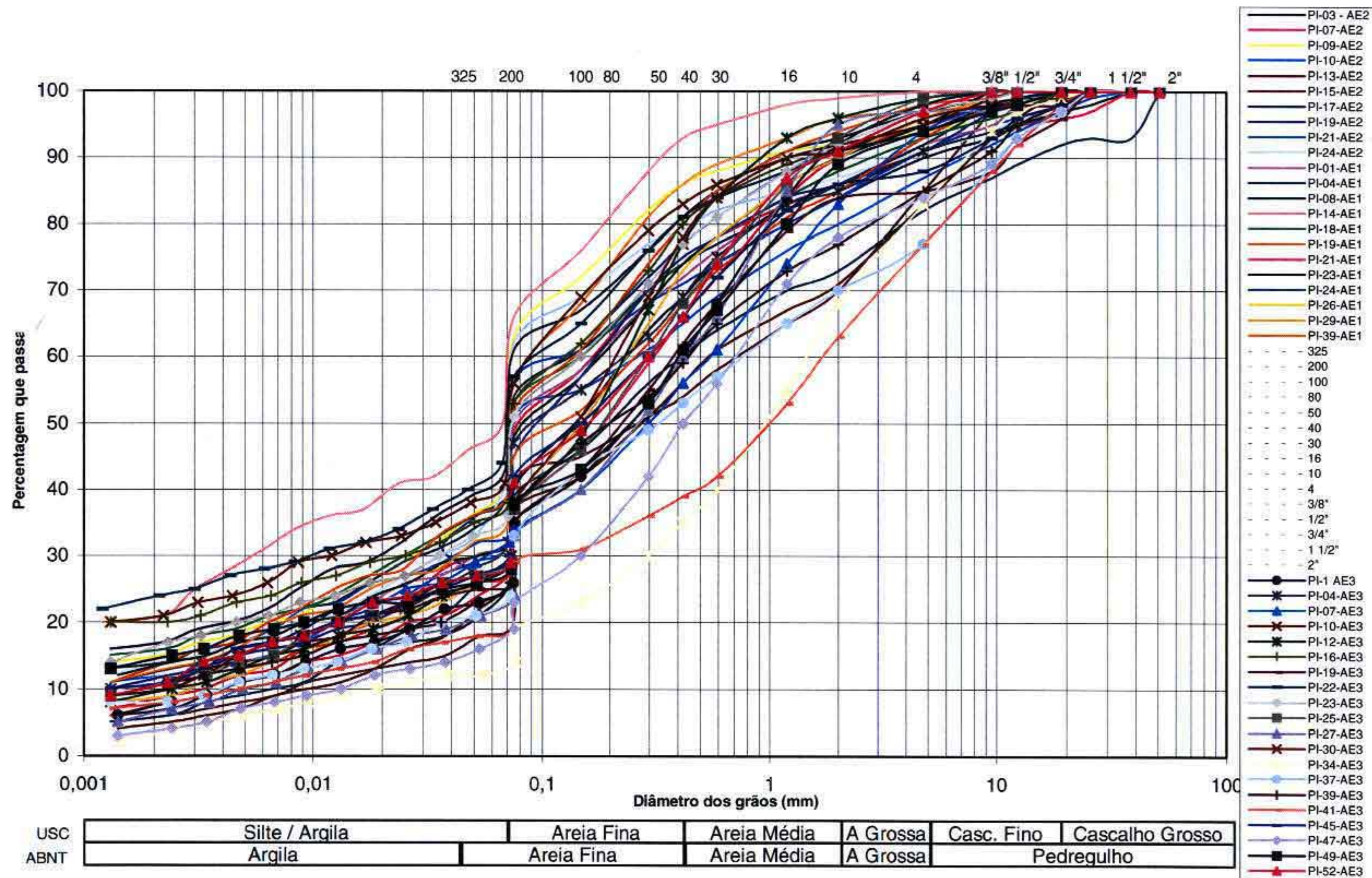


FIGURA 4.1 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Curvas de Distribuição Granulométrica

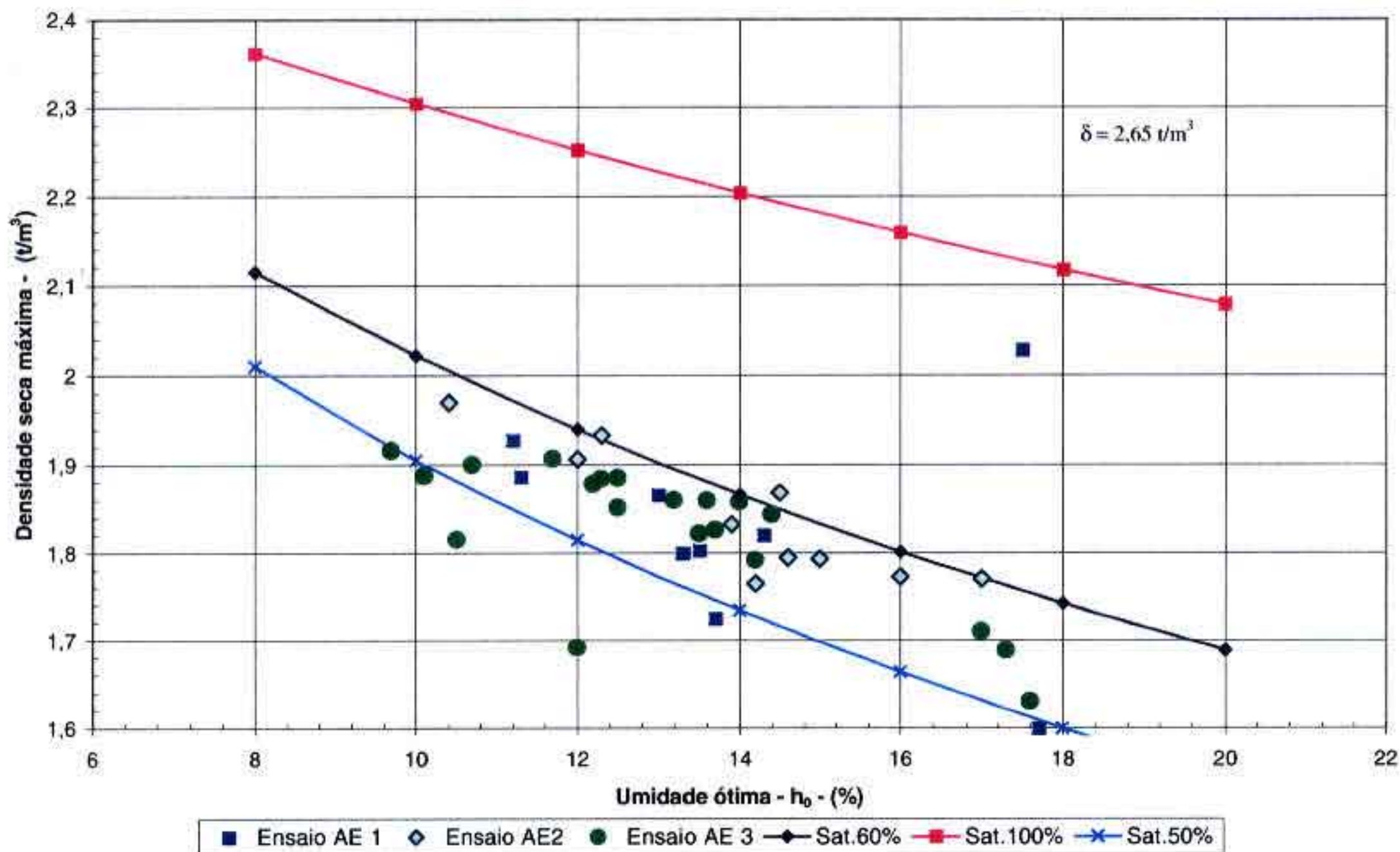


FIGURA 4.2 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Compacção Proctor Normal

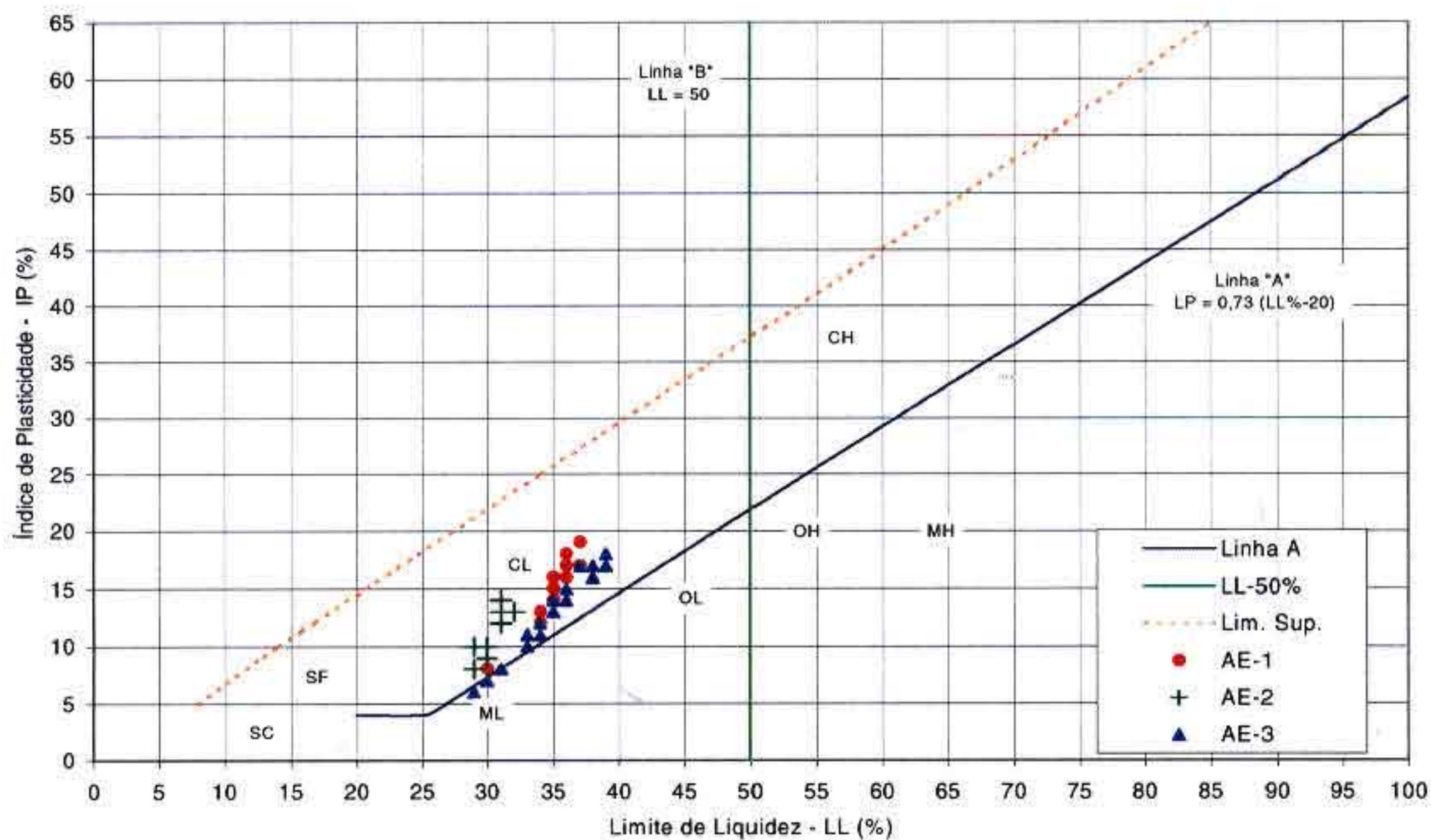


FIGURA 4.3 – Áreas de Empréstimos 1, 2 e 3 – Carta de Plasticidade

Os solos ocorrentes, classificados segundo a USCS, correspondem a solos areno argilosos e argilosos de baixa plasticidade e pouco compressíveis. A análise das curvas de distribuição granulométrica e da carta de plasticidade revela que os solos das três áreas selecionadas são razoavelmente uniformes.

No respeitante à umidade natural, esta se apresenta, em geral, inferior à umidade ótima para compactação determinada no ensaio de Proctor Normal, o que exigirá tratamento corretivo de umidificação para enquadrar os solos na faixa de umidade adequada à compactação. Salienta-se que as amostras foram coletadas nos meses de março e abril, período de chuvas na região, e que nos meses de verão, a umidade natural certamente apresentará valores mais baixos.

Quanto ao tratamento corretivo de umidificação, este poderá ser executado na praça de trabalho do maciço ou na própria área de empréstimo. É conveniente aqui salientar que, o tratamento na praça de trabalho tem o inconveniente de provocar o ressecamento superficial do solo quando as operações de gradeamento se estendem por longos períodos. Tal fato propicia a formação de películas endurecidas, que dificultam o destorroamento e o umedecimento homogêneo do material.

Os ensaios de permeabilidade, em permeâmetro de carga variável, revelaram para as áreas de empréstimo, os seguintes valores médios para o coeficiente de permeabilidade:

- Empréstimo nº 1 $k = 8,53 \times 10^{-7}$
- Empréstimo nº 2 $k = 7,00 \times 10^{-7}$
- Empréstimo nº 3 $k = 6,18 \times 10^{-7}$

Observa-se também através da permeabilidade, uma excelente uniformidade dos solos das três áreas selecionadas como fonte de material para construção do maciço.

No respeitante à resistência ao cisalhamento, foram ensaiadas três amostras de solos compactados dos empréstimos em câmara triaxial, na condição não drenada, tanto na umidade de compactação, como na saturada. Os resultados destes ensaios forneceram valores muito baixos e discrepantes para c' e ϕ' , considerando os diversos tipos de ensaios (Q , \hat{R} , \hat{R}_{sat}). Assim sendo, estes ensaios não foram considerados. Já os ensaios de cisalhamento direto forneceram valores bastante coerentes entre os diversos ensaios realizados. O confronto entre os valores de c' e ϕ' , obtidos nos ensaios de cisalhamento direto, com dados de ensaios pesquisados na literatura, permitiram estabelecer os valores de c' e ϕ' a serem utilizados nos estudos e análises de estabilidade da Barragem Arneiroz II. Foram adotados então os valores de $c' = 20$ kPa e $\phi' = 28^\circ$.

4.2.2.4.2 Materiais Granulares

Dois extensos bancos de areia foram identificados a montante do eixo do barramento, no leito do rio. O primeiro banco de areia inicia-se a 500 m do eixo da barragem e possui extensão de 1,6 km. Este banco foi denominado Jazida nº 1, e o seu volume disponível foi estimado em 120.000 m^3 . O segundo banco de areia inicia-se a 3,2 km do eixo da barragem e possui extensão de 1,0 km. Este banco foi denominado Jazida nº 2 e o seu volume disponível é de 288.000 m^3 . O

volume total de areia disponível é de 408.000 m³, sendo suficiente para o atendimento às necessidades da obra.

A exploração da areia será bastante facilitada, considerando que, na maior parte do ano, os bancos não estão submersos.

Na Figura 4.4 são apresentadas as curvas de distribuição granulométrica da areia disponível nas Jazidas 1 e 2. A análise destas curvas mostra que os materiais dos dois bancos apresentam-se bastante uniformes, e do ponto de vista granulométrico, adequados para aplicação tanto nos filtros da barragem, quanto como agregado para concreto.

Quanto à permeabilidade, os ensaios no permeâmetro de carga constante revelaram os seguintes valores médios para o coeficiente de permeabilidade :

- Jazida 1 - $k = 4,75 \times 10^{-3}$ cm/s
- Jazida 2 - $k = 5,36 \times 10^{-3}$ cm/s

Observa-se também para as areias das duas jazidas, um comportamento bastante uniforme, no respeitante à permeabilidade, o que as qualifica como material para construção do sistema de drenagem interna da barragem.

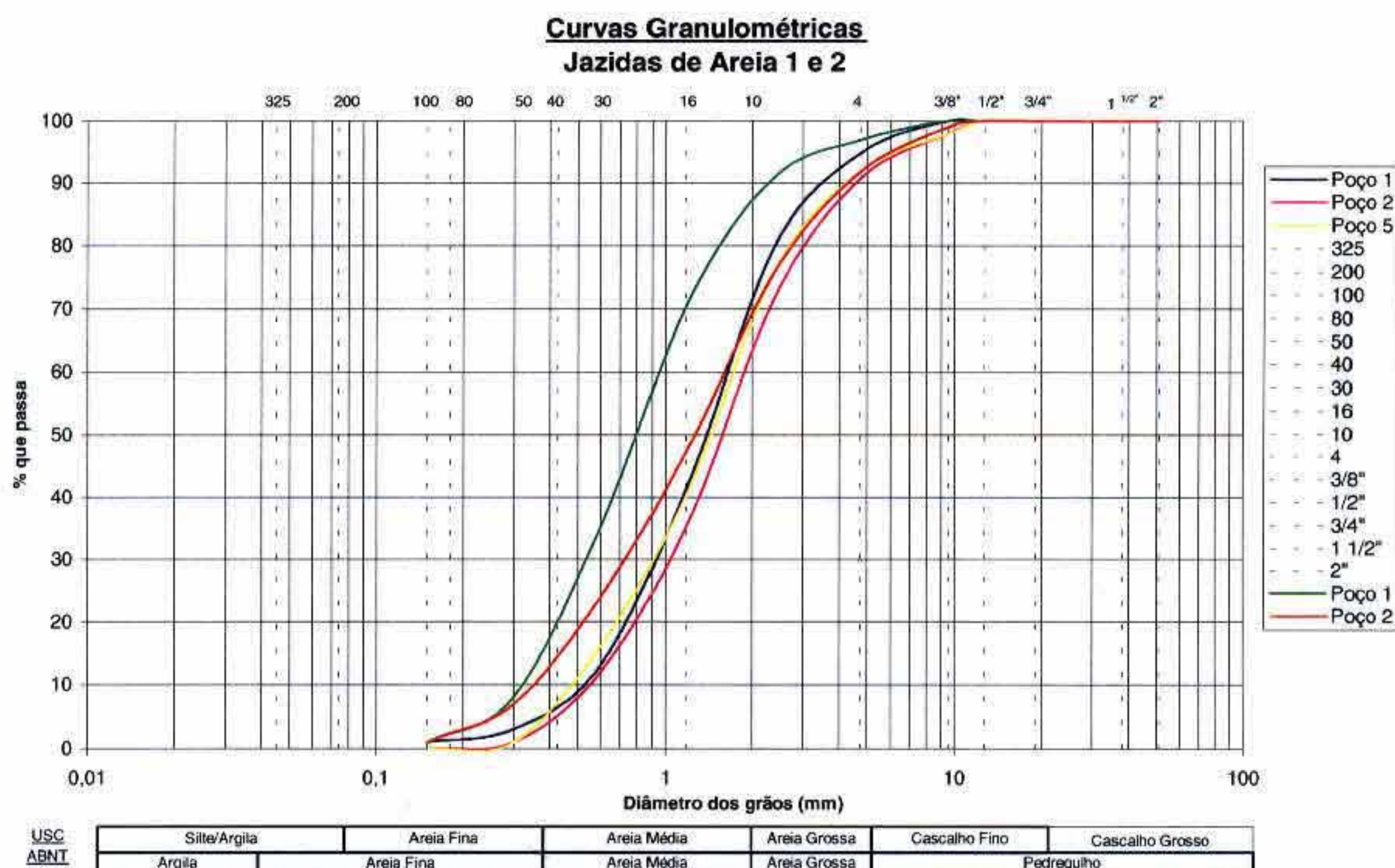


FIGURA 4.4 – Jazidas 1 e 2, curvas de distribuição granulométrica da areia

As curvas granulométricas mostram que cerca de 8 % do material é maior do que a peneira nº 4, o que acarretará o seu peneiramento para aplicação nos concretos.

4.2.24.3 Material Pétreo

A obtenção de material pétreo, tanto para construção de uma barragem de enrocamento quanto para produção de agregados para concreto não será problema, uma vez que o capeamento de solo nas vizinhanças do barramento tem pequena espessura e diversos afloramentos de rocha foram identificados ao longo da margem direita do rio, a montante do eixo da barragem. Dentre estes afloramentos, foi identificado um de grandes proporções, distante 1,5 km do eixo da barragem, cujo volume é de 360 000 m³. No caso de se optar por uma barragem de enrocamento, será necessário complementar uma pequena parte deste volume. Para tal, será necessário explorar uma Segunda pedreira, também no lado montante do eixo. Esta pedreira poderá ser aberta na margem direita, logo no início da ombreira, onde, conforme mostraram as sondagens, o topo rochoso é bem superficial.

As características visíveis da rocha e sua correlação com litologias semelhantes permitem afirmar que a alterabilidade do gnaiss é incipiente na escala da vida útil da obra. A resistência à compressão simples é alta e a perda máxima por abrasão, determinada no ensaio de Abrasão Los Angeles, graduação F, foi de 19,5 %, bem abaixo do limite especificado pela norma NBR 6465/84 da ABNT, que é de 50%. Assim, a rocha apresenta condições de aplicação tanto para agregado graúdo para concreto, quanto para enrocamento.

4.3 Estudos Hidrológicos

Neste item são apresentadas as atividades relacionadas aos estudos hidrológicos, que foram elaborados especificamente para a definição das grandezas básicas do empreendimento, incorporando as recomendações do Painel de Inspeção.

Através dos estudos hidrológicos, foram definidos elementos que permitiram concretizar as dimensões principais das obras, além de subsidiar as análises de remanso e vida útil do reservatório.

4.3.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica

Empregando a base cartográfica disponível, em escala 1 250 000 (folhas SB-24-Y-B, Iguatu, SB-24-V-C, Crateús, SB-24-V-D, Quixeramobim, e SB-24-Y-A, Valença do Piauí), elaboradas pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército, foi feita a delimitação da bacia hidrográfica e calculados os principais parâmetros físicos da bacia do Alto Jaguaribe, a montante do local do eixo da Barragem Arneiroz II, que estão resumidos a seguir:

- Área de Drenagem $A = 5\,342 \text{ km}^2$,
- Comprimento do talvegue principal $L = 125.75 \text{ km}$,

- Declividade média equivalente $S_e = 0,00156$ m/m,
- Perímetro da bacia $P = 392,50$ km,
- Coeficiente de compacidade $k_c = 1,51$
- Fator de forma. $k_f = 0.34$
- Tempo de concentração: $t_c = 38$ h

Os aspectos geológicos e geomorfológicos da bacia foram analisados em detalhe, visando a caracterização hidrológica dos solos e a associação com taxas de escoamento superficial. Conforme destacado no item 4.2, a predominância na bacia de unidades estruturais do Complexo Cristalino condiciona a ocorrência de solos pouco permeáveis os quais, associados a um relevo moderado a forte, contribuem para a geração de hidrogramas de cheias com vazões de pico acentuadas, durante o período chuvoso.

Associando, assim, as características de relevo com os tipos de solo e de vegetação dominante na bacia (SETZER e PORTO, 1979), foram definidos valores para o parâmetro CN (número da curva índice) da metodologia do SCS – Soil Conservation Service, empregada nos estudos de modelagem hidrológica, para o cálculo da precipitação efetiva. Os valores obtidos para CN variaram de 63,2 a 63,8, para a Condição II de umidade antecedente do solo, sendo majorados para a Condição III (valores variando de 79,8 a 80,2), para aplicação nas rotinas de geração das cheias de projeto.

4.3.2 Caracterização Climatológica

O clima do Estado do Ceará e, particularmente, da bacia do Alto Jaguaribe, pode ser caracterizado pelas massas de ar que predominam na região. Segundo NIMER (1979), na maior parte do tempo, entre os meses de julho a dezembro, o Estado fica influenciado pela massa Equatorial atlântica (mEa), de características estáveis. A partir de janeiro, a mEa começa a se deslocar, pelo avanço da Convergência Intertropical (CIT) em direção ao Hemisfério Sul, permitindo a instabilidade da atmosfera e a consequente indução de precipitações.

A mEa é constituída pelos ventos alísios de direção predominante SE, formados pelo anticiclone semifixo do Atlântico Sul, que apresenta uma extensa abrangência, desde a costa oeste da África até o litoral e a Região Sudeste brasileira. O anticiclone é dominado pela subsidência do ar quente e seco das latitudes tropicais, assegurando pressões atmosféricas elevadas e inversão térmica em baixa altitude. Todas essas características são condicionantes de tempo estável, impedindo a ascensão das massas de ar úmidas e a formação de precipitações. Nos períodos de domínio da mEa, pode ocorrer alguma instabilidade atmosférica apenas na orla do litoral brasileiro e nas regiões de relevo mais acentuado.

A CIT é formada pela faixa de convergência dos ventos alísios dos Hemisférios Norte e Sul, circundando todo o globo terrestre, mais ou menos em torno do Equador. O encontro dos ventos alísios causa uma grande descontinuidade térmica, de natureza frontogenética, com ascensão permanente das massas de ar e formação de uma extensa faixa de baixas pressões atmosféricas, condicionando a ocorrência de altos índices pluviométricos.

A partir do mês de janeiro, o intenso resfriamento do Hemisfério Norte impulsiona a CIT para o sul, iniciando o processo de instabilidade atmosférica no Estado do Ceará. Entretanto, é no período de março a maio que o anticiclone do Atlântico Sul desloca-se mais para leste, permitindo o maior avanço da CIT sobre o Estado, quando então tem lugar a estação chuvosa na bacia do Alto Jaguaribe.

Com base na marcha sazonal das variáveis precipitação e temperatura, o clima da região de interesse pode ser classificado como tropical quente e semi-árido, com ocorrência de 7 a 8 meses secos no ano. A precipitação média anual na bacia é da ordem de 600 mm, sendo a temperatura média de 24°C, com extremos absolutos máximos e mínimos de 38°C e 12°C, respectivamente. Do total anual precipitado, um percentual de 65% estão concentrados em apenas 3 meses consecutivos, de fevereiro a abril. O período seco abrange o período de maio a dezembro.

A estação climatológica de Tauá foi considerada como representativa do clima da região de interesse, pelo fato de estar localizada na porção central da bacia de contribuição à Barragem Arneiroz II., apresentando como valores de precipitação e evaporação média anual os valores de 544 mm e 2691 mm, respectivamente. A Tabela 4.15 resume os valores médios mensais das variáveis climatológicas de maior relevância.

TABELA 4.15

NORMAIS DA ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE TAUÁ

MÊS	PRECIPITAÇÃO (mm)	EVAPORAÇÃO (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	INSOLAÇÃO (horas)	DIREÇÃO VENTO
JAN	62,0	214	62	178	Se
FEV	84,0	134	68	144	Se
MAR	155,0	290	73	164	E
ABR	117,0	122	74	184	Se
MAI	48,0	133	70	201	Se
JUN	17,0	184	61	230	Se
JUL	9,0	219	55	252	Se
AGO	4,0	243	50	261	Se
SET	2,0	271	46	254	Se
OUT	5,0	304	47	254	E
NOV	12,0	293	46	232	Se
DEZ	29,0	284	50	196	E
ANUAL	544,0	2691	-	2550	-

Se – sudeste
E - este

Fonte: PERH/CE (SRH/CE, 1992)

Os registros diários de temperatura podem ser sintetizados nos valores de média compensada, de média das máximas e de média das mínimas. A Tabela 4.16 resume esses valores, para a estação climatológica de Tauá.

TABELA 4.16
DADOS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE TAUÁ

MÊS	MÉDIA COMPENSADA (°C)	MÉDIA DAS MÁXIMAS (°C)	MÉDIA DAS MÍNIMAS (°C)
JAN	27,2	32,2	22,7
FEV	26,0	31,0	22,0
MAR	25,9	30,7	22,1
ABR	25,1	30,6	21,3
MAI	24,4	30,3	20,7
JUN	24,8	30,7	19,5
JUL	25,2	31,2	19,8
AGO	26,2	32,3	20,8
SET	27,4	33,5	22,0
OUT	28,0	33,9	22,8
NOV	28,2	33,8	23,0
DEZ	28,0	33,3	23,1
ANUAL	26,4	32,0	21,7

Fonte: PERH/CE (SRH/CE, 1992)

Com as variáveis climatológicas sintetizadas nas Tabelas 4.15 e 4.16, os estudos contidos no PERH/CE permitiram a elaboração do balanço hídrico, pelo método de Thornthwaite, que indicou valores de 65,3% para o índice de aridez, 0,0 para o índice efetivo de umidade e -39,2% para o índice hídrico global, permitindo assim uma classificação climática do tipo DdA'a' (D – clima semi-árido com índice efetivo de umidade entre -20% a -40%; d – indica nenhum excesso de água no decorrer do ano; A' – clima megatérmico, com temperaturas médias mensais sempre superiores a 18°C; a' – baixa variação estacional na evapotranspiração).

4.3.3 Caracterização Pluviométrica

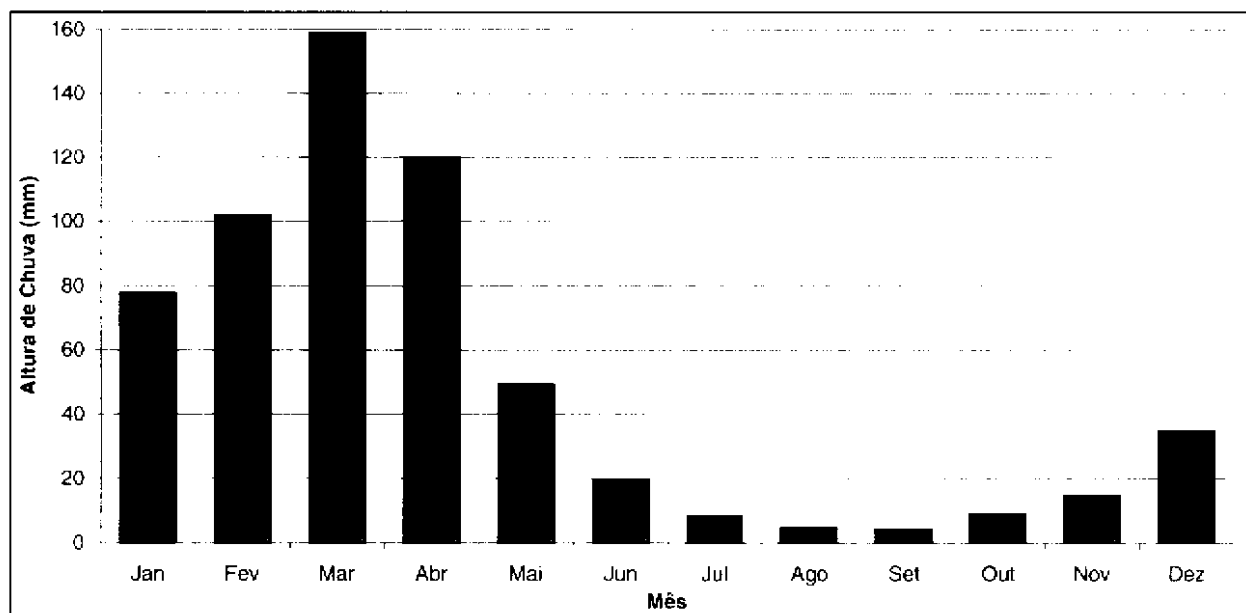
Para a caracterização do regime pluviométrico da bacia do Alto Jaguaribe, em termos de isoietas médias anuais, foram selecionadas as estações pluviométricas com maiores comprimentos de histórico de dados. Essas estações encontram-se listadas na Tabela 4.17.

TABELA 4.17
ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS

CÓDIGO	ESTAÇÃO	ENTIDADE OPERADORA	PERÍODO DE DADOS
00540007	Iapi	DNOCS	1934 – 1990
00539030	Fazenda São Gerônimo	DNOCS	1932 – 1988
00540006	Boa Esperança	SUDENE	1962 – 1976
00540002	Coutinho	DNOCS	1934 – 1989
00540017	Santo Antônio	DNOCS	1932 – 1994
00540015	Açude Várzea do Boi	DNOCS	1955 – 1989
00640009	São Martinho	SUDENE	1962 – 1987
00640010	Marrecas	DNOCS	1932 – 1980
00639015	Catarina	DNOCS	1932 – 1987
00640005	Estreito	SUDENE	1961 – 1990
00640015	Parambu	DNOCS	1932 – 1995
00640003	Arneiroz	ANEEL	1910 – 1999

As estações pluviométricas selecionadas tiveram utilização também na análise da distribuição espacial da chuva do ano de 1974, responsável pela gênese de uma das maiores cheias registradas na bacia do rio Jaguaribe.

Considerando a estação pluviométrica de Arneiroz como representativa da área de inserção da bacia hidráulica do futuro reservatório, a Figura 4.5 mostra a variação sazonal dos totais médios mensais de precipitação. Essa variação, que também ocorre nas demais estações, é função principal das características do clima, conforme descrito no item 4.3.2. O período mais chuvoso concentra-se entre os meses de março a maio, quando precipitam cerca de 65% do total anual. Os meses de agosto a novembro são os mais secos, com valores pouco expressivos de precipitação.


Figura 4.5 – Histograma de Chuva Mensal da Estação Pluviométrica Arneiroz

Fonte: PERH/CE (SRH/CE, 1992)

4.3.4 Estudos de Regularização

A caracterização do regime fluviométrico do rio Jaguaribe, no local de implantação da Barragem Arneiroz II, foi elaborada com a finalidade de definir o potencial de regularização do aproveitamento, em termos de garantir descargas firmes nos meses de estiagem ou de aumentar a eficiência operacional do reservatório do Açude Orós.

A metodologia de cálculo (CAMPOS, 1996) baseou-se em simulações da operação dos reservatórios, empregando séries sintéticas de vazões afluentes. Como resultado, obteve-se a vazão regularizada para diversas alturas de acumulação (ou volume útil de regularização) no reservatório da Barragem Arneiroz II, bem como foi possível estimar os impactos causados na descarga regularizada pelo Açude Orós, em função da retenção de volumes a montante.

As vazões afluentes aos reservatórios da Barragem Arneiroz II e do Açude Orós foram calculadas a partir dos registros históricos de vazões médias anuais nas estações fluviométricas do rio Jaguaribe em Arneiroz e em Iguatu (COGERH, 2000).

Além dos dados de séries de vazões afluentes, para a simulação do balanço hídrico é necessária a determinação das características da bacia hidráulica do reservatório, representadas pelas relações cota-área e cota-volume, conforme apresentado na Tabela 4.18 e na Figura 4.6.

TABELA 4.18

Elementos da Relação Cota-Área-Volume

COTA (m)	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)
340,0	2.271	0
342,5	143.846	136.826
345,0	428.988	821.197
347,5	1.082.300	2.648.430
350,0	2.776.423	7.308.591
352,5	4.398.474	16.199.815
355,0	6.295.793	29.496.960
357,5	8.545.299	47.976.878
360,0	11.017.967	72.365.588
362,5	13.670.583	103.166.727
365,0	16.587.881	140.931.074
367,5	19.614.965	186.131.808
370,0	23.229.014	239.623.156

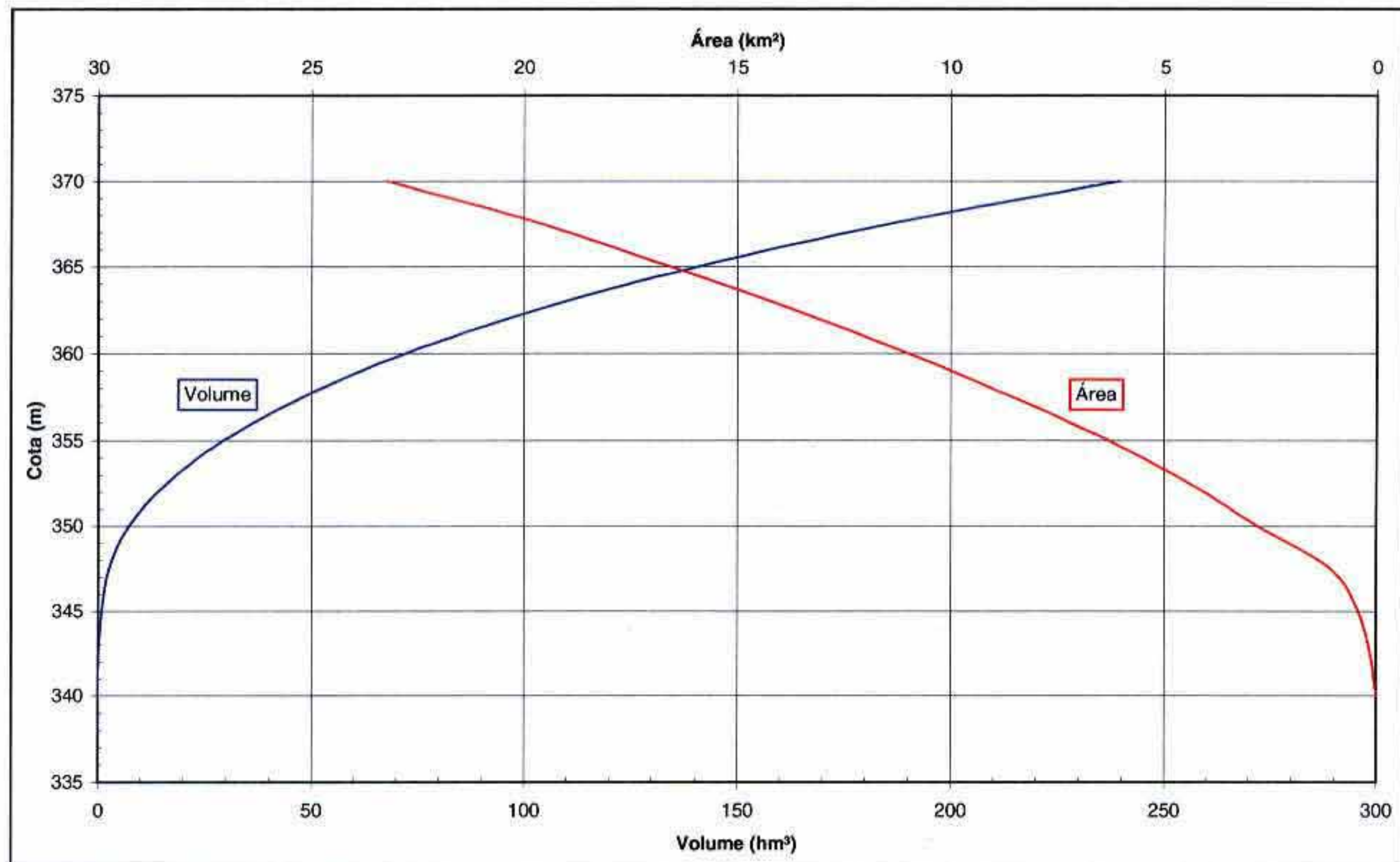


Figura 4.6 – Relações Cota-Área-Volume do Reservatório da Barragem Arneiroz II

A metodologia de simulação foi aplicada para diversos níveis de armazenamento no reservatório, variando entre a El. 360,00 m e a El. 370,00 m, conforme critérios apresentados por ARAÚJO (2000). O volume ótimo de acumulação, que apresentou o menor custo unitário para a água armazenada, foi calculado, pelos estudos de simulação do reservatório, como sendo 197.060.000 m³. Esse volume fica alocado na El. 368,00 m, que corresponde ao NA máximo normal de operação do reservatório.

A região na qual está inserida a Barragem Arneiroz II, de clima semi-árido, apresenta uma estrutura temporal de ocorrência de falhas nos reservatórios que pode se estender por vários meses ou anos. Desta forma, para minorar as conseqüências de tal situação, determina-se um *Volume de Alerta* no reservatório (SRH/CE, 1992), a partir do qual apenas um percentual da vazão regularizada pode ser retirado. A Tabela 4.19 resume os resultados dos estudos regularização, considerando as hipóteses de operação com e sem a inclusão do volume de alerta.

TABELA 4.19

CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO REGULARIZADA COM 90% DE GARANTIA PARA A BARRAGEM ARNEIROZ II

CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM ARNEIROZ II	VAZÃO DE REGULARIZAÇÃO COM 90% DE GARANTIA	
	(m ³ /s)	(hm ³ /ano)
Sem Volume de Alerta	1,44	45,32
Com Volume de Alerta	1,47	46,33

4.3.5 Cheias de Projeto

Mesmo com a localização da estação fluviométrica do rio Jaguaribe em Arneiroz, próxima ao eixo da barragem, os seus registros não podem ser utilizados diretamente para a determinação das cheias de projeto. De fato, a estação está equipada apenas com réguas linimétricas, não dispondo de aparelho registrador, necessário à definição completa dos hidrogramas. Além disso, sempre permanecem as dúvidas a respeito da confiabilidade do ramo superior da curva-chave, que determina a magnitude dos picos das cheias.

Assim, optou-se pelo cálculo indireto das vazões de cheias, através da aplicação de modelagem matemática através da seguinte metodologia de cálculo que foi adotada:

- Estudo de chuvas máximas nas estações pluviométricas selecionadas, definindo os quantis de precipitação máxima anual, correspondentes às durações de 1 dia e 2 dias e a alguns períodos de retorno notáveis.
- Reprodução da cheia de 1974, empregando a distribuição espacial segundo Thiessen e o modelo matemático de simulação hidrológica, tendo como dados de entrada a chuva verificada e os parâmetros da curva índice do método do SCS, determinados em função das características físicas da bacia hidrográfica.
- Estimativa indireta da vazão de pico da cheia de 1974, empregando o nivelamento das marcas deixadas pelo perfil de escoamento.
- Comparação da estimativa indireta da vazão de pico com os resultados fornecidos pelo modelo matemático de simulação.
- Análise isoietal do evento pluviométrico que gerou a cheia de 1974, considerada como uma das maiores ocorridas na bacia do rio Jaguaribe, para definir a distribuição espacial das chuvas de projeto, correspondentes aos períodos de retorno de 25, 100 e 10.000 anos.
- Determinação dos hidrogramas das cheias de projeto, empregando as isoietas de chuvas máximas e o modelo de simulação hidrológica.

O estudo de chuvas máximas foi baseado na análise de frequência das amostras dos máximos anuais de precipitação de 1 dia e 2 dias de duração, conforme apresentado nas Figuras 4.17 e Janeiro, 2001

4.18, respectivamente. Considerando a existência de uma uniformidade regional na bacia hidrográfica de contribuição, em termos das características dos eventos extremos de precipitação, a composição das amostras foi feita pelo método denominado estação-ano, que consiste em agrupar os máximos anuais de todas as estações em uma única amostra, reduzindo assim os problemas de tendências que podem aparecer em pequenos agrupamentos de dados. As estações pluviométricas utilizadas são aquelas que aparecem listadas na Tabela 4.17.

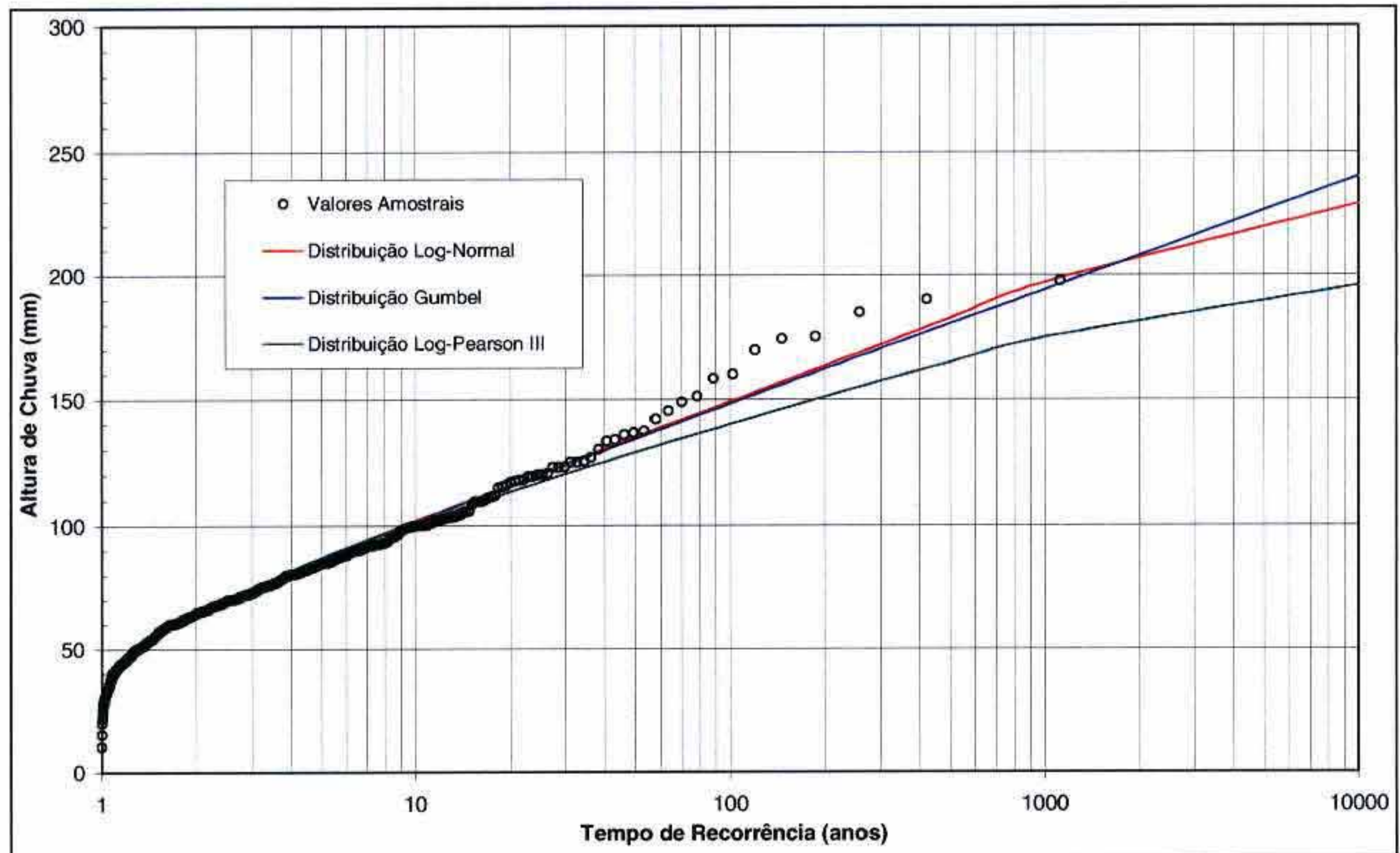


Figura 4.17 – Análise de Frequência dos Máximos Anuais de Altura de Chuva de 1 Dia

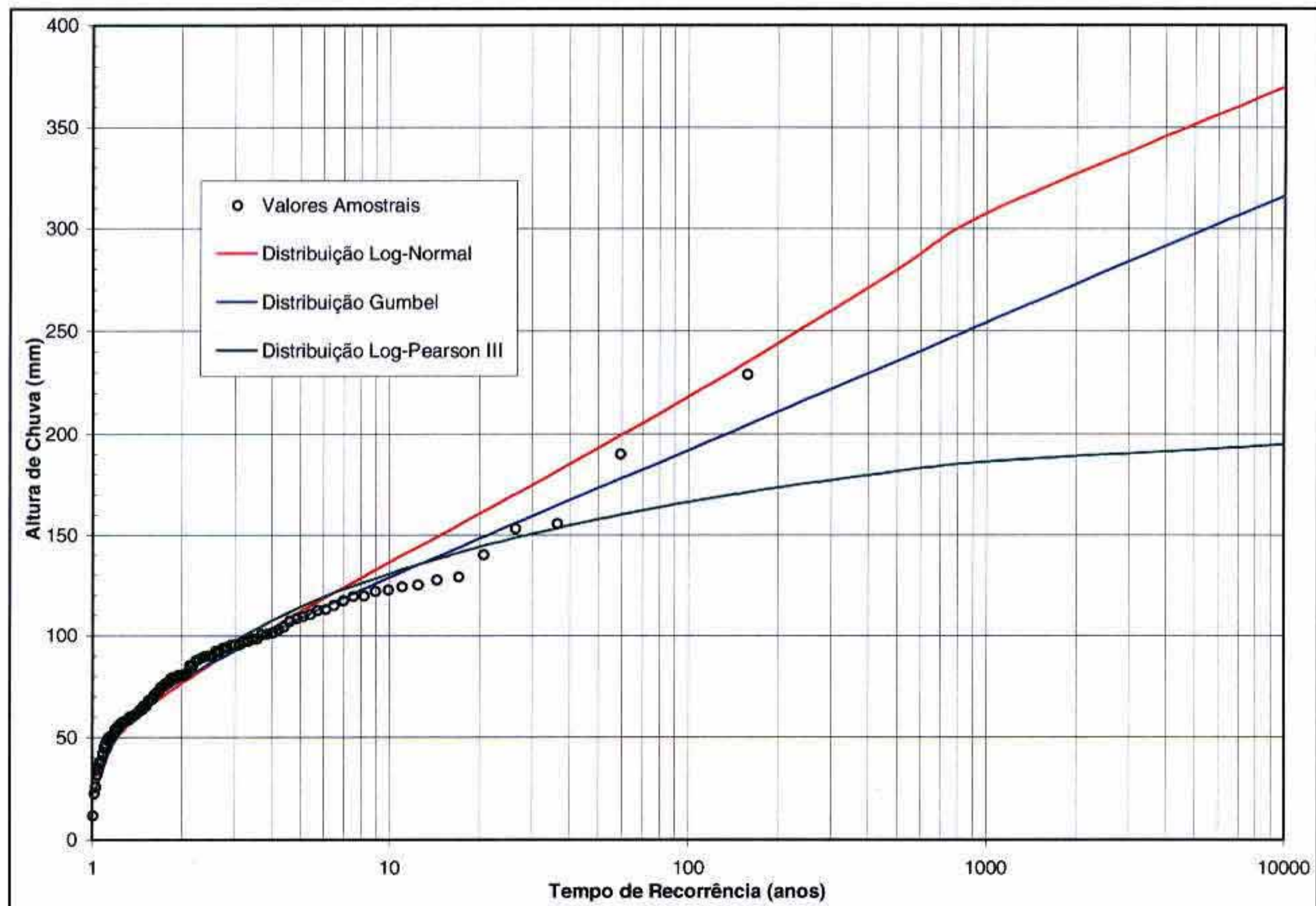


Figura 4.18 – Análise de Frequência dos Máximos Anuais de Altura de Chuva de 2 Dias

A Tabela 4.20 resume os resultados dos estudos de frequência de chuvas máximas, listando os quantis, correspondentes a alguns períodos de retorno notáveis, obtidos do ajuste da distribuição de probabilidade Gumbel.

TABELA 4.20

QUANTIS DOS MÁXIMOS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO

PERÍODO DE RETORNO (anos)	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ANUAL (mm)	
	DURAÇÃO 1 DIA	DURAÇÃO 2 DIAS
2	63,8	78,0
5	86,4	108,5
10	101,3	128,7
25	120,2	154,2
50	134,2	173,1
100	148,1	191,9
200	161,9	210,7
500	180,2	235,4
1000	194,0	254,0
10.000	239,9	316,0

A cheia de 1974 é considerada como referência de eventos extremos máximos no Estado do Ceará, especialmente na bacia do rio Jaguaribe. No presente trabalho foram analisados os dados das estações pluviométricas selecionadas para o período de 10 a 15 de abril de 1974, por se tratar do período de maior concentração de alturas precipitadas.

A distribuição espacial da precipitação geradora da enchente foi definida conforme o método dos Polígonos de Thiessen.

Utilizando os valores da curva índice do método do SCS, conforme apresentados no Item 4.3.1 do presente relatório, foi aplicado o modelo HEC-HMS Hydrologic Modeling System (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2000) para a estimativa indireta do hidrograma da cheia de 1974. Como o evento pluviométrico teve a duração total de 6 dias, considerou-se que os valores da curva índice, válidos para a condição II de umidade antecedente do solo, fossem representativos de todo o período. Com base nesse procedimento, a vazão de pico estimada foi de $1175 \text{ m}^3/\text{s}$.

Uma vez estimada a vazão de pico, foi verificado se o valor estava compatível com as marcas da cheia, conforme o nivelamento feito entre as seções fluviais de Arneiroz I e Arneiroz II. Para tanto, foi aplicado o modelo de simulação HEC-RAS (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1998), com base nos seguintes conceitos:

- Utilização das características geométricas das seções levantadas nos eixos estudados em Arneiroz I e Arneiroz II, apresentados em um relatório da empresa AGUASOLOS (1989), como representativas do trecho de 12 km compreendido entre elas.
- Empregando as ferramentas disponíveis no modelo HEC-RAS, foram interpoladas 11 seções no trecho, espaçadas a cada 1000 m.
- Condição de contorno a jusante dada pela marca da cheia de 1974: El. 334,50 m, no eixo Arneiroz I.
- Verificação se a descarga de pico simulada através do modelo HEC-HMS ($1175 \text{ m}^3/\text{s}$) poderia reproduzir o perfil de escoamento nivelado, para valores plausíveis de coeficiente de rugosidade de Manning. No caso, foi considerada a condição de escoamento permanente e gradualmente variado, em regime subcrítico, com o perfil de escoamento partindo da El. 334,50 m, a jusante, e aproximando-se da El. 346,91 m, na seção de montante (eixo Arneiroz II).

Para uma combinação dos coeficientes de Manning de $n = 0,040$ e $n = 0,080$, respectivamente para a calha menor e a planície de inundação, foi reproduzida a vazão de $1175 \text{ m}^3/\text{s}$, valor adotado como sendo o pico da cheia de 1974, no eixo de implantação da Barragem Arneiroz II. Esses valores de rugosidade são compatíveis com as recomendações da literatura (CHOW, 1959; FRENCH, 1986), considerando a natureza do leito menor do rio Jaguaribe (trecho relativamente plano, fundo arenoso, com presença de afloramentos rochosos e algumas ilhas com vegetação) e da sua planície de inundação (presença de arbustos e árvores esparsas, com maior adensamento na estação chuvosa).

A determinação dos hidrogramas das cheias de projeto, para as recorrências de 25, 100 e 10.000 anos, também foi feita através de métodos indiretos de transformação chuva-vazão através dos seguintes passos de cálculo:

- Definição de um padrão isoietal para a distribuição das precipitações sobre a bacia, considerando as relações das áreas abrangidas pelo núcleo do evento de chuva de 1974, em forma de elipses concêntricas, utilizadas nos estudos de PMP – Precipitação Máxima Provável (CHOW *et alli*, 1998).
- Adoção de uma duração crítica de 2 dias para a chuva de projeto, em função do tempo de concentração da bacia.
- Maximização dos valores de CN determinados para a condição II de umidade antecedente do solo, considerando a condição III como a mais crítica para a geração de altas taxas de escoamento superficial.
- Desagregação das alturas de chuvas de 2 dias de duração, em blocos horários, empregando a metodologia de Huff, para o segundo quartil e 50% de probabilidade de ocorrência.
- Aplicação do modelo HEC-HMS para a estimativa indireta dos hidrogramas das Cheias de Projeto.

Na Figura 4.9, a seguir, estão apresentados os hidrogramas das Cheias de Projeto, para os períodos de retorno de 100 e 10.000 anos, obtidos das aplicações do modelo HEC-HMS. As vazões específicas máximas de projeto para a Barragem Arneiroz II apresentam-se em conformidade com as envoltórias empíricas de Creager

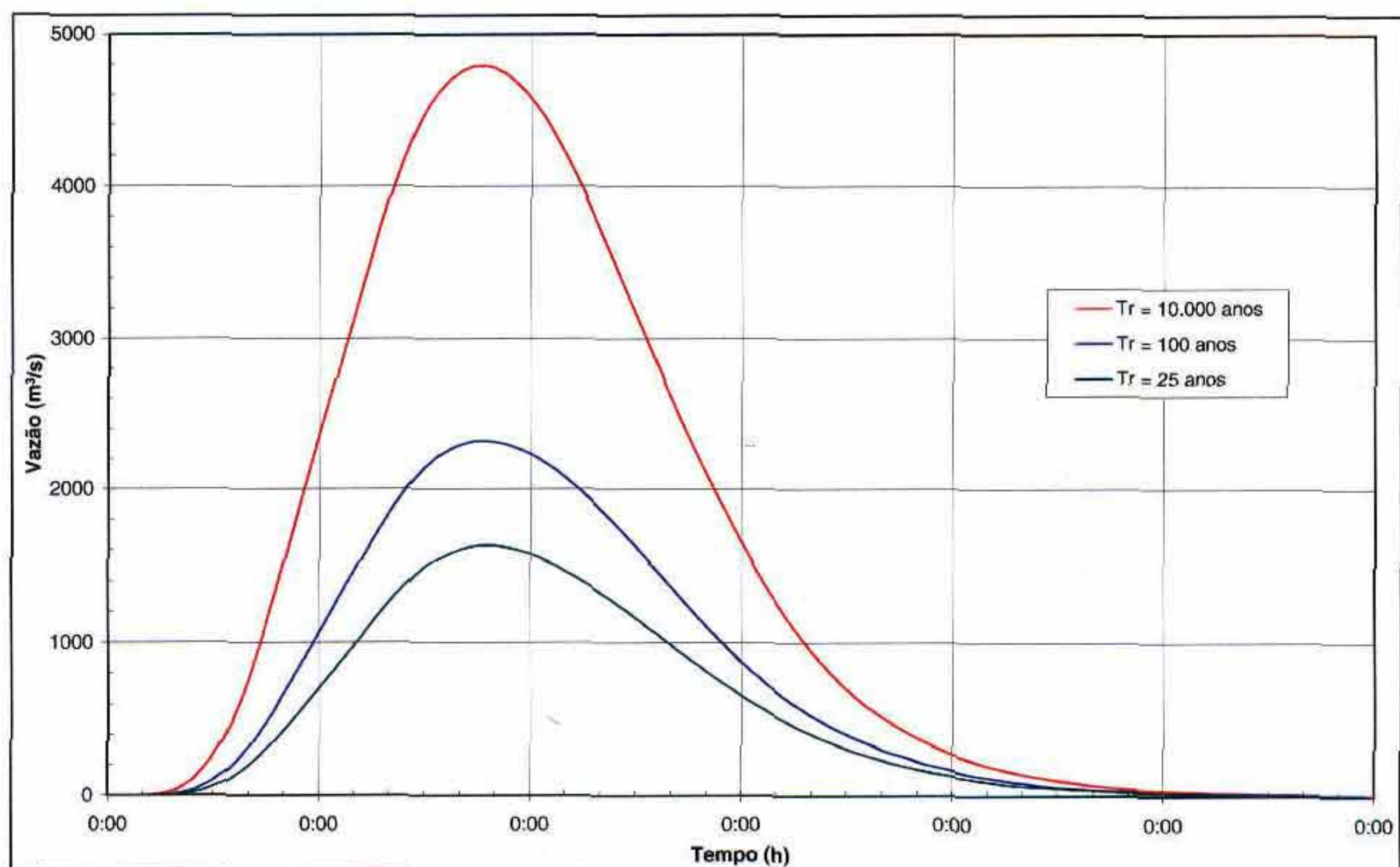


Figura 4.9 – Hidrogramas das Cheias de Projeto

4.3.6 Trânsito de Cheias no Reservatório

O trânsito das cheias de projeto pelo reservatório da Barragem Arneiros II foi simulado através da aplicação do método de Puls Modificado, o qual foi incorporado no modelo HEC-HMS.

A curva de descarga do vertedouro da Barragem Arneiros II foi definida utilizando-se os resultados da simulação do perfil do escoamento, o qual levou em conta a geometria do canal de aproximação do vertedouro. A curva de descarga do vertedouro está apresentada na Tabela 4.21.

TABELA 4.21

CURVA DE DESCARGA DO VERTEDOURO DA BARRAGEM ARNEIROZ II

COTA (m)	VAZÃO (m³/s)
368,00	0
369,00	250
370,00	900
371,00	1920
372,00	3180
373,00	4640

Os resultados da modelação do trânsito das ondas de cheias de projeto, com os parâmetros definidos na análise da cheia de 1974, estão resumidos na Tabela 4.22.

TABELA 4.22

RESULTADOS DO TRÂNSITO DE CHEIAS NO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM ARNEIROS II

RECORRÊNCIA (anos)	VAZÃO MÁXIMA (m³/s)		NÍVEL DE ÁGUA MÁXIMO (m)
	AFLUENTE	DEFLUENTE	
25	1629	1223	370,32
100	2318	1654	370,75
10.000	4790	3436	372,20

Desta forma, conforme o trânsito da cheia de projeto com recorrência de 10.000 anos, o NA máximo maximorum da Barragem Arneiros II foi fixado na El. 372,20 m

4.3.7 Cálculo da Borda Livre

A determinação da borda livre na Barragem Arneiroz II baseou-se no critério de Saville. Este critério prevê que a borda livre deve ser maior ou igual à altura máxima de influência da onda, gerada no reservatório, no talude da barragem.

Levando-se em conta as características físicas do reservatório e do paramento da barragem, definiu-se o valor da Borda Livre igual a 2,13 m, para um velocidade média do vento sobre o lago igual a 80 km/h. A Tabela 4.23 apresenta os principais resultados do cálculo da borda livre.

TABELA 4.23
RESULTADOS DO CÁLCULO DA BORDA LIVRE

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
Fetch Efetivo (F)	3.26	Km
Velocidade do Vento (V_w)	80	Km/h
Profundidade Média (d)	12	m
Declividade do Talude (S_0)	0.4	m/m
Comprimento da Onda (λ)	15.22	m
Altura da Onda (z_w)	1.17	m
Altura de Arrebentação (z_c)	0.03	m
Sobreelevação da Onda (z_r)	0.93	m
Borda Livre (Z)	2.13	m

Logo, a cota de coroamento da Barragem Arneiroz II foi fixada na El. 374,40 m.

O rio Jaguaribe, por estar inseridos em uma região de clima semi-árido, apresenta características típicas de rios intermitentes, com ausência completa de escoamento em grande parte do período de seca. Desta forma, não foi previsto nenhum tipo de estrutura de desvio do rio para o período de construção.

4.3.8 Estudos de Remanso no Reservatório

Os estudos de remanso induzido pelo reservatório da Barragem Arneiroz II foram baseados em modelação do perfil do escoamento através de 17 seções transversais, num trecho de 16 km de distância em relação ao eixo do barramento.

Essas análises foram empreendidas para as vazões máximas das cheias de projeto, com recorrências de 100 e 10.000 anos, considerando a situação atual e a situação após a implantação da Barragem Arneiroz II.

A Figura 4.10 apresenta os perfis de escoamento resultantes das análises empreendidas, conforme descrito. Nesta figura pode-se visualizar que a influência do remanso induzido pelo reservatório da Barragem Arneiroz II atinge uma distância de 13 km, aproximadamente, do eixo do barramento. Distância a partir da qual os perfis de escoamento não se alteram mesmo com a implantação da barragem.

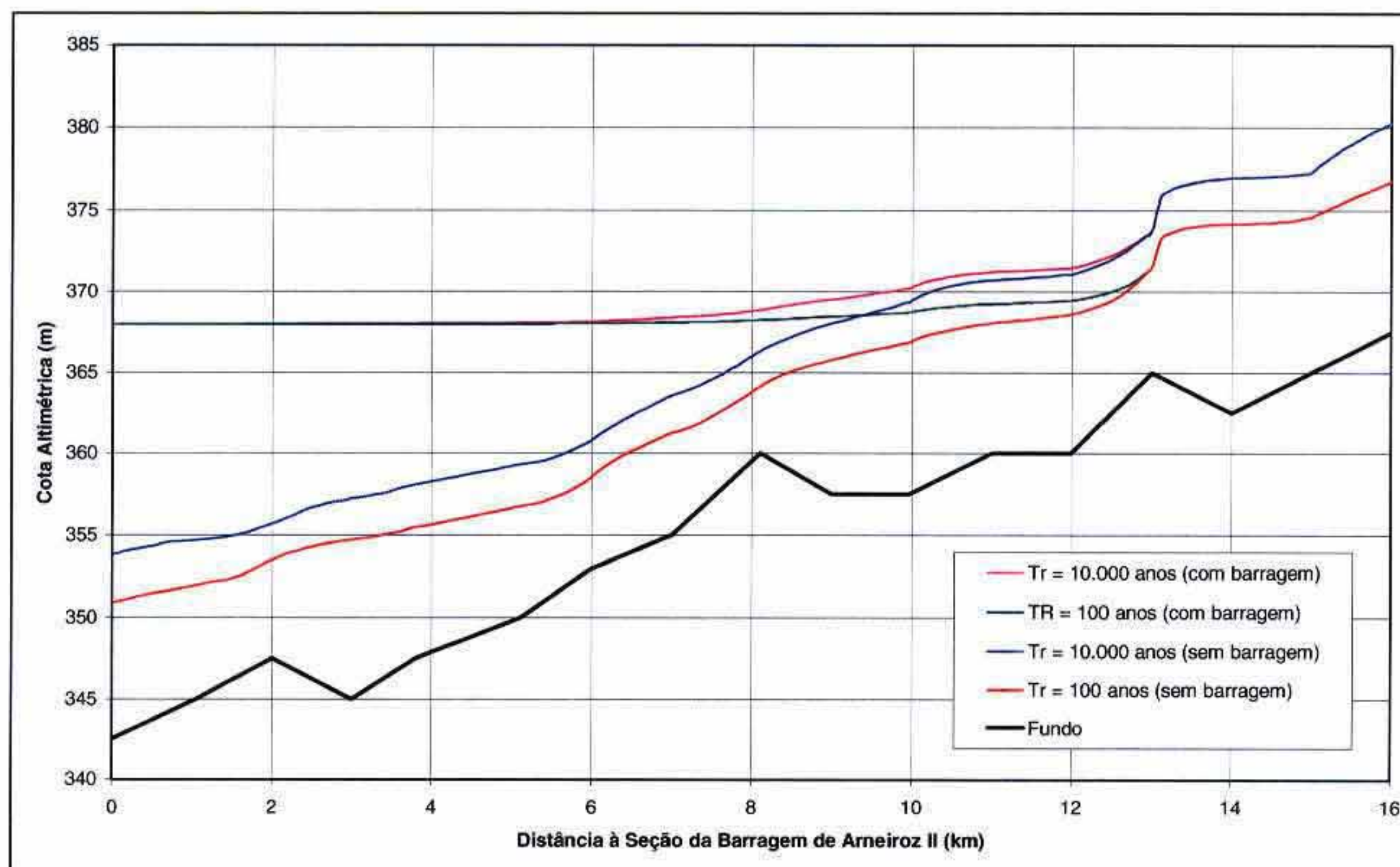


Figura 4.10 – Curvas de Remanso no Reservatório da Barragem Arneiroz II

4.3.9 Análise do Enchimento do Reservatório

A análise empreendida para o estudo de enchimento do reservatório da Barragem Arneiroz II foi baseada no cálculo do tempo necessário para a elevação do nível de água do reservatório alcançar o NA máximo normal (nível de água máximo normal), ou seja, a cota da soleira do vertedouro, a partir de cada ano do histórico de dados, considerando as características dos anos subsequentes.

Os 5.000 anos de dados de vazões médias anuais utilizados foram gerados a partir de histórico de vazões médias anuais compreendidas entre os anos 1912 e 1943 da estação Arneiroz, enquanto o histórico de evaporação utilizado foi obtido do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Jaguaribe (COGERH, 2000), para o reservatório da Barragem Arneiroz.

A análise de enchimento do reservatório ainda considerou diversas vazões defluentes, variando de nulo até valores próximos à vazão regularizada com 90% de garantia.

Os resultados das análises de enchimento do reservatório da Barragem Arneiroz II estão apresentados na Figura 4.11, sintetizados na forma de curvas de frequência.

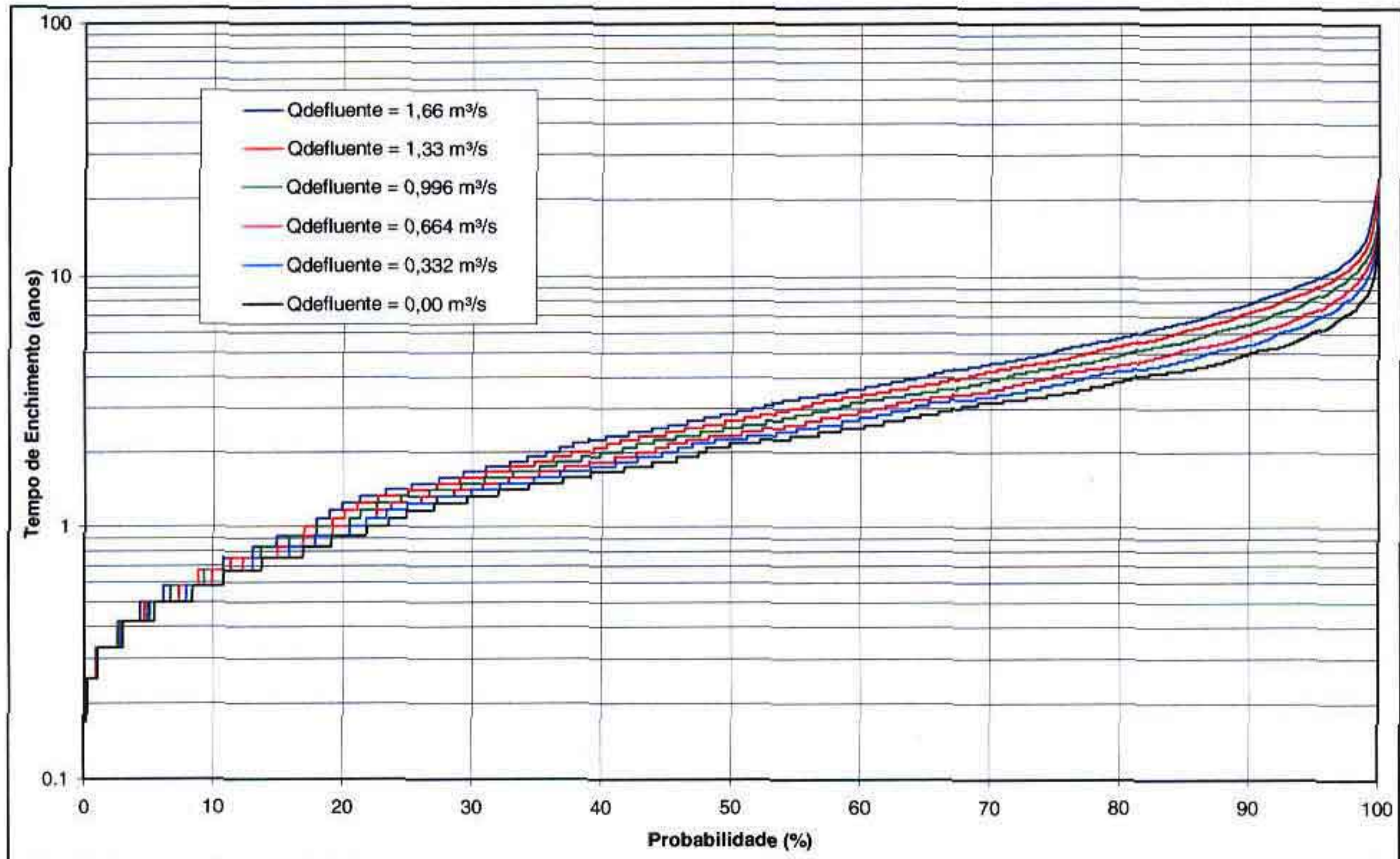


Figura 4.11 – Frequência para o Enchimento do Reservatório da Barragem Arneiroz II em Função da Vazão Defluente.

4.3.10 Vida Útil do Reservatório

A definição da vida útil do reservatório da Barragem Arneiroz II foi baseada na aplicação do método de redução empírica de área, de Borland e Miller, associado à curva de eficiência de retenção de Brune.

Os estudos de FERNANDES (2000) mostram que, nas regiões semi-áridas do nordeste brasileiro, os períodos de maior produção de sedimentos coincidem com os períodos de maiores enchentes e que a eficiência de retenção máxima nos açudes localizados nessas regiões deve ser considerada aproximadamente igual a 70%, para volumes de acumulação superiores ao deflúvio médio anual.

Como não existem registros sedimentométricos na bacia e mesmo nos cursos de água da região, a produção da bacia foi estimada a partir de curvas regionalizadas de produção específica, aproximadas da curva de valores normais de produção sedimentos, apresentada por CARVALHO (1994), conforme características regionais obtidas dos estudo da ELETROBRÁS (1998). A Figura 4.12 apresenta as curvas de produção específica de sedimentos consideradas.

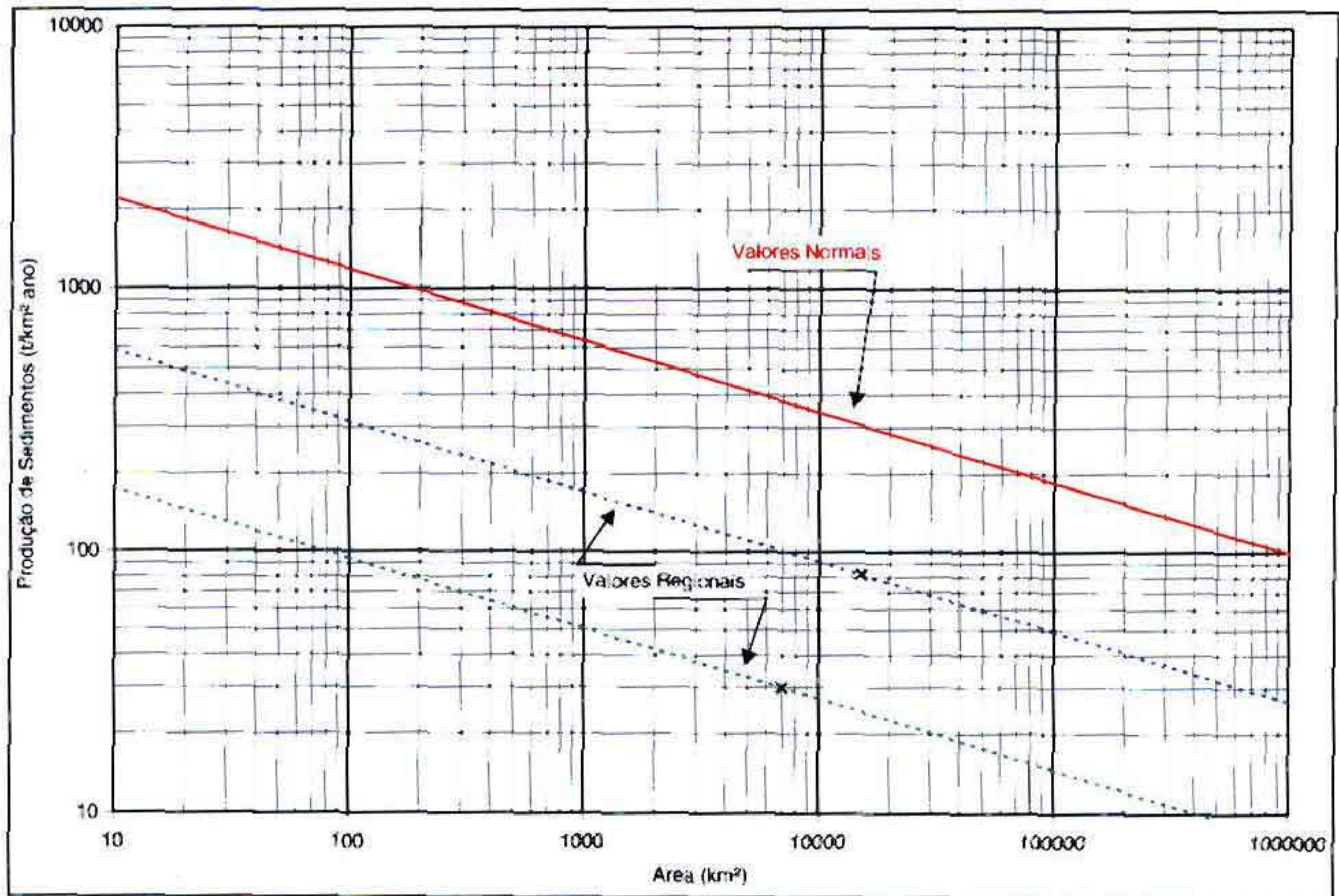


Figura 4.12 – Curvas de Produção Específica de Sedimentos

Logo, considerando-se uma produção específica de sedimentos na bacia igual a 100 t/km²-ano, correspondente a uma área de drenagem igual a 5342 km², e um peso específico médio do sedimento igual a 1,65 t/m³, o volume morto do reservatório da Barragem Arneiroz II será igual a 11.331.515 m³, para uma Vida Útil igual a 50 anos.

Desta forma, o volume morto considerado para o reservatório da Barragem Arneiroz II foi igual a 11.331×10^3 m³, por se tratar de um valor médio entre os limites de 20% do volume médio anual afluente (28.130×10^3 m³) e 5% da capacidade do reservatório (8.492×10^3 m³).

Existe uma relação entre a forma do reservatório e a porcentagem de sedimentos depositados ao longo do leito e em diversas alturas do lago formado. Desta forma, conforme as características físicas da bacia hidráulica, determinou-se que o reservatório da Barragem Arneiroz II é do tipo II, de acordo com a classificação do US Bureau of Reclamation.

Visando avaliar a distribuição dos sedimentos no interior do reservatório, definindo o avanço das frentes de assoreamento e altura de deposição junto ao maciço da barragem, após o período de 50 anos de vida útil, foi empregado o método de redução empírica de área. A Figura 4.13 apresenta os resultados desse estudo.

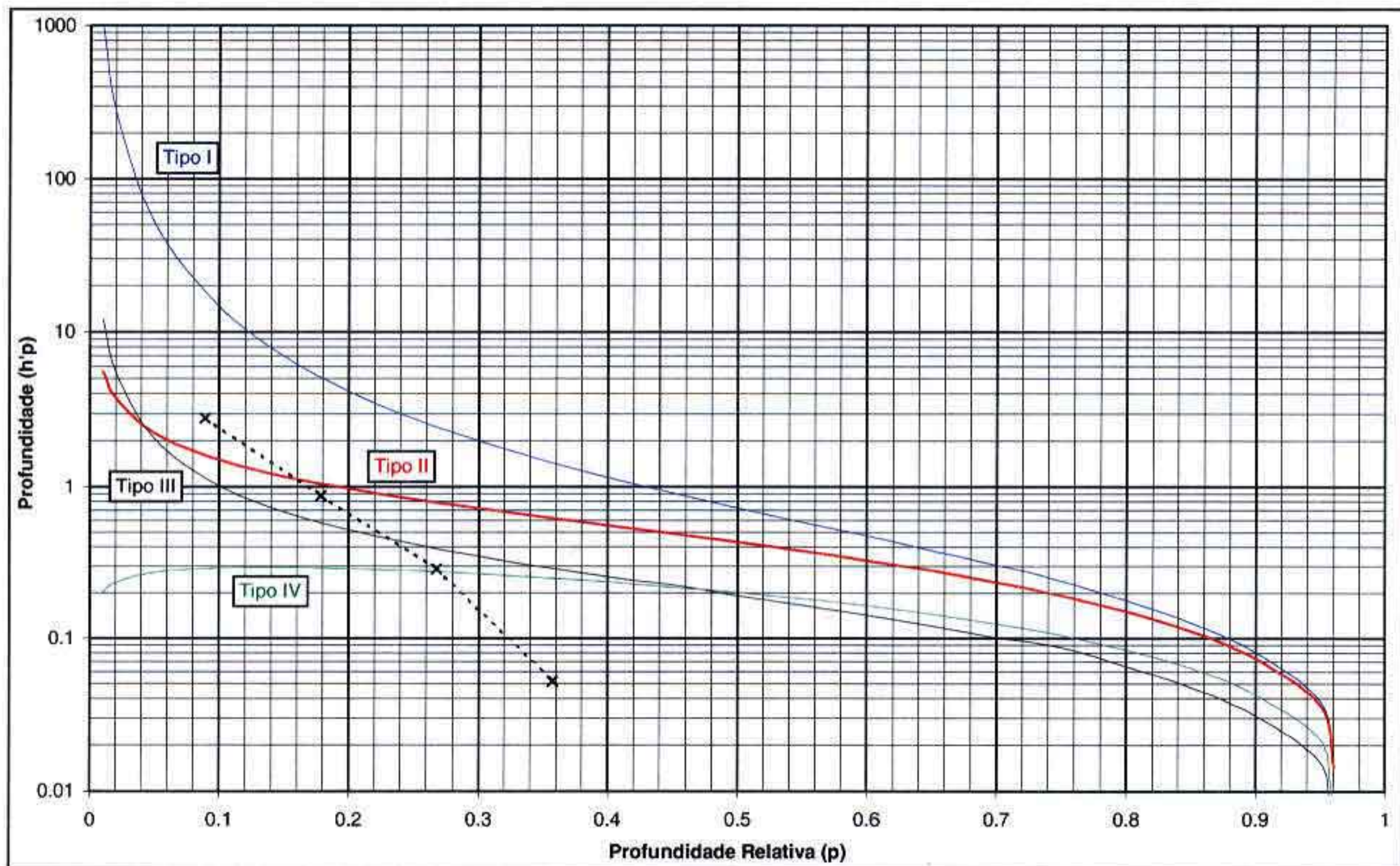


Figura 4.13 – Curva de Brune para Determinação da Profundidade do Depósito de Sedimentos na Tomada de Água.

Como resultado da aplicação do citado método, a altura de depósito de sedimentos junto ao maciço da Barragem Arneiroz II será de 4,5 m, após o período de 50 anos de vida útil. Desta forma, a cota da geratriz inferior das estruturas de tomada de água foi fixada na El. 345,00 m, correspondente ao NA mínimo operativo.

5. CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DO BARRAMENTO

5.1 Dimensionamento Hidráulico

Os cálculos hidráulicos foram aplicados na determinação das dimensões básicas e das características geométricas dos dispositivos de extravasamento e de tomada de água.

5.1.1 Sistema Extravisor (Vertedouro)

O sistema extravisor da Barragem Arneiroz II foi concebido em dois vãos de 150 m compostos por canal de aproximação com fundo plano, vertedouro de soleira vertente livre tipo Creager (US BUREAU OF RECLAMATION, 1974; US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1977;

SENTURK, 1994), bacia para formação de ressalto hidráulico e canal de restituição com fundo plano, sendo todas as estruturas de cada vão escalonadas de 1,0 m de altura. Este escalonamento foi efetuado para que as vazões de cheia mais frequentes pudessem ser vertidas por um vão menor, localizado mais baixo.

Tanto o canal de aproximação quanto o canal de restituição apresentam o fundo com profundidade mínima por vão igual a 3,0 m em relação a cota da crista do vertedouro. Além disso, a bacia para formação do ressalto hidráulico, localizada após o vertedouro e a montante do canal de restituição, possui o fundo rebaixado em 0,5 m em relação ao fundo do canal de restituição.

Na entrada do canal de aproximação foram dimensionados muros de ala para minimizar a perda de carga e foi criado um muro central entre as duas calhas do canal de restituição para separar os escoamentos, a fim de evitar ondas transversais.

Na Tabela 5.1 estão apresentadas as principais dimensões e cotas dos componentes do sistema extravasor e a Figura 5.1 apresenta a curva de descarga.

TABELA 5.1

DIMENSÕES E COTAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA EXTRAVASOR

DESCRIÇÃO	VERTEDOURO 1	VERTEDOURO 2
Largura (m)	150	150
Cota do Canal de Aproximação (m)	365,00	366,00
Cota da Crista (m)	368,00	369,00
Cota da Bacia (m)	364,50	365,50
Comprimento da Bacia (m)	10,0	10,0
Cota do Canal de Restituição (m)	365,00	366,00
Borda Livre no Canal de Restituição (m)	1,00	1,00
Cota do Muro Lateral do Canal de Restituição (m)	370,00	370,00
Cota do Muro Central do Canal de Restituição (m)	368,90	368,90

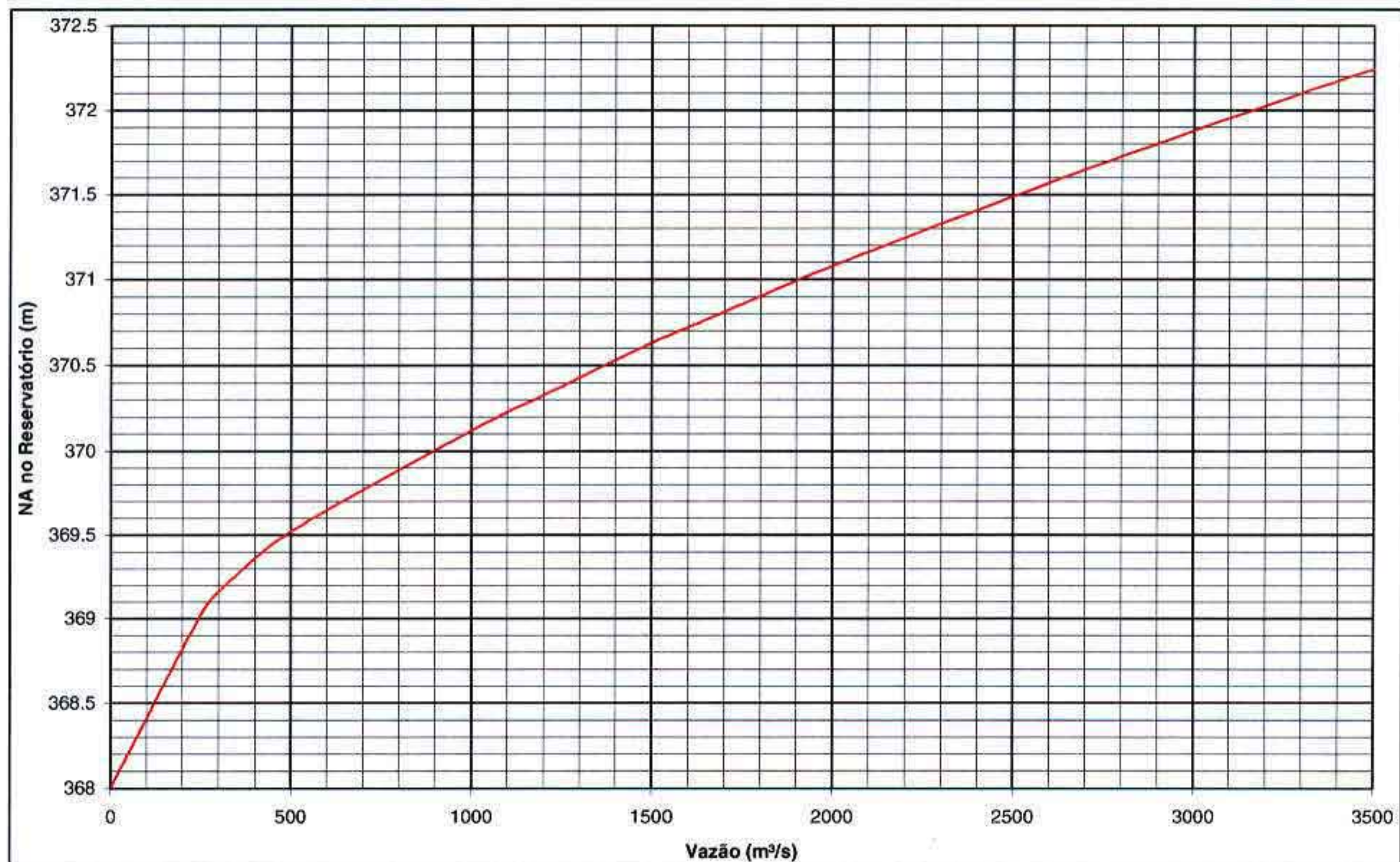


Figura 5.1 – Curva de Descarga do Sistema Extravasor da Barragem Arneiroz II

Da análise do trânsito das cheias de projeto pelo reservatório da Barragem Arneiroz II, determinou-se que em 33% do tempo do hidrograma defluente de projeto, com recorrência de 100 anos, e em 26% do tempo do hidrograma defluente de projeto, com recorrência de 10.000 anos, a água verte apenas pelo vertedouro com a soleira na El. 368,00, ou seja, o mais baixo.

5.1.2 Tomada de Água

A tomada de água foi concebida em forma de conduto forçado de seção inicial quadrada, com dimensões 0,80 m × 0,80 m, seguida de seção circular, com diâmetro igual a 0,80 m, com geratrizes inferiores localizadas na El. 345,00 m, correspondente ao NA mínimo operativo.

Na entrada do conduto foi prevista uma grade com inclinação $\theta = 80^\circ$ com o intuito de proteger a estrutura quanto à entrada e o acúmulo de detritos na mesma, e sua forma apresenta a curvatura de uma elipse para minimizar as perdas de carga na entrada. Além disso, ainda no trecho de seção quadrada, o conduto dispõe de ranhuras para a necessidade de eventual utilização de comporta ensecadeira (stop log), cujo acionamento é feito através de uma talha localizada na torre de tomada de água.

A jusante da barragem, o controle de vazões é feito através de uma válvula borboleta, com diâmetro igual a 0,80 m, protegida por um registro de gaveta de igual diâmetro. Como a tubulação funcionará sob pressão, a descarga controlada pela válvula borboleta será função do

ângulo de abertura da palheta e do desnível da linha piezométrica entre as extremidades da estrutura.

Na Figura 5.2 estão apresentadas as curvas de descarga da tomada de água para a porcentagem do ângulo de fechamento da válvula borboleta variando de 0% a 100%.

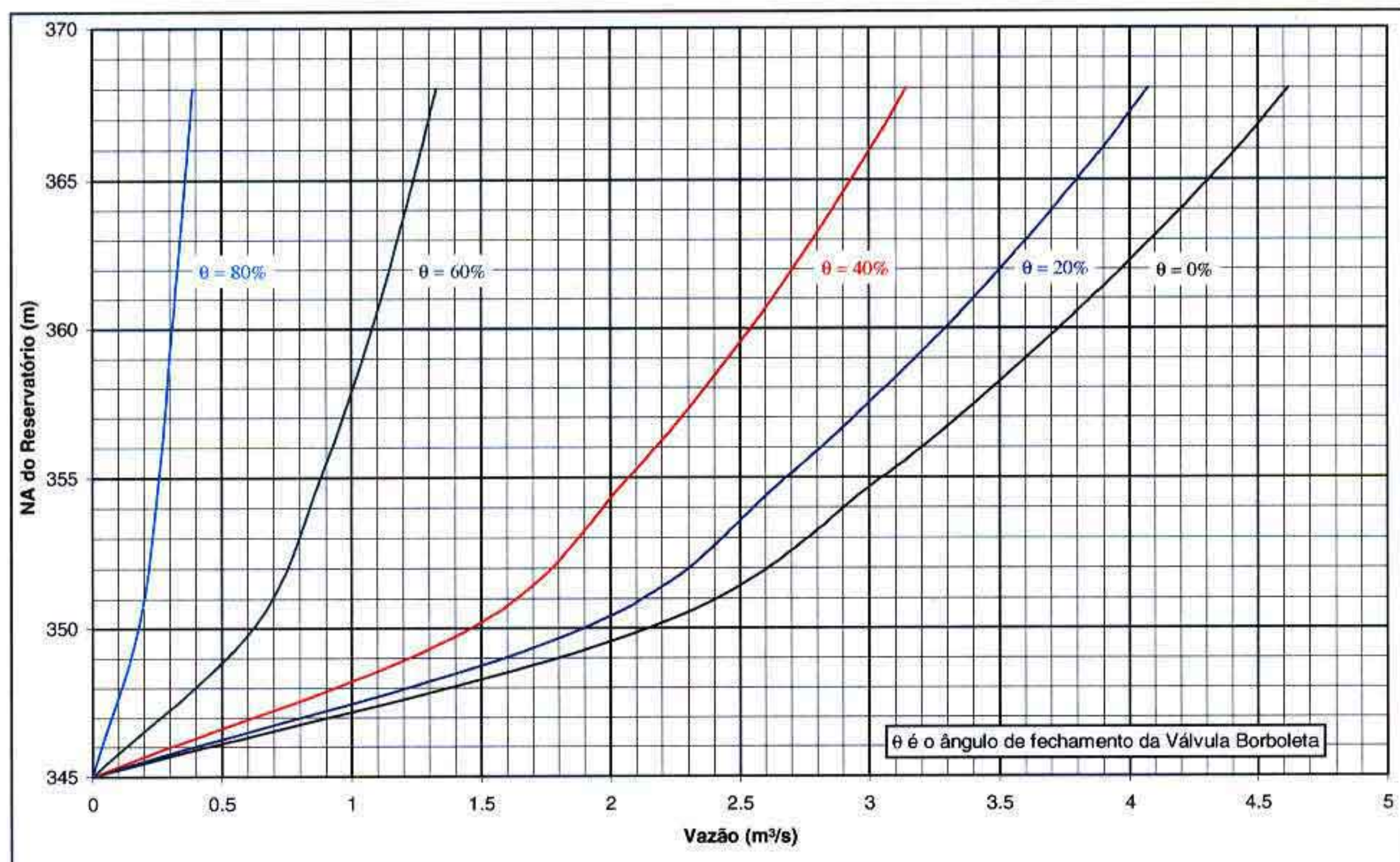


Figura 5.2 – Curvas de Descarga da Tomada de Água da Barragem Arneiroz II

Na saída do conduto da tomada de água foi prevista uma bacia de dissipação por impacto, do tipo VI do US Bureau of Reclamation (PETERKA, 1984) seguida de um canal de regularização do fluxo, com 10,0 m de comprimento, e um vertedouro retangular sem contrações para medição da descarga, de largura igual a 4,50 m e soleira na El. 345,00 m, o qual possui uma curva de descarga conforme apresentada na Figura 5.3.

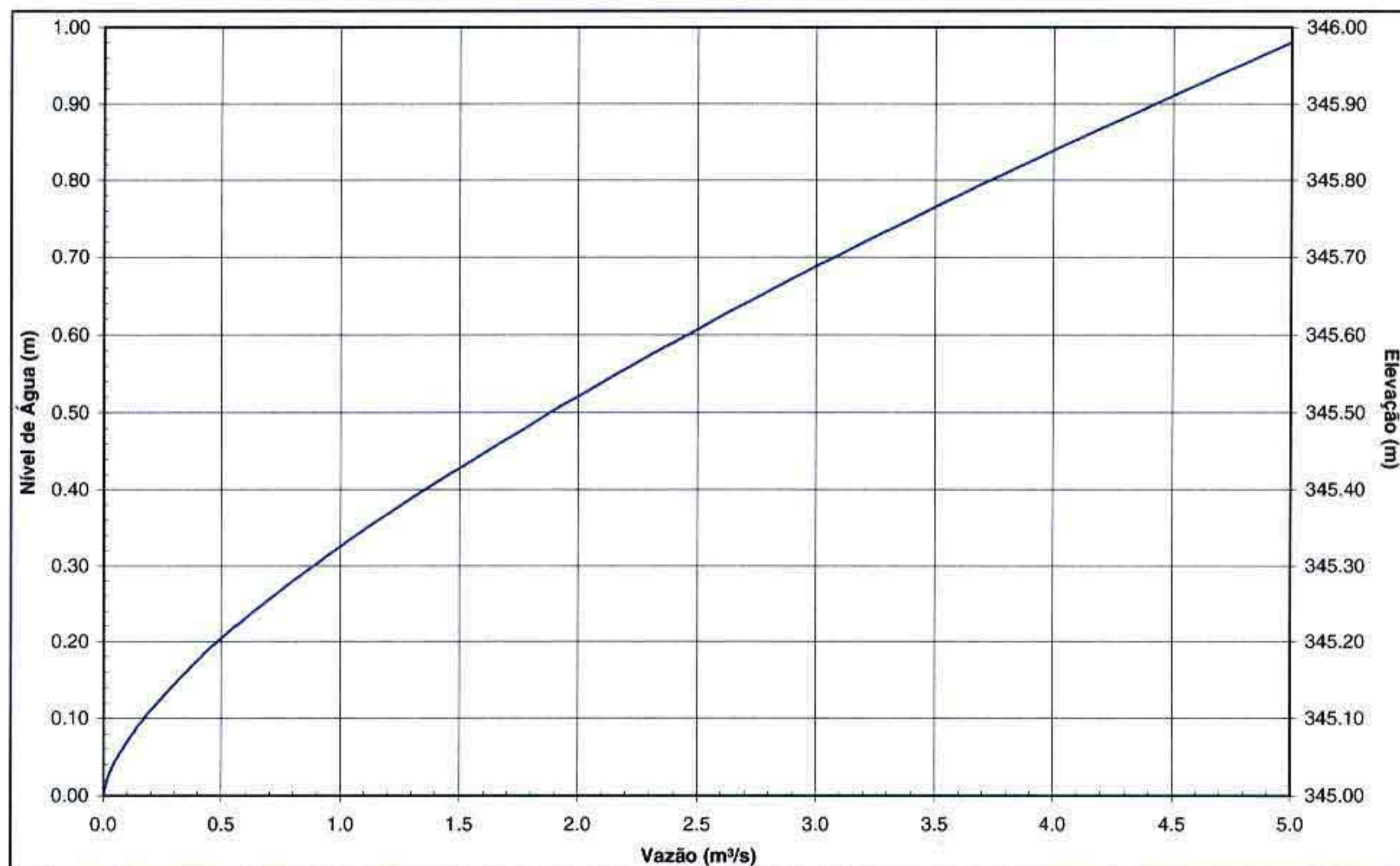


Figura 5.3 – Curva de Descarga do Vertedouro de Medição de Vazão da Tomada de Água

5.2 Dimensionamento da barragem de terra

A barragem será composta de dois tipos de seções transversais. No leito do rio e parte da zona mais baixa do eixo (entre estacas 34+10,00 e 50+10,00) a seção da barragem será mista, sendo constituída por um maciço de terra no lado montante, e um espaldar de enrocamento no lado jusante. Já nas ombreiras, a barragem terá seção homogênea de solo.

5.2.1 Análise de percolação

Nas análises de percolação utilizou-se o programa computacional **GMS/SEEP 2D** desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers (ECGL, 1999), que analisa problemas de fluxo bidimensional e tem como base o método dos elementos finitos. O programa permite representar o fluxo em materiais anisotrópicos, ou seja, possibilita adotar permeabilidade diferentes em cada direção. No caso de solos compactados há uma tendência de maiores permeabilidade na direção horizontal. Assim, adotou-se a permeabilidade na direção horizontal k_h nove vezes maior do que a permeabilidade vertical k_v (Cruz, 1996).

O valor médio obtido em laboratório para a permeabilidade vertical foi:

$K_v = 7,24 \times 10^{-7}$ cm/s, assim a permeabilidade horizontal adotada nos cálculos foi de $K_h = 6,52 \times 10^{-6}$ cm/s.

Foram analisadas duas seções, sendo uma representativa das condições no leito do rio (seção com espaldar de enrocamento a jusante) e outra representativa das condições das ombreiras (seção homogênea de solo)

Para as análises efetuadas, representou-se a situação mais crítica, ou seja, a montante o N A máximo normal na EL 368,00 m e a jusante não foi considerado N A

Os resultados obtidos nas análises estão indicados nas Figuras 5 4 e 5 5, para a seção com espaldar de enrocamento a jusante e nas Figuras 5 6 e 5 7, para a seção homogênea. As figuras representam a rede de fluxo e as isolinhas de pressão neutra. As isolinhas de pressão foram utilizadas para representar as pressões neutras do material do aterro da barragem nas análises de estabilidade dos taludes de montante e jusante, que estão descritas no próximo item

Outro resultado obtido desta análise é o valor da vazão percolada através do maciço da barragem e da fundação, que é necessário ao dimensionamento do filtro e do tapete drenante

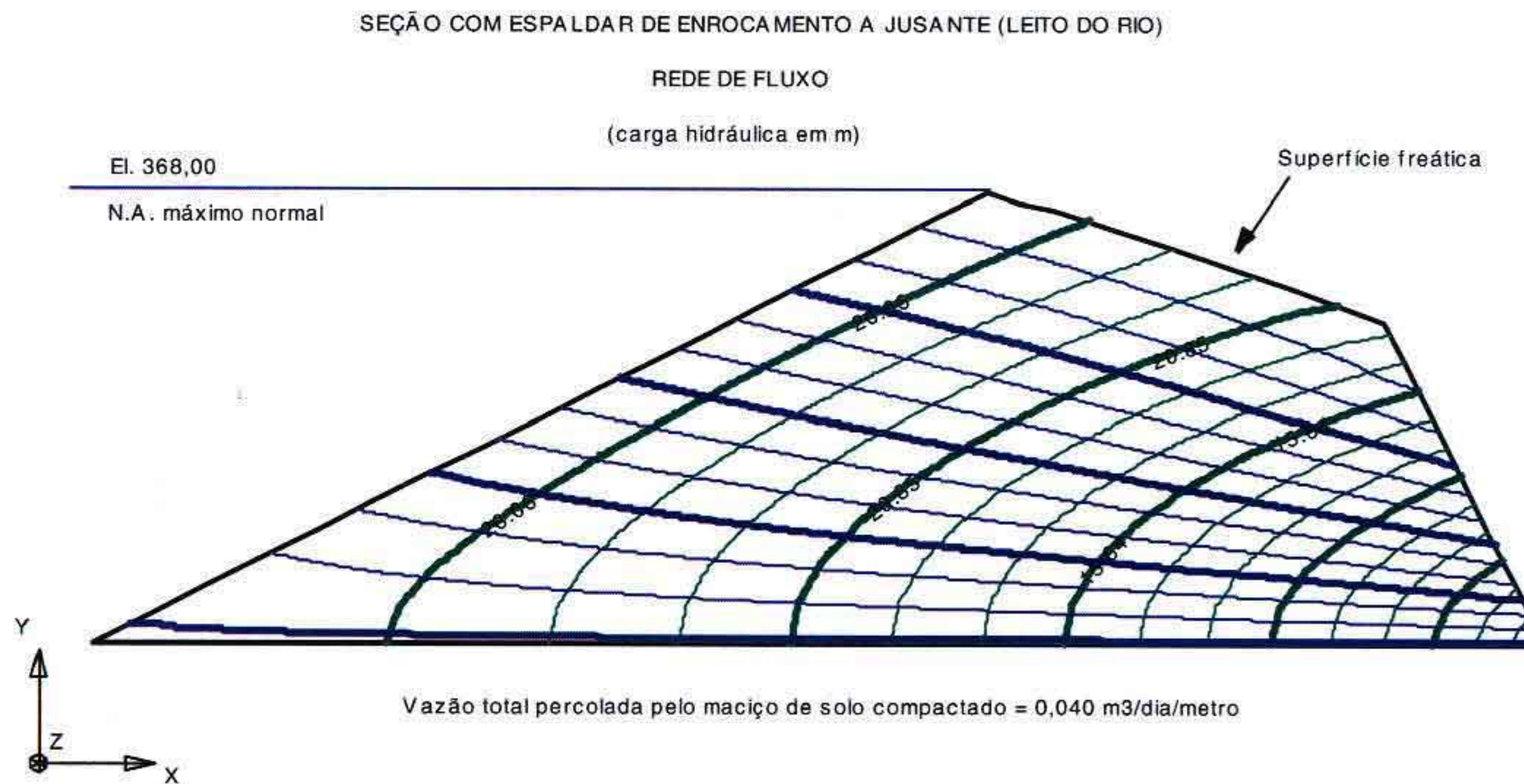


Figura 5.4 - Rede de Fluxo para seção com espaldar de enrocamento a jusante (leito do rio).

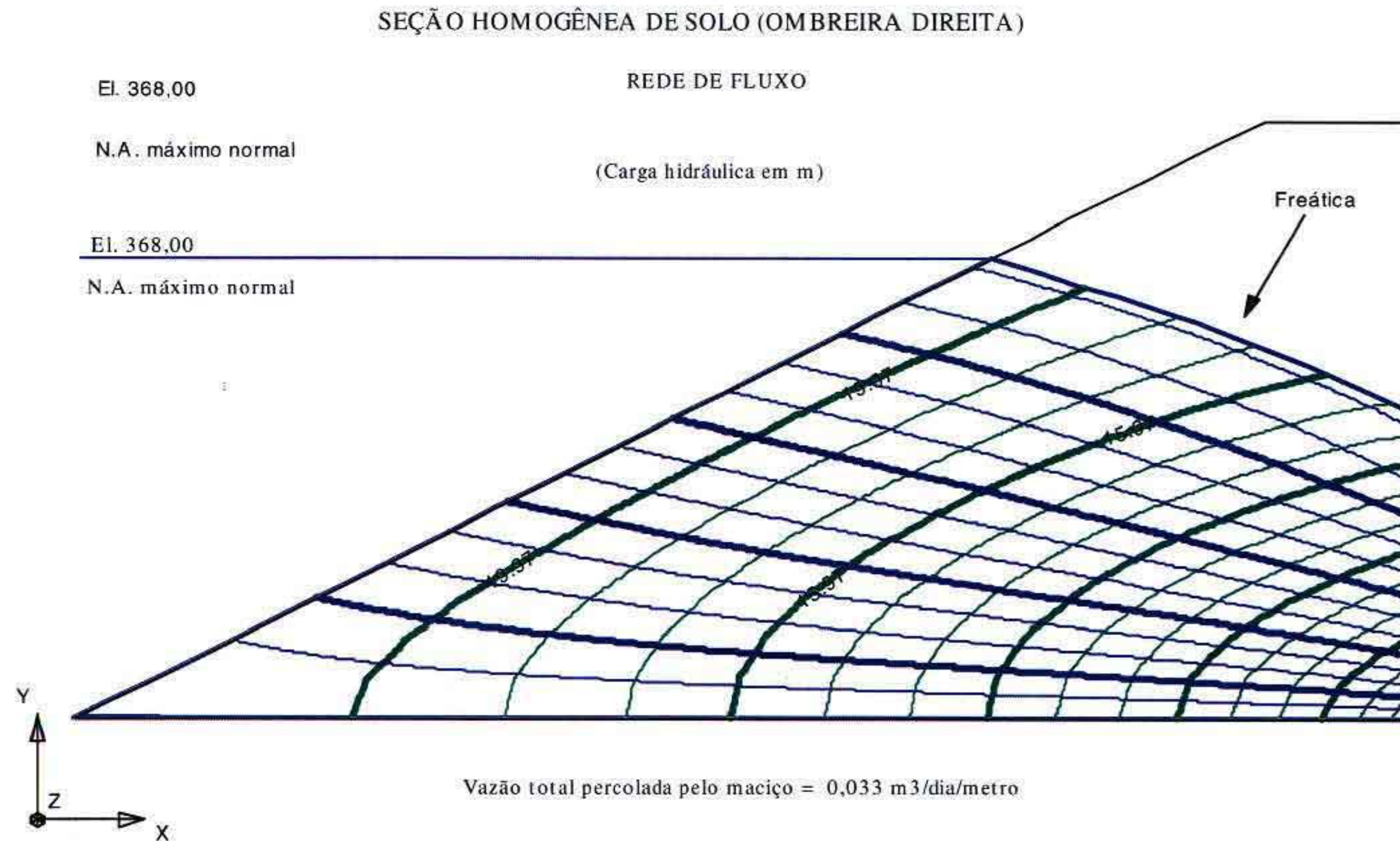


Figura 5.5 - Rede de Fluxo para seção homogênea de solo (ombreira direita)

SEÇÃO COM ESPALDAR DE ENROCAMENTO A JUSANTE (LEITO DO RIO)

ISOLINHAS DE PRESSÃO NEUTRA (Valores em kPa)

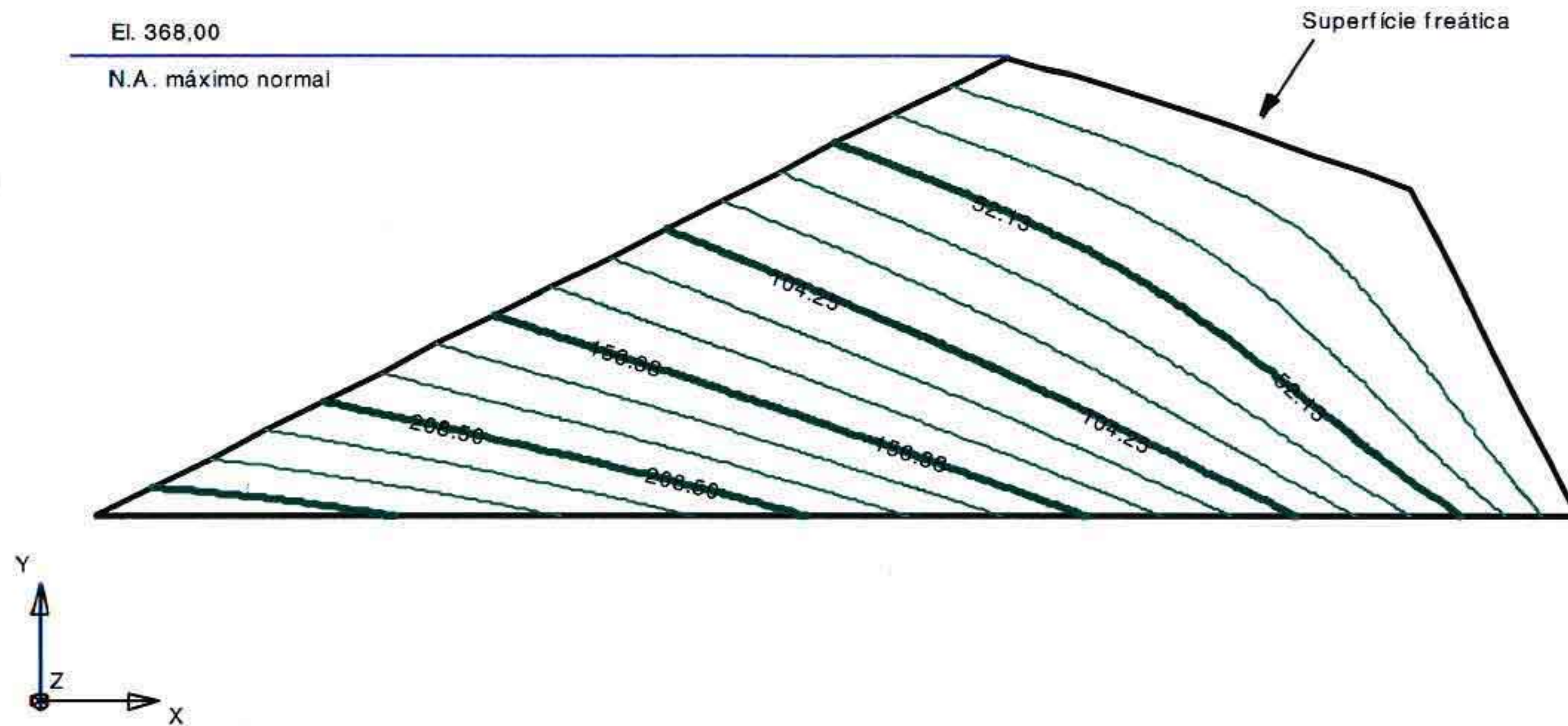


Figura 5.6 – Isolinhas de pressão neutra para a seção com espaldar de enrocamento a jusante (leito do rio).

SEÇÃO HOMOGÊNEA DE SOLO (OMBREIRA DIREITA)

ISOLINHAS DE PRESSÃO NEUTRA

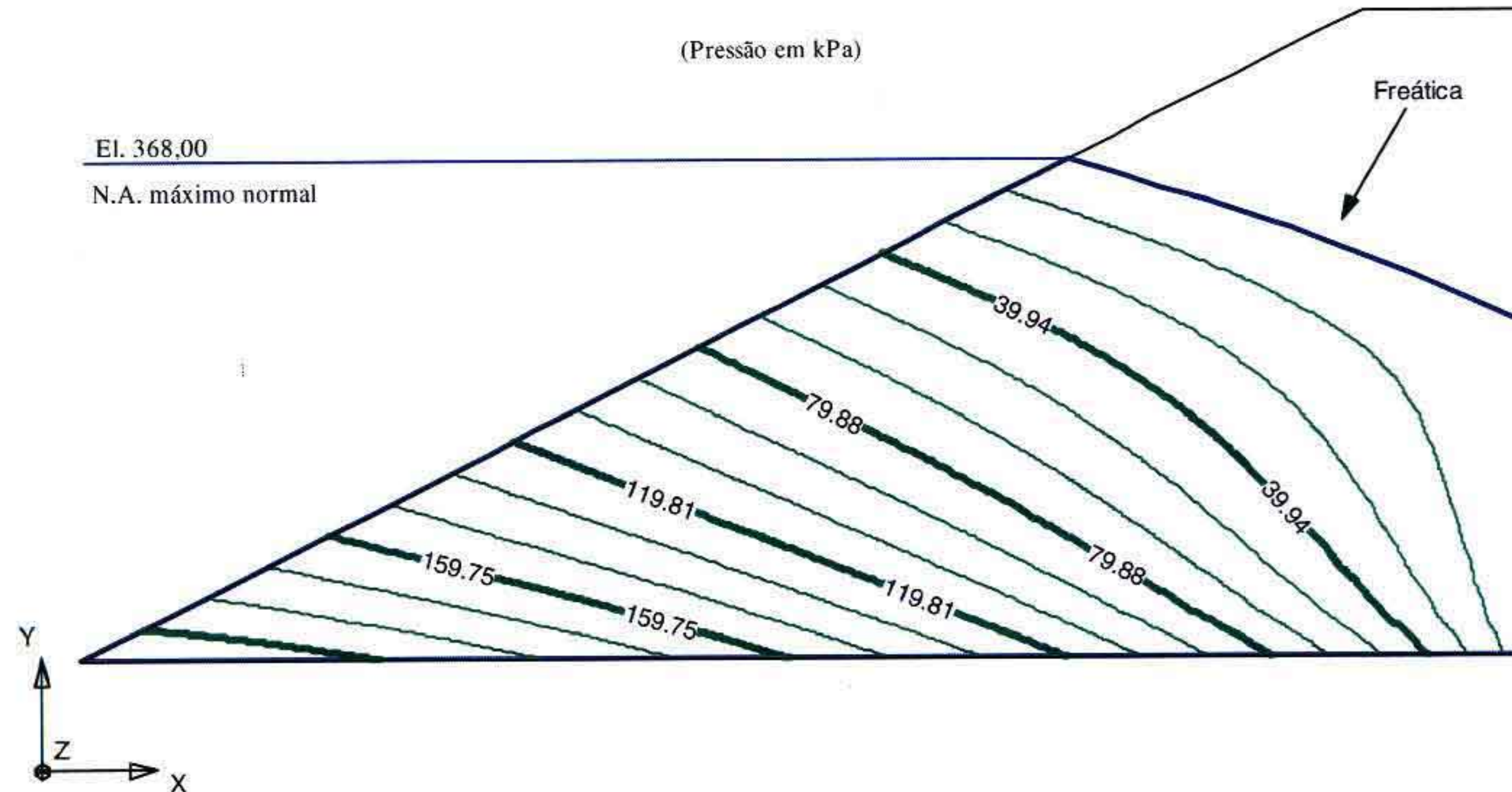


Figura 5.7 – Isolinhas de pressão neutra para seção homogênea de solo (ombreira direita).

5.2.2 Análise de Estabilidade dos Taludes da Barragem

A análise da estabilidade da barragem Arneiroz II foi elaborada recorrendo ao **Método de Spencer**. Para os cálculos foi utilizado o programa computacional **Slide Versão 3.0** desenvolvido pelo Rock Engineering Group da Universidade de Toronto – Canadá, que admite a **representação de envoltórias de resistência não lineares**. O Método de Spencer é um método de equilíbrio limite por corte ao longo da superfície de deslizamento. Trata-se de método das lamelas - a massa delimitada pela superfície de deslizamento é subdividida em um número de fatias variável, que é função da geometria da massa deslizante e dos diferentes tipos de materiais que a constituem. O fator de segurança ao deslizamento de um determinado talude é calculado através de processo numérico iterativo que satisfaz à todas as condições de equilíbrio. Adotou-se este método, por ser considerado, na literatura, como o mais rigoroso.

No respeitante às superfícies de deslizamento, a sua definição foi feita por busca automática, pelo programa Slide. Define-se uma malha onde será feita a procura do círculo mais desfavorável, malha esta que é "varrida" por incrementos segundo os eixos dos "x" e "y" pré-estabelecidos, sendo também variável o raio do círculo. Foram sempre analisados círculos superficiais, intermediários e profundos.

No que respeita à consideração das pressões neutras o programa permite o recurso a hipóteses alternativas, tendo sido no caso em estudo, recorrido as seguintes:

- **Parâmetro B:**

Esta hipótese foi utilizada no estudo da fase de construção tendo o parâmetro B sido caracterizado em função dos materiais constantes da seção transversal. A pressão neutra em um dado ponto foi tomada igual ao produto $n = B \sigma_v$, onde σ_v é a tensão vertical neste ponto. O parâmetro de pressão neutra $B = 0,10$ foi estimado a partir da análise dos ensaios de caracterização geotécnica dos solos dos empréstimos. Com base neste critério foi estabelecida a malha de pontos de pressão neutra para entrada no programa computacional.

- **Rede de Fluxo:**

Hipótese utilizada para a fase de operação, tendo sido a malha de pontos de pressão neutra calculada a partir das linhas equipotenciais obtidas na análise de percolação.

A barragem foi dimensionada considerando-se as condições de carregamento clássicas nas análises de estabilidade de barragens, que são, para a obra em tela, final de período construtivo e período de funcionamento.

Para as seções mais desfavoráveis foram analisadas as seguintes situações da vida da obra:

- Fase de Construção - talude de jusante,
- Fase de Operação - talude de jusante,

a) Características geotécnicas dos materiais

Apresentam-se em seguida as propriedades geotécnicas dos materiais constituintes do corpo da barragem, cuja definição teve em conta a caracterização geotécnica constante no **TOMO II - Volumes 3 e 3A - Estudos Geológicos e Geotécnicos e seus anexos.**

Assim foram definidas as seguintes propriedades

- aterro compactado

peso específico $\gamma = 19,7 \text{ kN/m}^3$,
 coesão $c' = 20 \text{ kPa}$,
 ângulo de atrito interno $\phi' = 28^\circ$
 Envoltória de resistência de Mohr-Coulomb $\tau = 20 + \sigma \text{tg } 28^\circ$

- enrocamento

peso específico $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$.

Através de valores encontrados na literatura, observa-se que o comportamento das envoltórias de resistência do enrocamento são tipicamente não lineares, ou seja, a resistência varia conforme o nível de tensões atuantes no talude. Assim sendo, a resistência do enrocamento foi representada por uma envoltória não linear do tipo $\tau = A\sigma^b$ (Charles, 1990, Cruz, 1996), onde os coeficientes A e b são obtidos através de ensaios triaxiais. Para o enrocamento que será utilizado na obra em tela, que é proveniente de gnaiss, adotou-se a envoltória de resistência dada pela equação $\tau = 1,54\sigma^{0,82}$ (unidades t/m^2), conforme indicado na Ata da 29ª Reunião do Painel de Inspeção e segurança de Barragens, realizada em outubro/2000.

b) Análise dos resultados obtidos

Apresentam-se nas Tabela nº 5.2 e 5.3 os fatores de segurança que traduzem a estabilidade global do corpo da barragem para as seções analisadas.

TABELA 5.2

**ESTABILIDADE DOS TALUDES DA BARRAGEM – SEÇÃO NO LEITO DO RIO
FATORES DE SEGURANÇA**

SITUAÇÃO ANALISADA	FATORES DE SEGURANÇA OBTIDOS	CRITÉRIOS DE SEGURANÇA (*)
Fase de Construção Talude Montante	1,417	1,3
Fase de Operação Talude Jusante	1,647	1,5

(*) Cruz 1996

TABELA 5.3

**ESTABILIDADE DOS TALUDES DA BARRAGEM – SEÇÃO NAS OMBREIRAS
FATORES DE SEGURANÇA**

SITUAÇÃO ANALISADA	FATORES DE SEGURANÇA OBTIDOS	CRITÉRIOS DE SEGURANÇA (*)
Fase de Construção Talude Jusante	1.601	1,3
Fase de Operação Talude Jusante	1.751	1,5

(*) Cruz, 1996.

Os fatores de segurança mínimos obtidos para as diferentes fases de vida da obra garantem a sua adequada estabilidade sendo superiores aos valores exigidos pelo critério, constantes nas Tabelas 5.2 e 5.3.

Nas Figuras 5.8 e 5.9 são apresentados os círculos de ruptura obtidos e os respectivos fatores de segurança mínimos, para seção com espaldar de enrocamento a jusante.

Nas Figuras 5.10 e 5.11 são apresentados os círculos de ruptura obtidos e respectivos fatores de segurança mínimos, para seção homogênea do solo.

BARRAGEM ARNEIROZ II – SEÇÃO COM ESPALDAR DE JUSANTE EM ENROCAMENTO

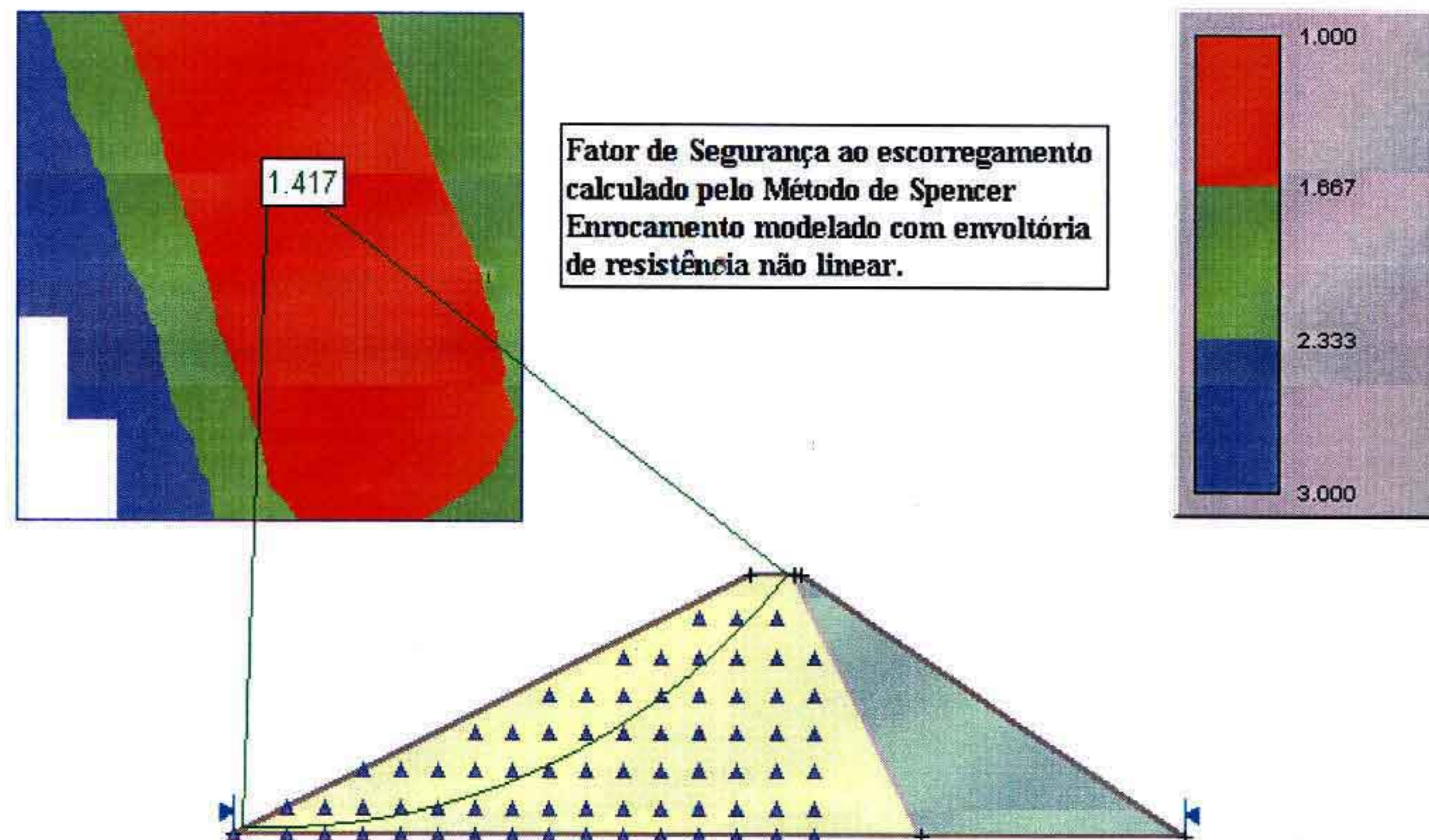


FIGURA 5.8 – Análise de Estabilidade de Taludes – Fase de Construção

BARRAGEM ARNEIROZ II - SEÇÃO HOMOGÊNEA DE SOLO

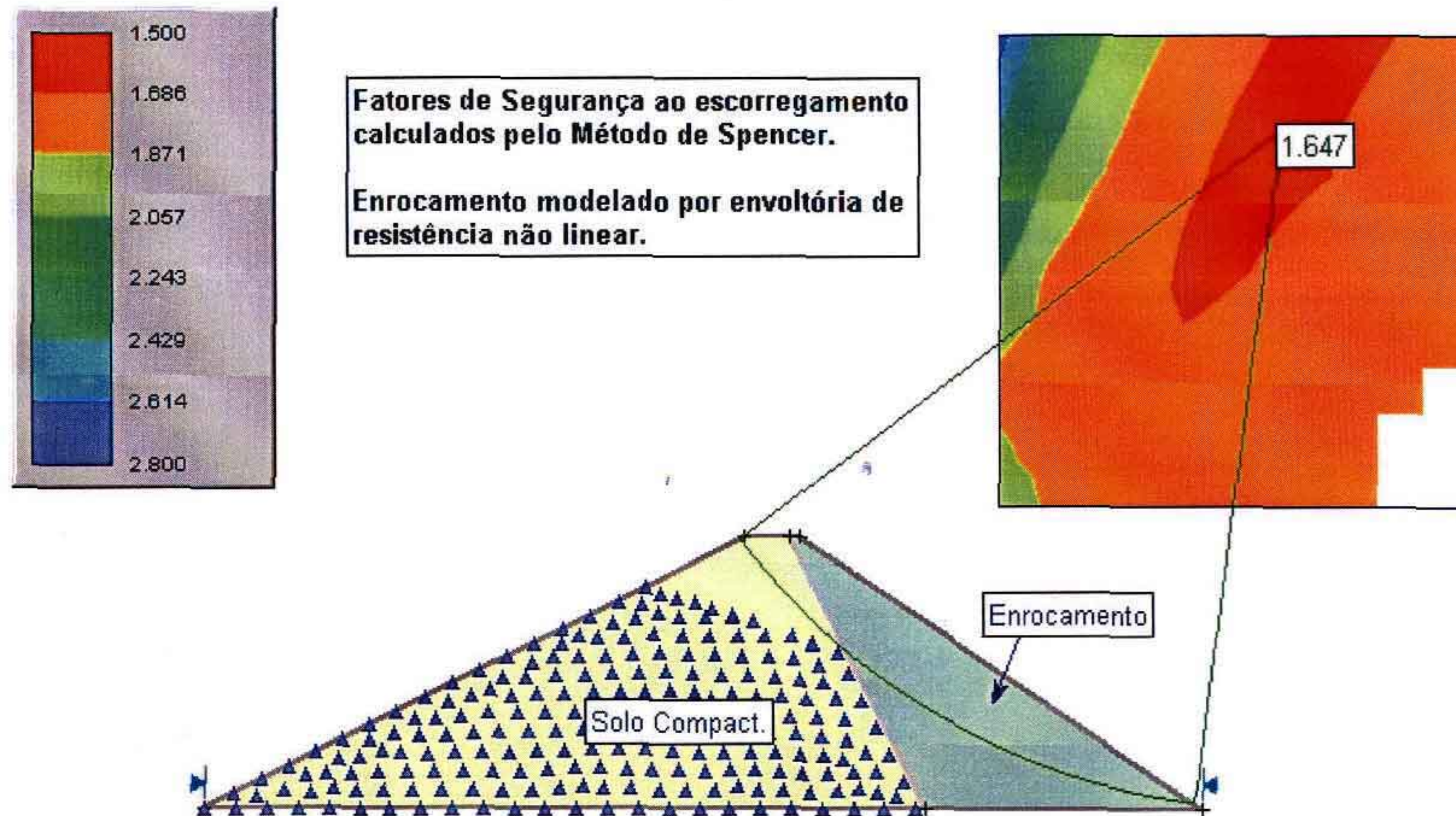


Figura 5.9 - Análise de Estabilidade de Taludes - Fase de Operação

BARRAGEM ARNEIROZ II - SEÇÃO HOMOGÊNEA DE SOLO

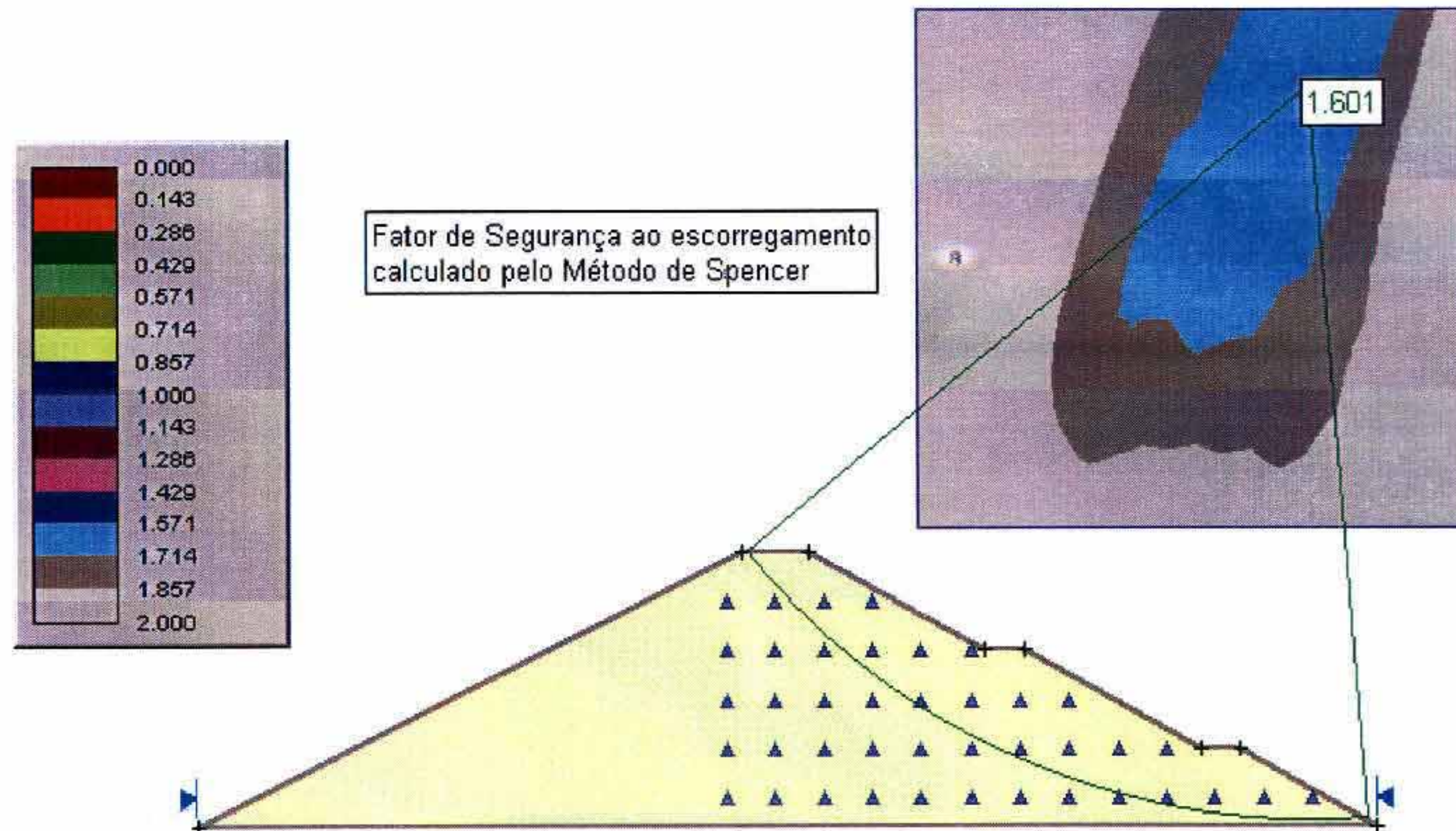


Figura 5.10 – Análise de Estabilidade de Taludes – Fase de Construção

BARRAGEM ARNEIROZ II – SEÇÃO HOMOGÊNEA DE SOLO

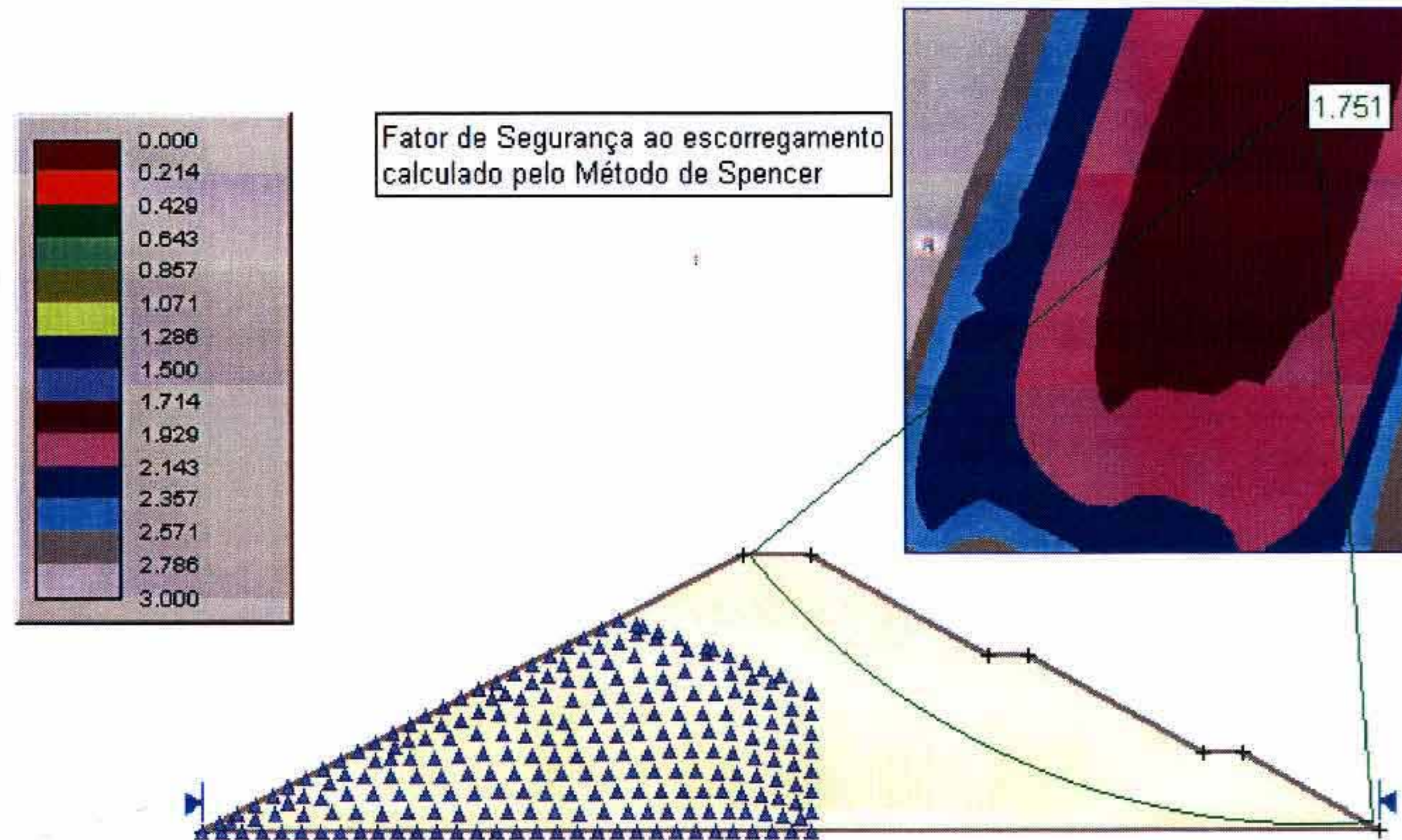


Figura 5.11 – Análise de Estabilidade de Taludes – Fase de Operação

5.3 Dimensionamento das estruturas de concreto

As estruturas de concreto que compõem o arranjo da barragem Arneiroz II são

- Vertedouro,
- Tomada de água, galeria de descarga e dissipador de energia

A seguir são resumidas as características geotécnicas das fundações e os critérios adotados para o dimensionamento das estruturas de concreto

5.3.1 Características das fundações das estruturas

As estruturas de concreto, tanto do vertedouro, quanto da tomada de água serão assentes no maciço rochoso tipo III/IV. Para verificação da segurança das fundações foram estimados os parâmetros de resistência c e ϕ . A definição destes parâmetros foi feita com base no critério generalizado de resistência não linear de maciços rochosos de Hoek e Brown (Hoek, 1998), definido pela equação

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

onde σ_1 e σ_3 são as tensões máximas na ruptura, m_b é o valor da constante m de Hoek-Brown para o maciço rochoso, s e a são valores que dependem das características do maciço e σ_{ci} a tensão de compressão simples dos blocos de rocha intactos. Os valores destas constantes (m_b , s e a) são calculadas através da classificação geomecânica.

A partir da equação de Hoek e Brown é calculada a envoltória não linear de Mohr-Coulomb, onde são tomados os valores de c e ϕ relativamente ao nível de tensões atuantes no maciço, impostas pelo carregamento das estruturas. Para o trecho do maciço onde serão implantadas as estruturas da tomada de água e do vertedouro foram determinados os valores $c = 0.4$ MPa e ϕ° . Os cálculos elaborados são apresentados detalhadamente no Volume 3 – Memória de Cálculo.

5.3.2 Critérios de dimensionamento das estruturas de concreto

Resume-se neste item os critérios gerais observados no dimensionamento das estruturas de concreto

a) Condições de carregamento

Os seguintes casos de carregamento foram considerados nos estudos de estabilidade e respectivos cálculos dos esforços internos (tensões)

- Carregamento normal – corresponde a todas as combinações de ações que apresentem grande probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura, durante a operação normal ou manutenção normal da obra, em condições hidrológicas normais
- Carregamento excepcional corresponde a quaisquer ações de carga de ocorrência eventual de baixa probabilidade de condições hidrológicas excepcionais, manobras de caráter excepcional, efeito sísmico, etc
- para avaliação de subpressão na fundação das estruturas, foi adotado o critério clássico, ou seja, diagrama de pressões variando linearmente do valor do NA de montante até o NA de jusante
- Para cálculo do peso próprio das estruturas foram considerados os seguintes pesos específicos
 - Concreto $24,0 \text{ kN/m}^3$,
 - Aço $78,5 \text{ kN/m}^3$,
 - Água $10,0 \text{ kN/m}^3$

b) Análise estrutural e dimensionamento

Os esforços solicitantes nas estruturas de concreto foram determinados em regime linear elástico, por processos clássicos consagrados na literatura

O dimensionamento das estruturas foi feito por verificações dos estados limites (último e de utilização), com coeficientes de segurança e minoração, e características dos materiais e outros requisitos estabelecidos nas Normas brasileiras NBR - 6118 – Projeto e execução de obras de concreto armado e NBR 7480 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado e suas respectivas normas complementares

c) Segurança global das estruturas

A análise de segurança global das estruturas foi feita considerando os diversos casos de carregamento e englobou a análise de estabilidade no contato concreto-rocha, a verificação entre

as tensões atuantes e as tensões admissíveis dos materiais e a definição dos coeficientes de segurança

- **Análise de estabilidade**

A análise da estabilidade das estruturas foi feita considerando-as como um conjunto monolítico. Assim sendo, as estruturas podem ser assimiladas a um corpo rígido. Os estudos de estabilidade levados a cabo, comprovaram a segurança das estruturas nas seguintes condições

- deslizamento em qualquer plano,
- tombamento,
- flutuação,
- tensões na base da fundação

d) **Coefficientes de segurança**

Para efeitos dos estudos, análises e comportamento de estabilidade das estruturas hidráulicas, os coeficientes de segurança foram assim definidos

- Coeficiente de segurança à flutuação

$$CSF = \frac{\sum V}{\sum U}$$

onde,

CSF = Coeficiente de segurança à flutuação,

$\sum V$ = Somatório das forças gravitacionais,

$\sum U$ = Somatório das forças de subpressão

Foram desprezados os efeitos de atrito despertados nas faces laterais da fundação

- Coeficiente de segurança contra o tombamento

$$CST = \frac{\sum M_e}{\sum M_t}$$

onde,

CST = Coeficiente de segurança contra o tombamento,

$\sum M_e$ = Somatório dos momentos estabilizantes,

$\sum M_t$ = Somatório dos momentos de tombamento

Foram desprezados os efeitos de coesão e de atrito despertados nas superfícies de contato com a fundação

- Coeficiente de segurança ao deslizamento

O coeficiente de segurança ao deslizamento foi calculado pela equação

$$CSD = \frac{N \operatorname{tg} \phi}{\sum HCSD\phi} + \frac{CxA}{\sum HCSDc} \geq 1$$

onde,

CSD = Coeficiente de segurança ao deslizamento,

CSD ϕ = Coeficiente de segurança realtivo ao ângulo de atrito,

CSD c = Coeficiente de segurança realtivo à coesão,

A = Área em contato da fundação,

C = Coesão,

N = Força normal à superfície de deslizamento,

$\sum H$ = Somatório das forças paralelas à superfície de escorregamento,

ϕ = ângulo de atrito característico da superfície de escorregamento em análise.

Salienta-se que no caso da obra em tela, a estabilidade ao deslizamento foi verificada apenas no contato estrutura-fundação, tendo em vista a inexistência de planos de fraqueza no maciço desfavoráveis à estabilidade do conjunto estrutura fundação

- Tensões admissíveis nas fundações

A tensão normal máxima admissível na fundação foi obtida a partir da seguinte relação

$$\sigma_{1 \text{ adm}} = \frac{\text{capacidade de carga da fundação}}{\text{coeficiente de segurança}}$$

A capacidade de carga da fundação foi determinada pelo critério de resistência de maciços rochosos de Hoek e Brown, descrita no item 5.2.3.1 deste relatório, sendo os fatores de segurança adotados conforme o caso de carregamento

Para condição de carregamento normal foi adotado o fator de segurança 3.0 e para a condição de carregamento excepcional foi adotado o fator de segurança 1.5 (Cemig, 1994)

Para os casos de flutuação, tombamento e deslizamento, os coeficientes de segurança mínimos deverão ser

Para a condição de carregamento normal 1.5

Para condição de carregamento excepcional 1,1

Na condição de carregamento excepcional foram adotados.

$CSD\phi = 1,1$

$CSDc = 3,0$

6. DESCRIÇÃO DO PROJETO BÁSICO DAS OBRAS

6.1 Arranjo geral

O arranjo geral da barragem Arneiroz II é composto por uma barragem de terra com crista na El 374,40 m e 1 401 m de comprimento, um vertedouro de superfície com largura de 300 m e soleira livre posicionada na El 368,00 m, locado na margem direita, e pelo sistema destinado à perenização do rio Jaguaribe, composto por uma tomada de água tipo torre, locada na margem direita do rio, uma tubulação de descarga, controlada por válvula borboleta e um dissipador de energia. Um dique de terra homogênea, destinado ao fechamento do trecho entre o muro direito do vertedouro e a ombreira direita, completam as estruturas do barramento.

O desenho nº ARN-100-DE-002 apresenta o arranjo geral do barramento.

6.2 Barragem de terra

A barragem é constituída por um trecho com seção transversal em terra-enrocamento intercalado entre dois trechos com seções transversais homogêneas de solo. O trecho com seção transversal em terra-enrocamento foi locado na região mais baixa do eixo, entre estacas 34+10 e 50+10, e possui enrocamento apenas no espaldar de jusante. Tais características das seções transversais da barragem resultam da disponibilidade de material rochoso, pois, somente foi utilizado material rochoso proveniente das escavações exigidas.

Para o controle de percolação interna da barragem, nas seções homogêneas, foram projetados filtro vertical de areia e tapete drenante horizontal. Na seção mista, foi projetada uma transição composta de duas camadas, sendo uma de areia e outra de material processado.

A crista da barragem situa-se na El 374,40 m e terá 7,0 m de largura, o talude de jusante tem inclinação 1,5 h : 1 v no trecho em terra-enrocamento e 1,8 h : 1 v nos trechos em seções homogêneas de solo. O talude de montante apresenta declividade 2,0 h : 1 v em toda a extensão da barragem. A altura máxima sobre a fundação é da ordem de 34,40 m e o comprimento total 1 400 m, sendo 1175 m entre a ombreira esquerda e o vertedouro e 225 m entre o vertedouro e a ombreira direita (dique). O talude de montante será dotado de proteção tipo "rip-rap" e o de jusante deverá ser protegido com enrocamento fino $D_{max} = 30$ cm.

6.3 Vertedouro

O sistema de extravazão da barragem é constituído por um vertedouro de superfície, em soleira livre tipo Creager. O vertedouro foi projetado com uma largura de 300 m, sendo que em metade da calha a soleira estará situada na El 368,00 m e em metade na El 369,00 m, e, sua capacidade de vazão é de 3436 m³/s (Tr=10000 anos). As soleiras em diferentes níveis são separadas por um muro central.

Para dissipação de energia das vazões vertidas, adotou-se uma bacia de dissipação, do tipo convencional, trabalhando com o ressalto hidráulico confinado, para as faixas de vazões de até 1000 anos. Tal consideração resultou em uma bacia de dissipação com o comprimento de 20,0 m. Este trecho será revestido em concreto, e será dotado de muros guias laterais para confinamento do fluxo e para apoiar a barragem de terra.

6.4 Tomada de Água

A tomada de água é caracterizada por uma estrutura do tipo torre, sem ligação com a margem. Considerando a natureza esporádica da operação do stoplog, o acesso à torre da tomada de água será feito por meio de barco. Um sistema de escadas tipo marinheiro, posicionado ao longo de toda a altura da torre, permite o acesso ao seu topo, qualquer que seja a elevação do nível de água do reservatório. A plataforma de operação do stoplog está localizada na El 374,40. A cota da sua fundação é El 345,00, sendo 29,40 m a altura total da torre. A estrutura foi locada na ombreira direita, entre o leito do rio e o vertedouro.

A galeria de descarga será constituída por um tubo de aço com 0,80 m de diâmetro revestida em concreto visando garantir a compactação no seu entorno. O sistema de descarga será composto por um dissipador de energia com laje impacto, tipo VI do Bureau of Reclamation, sendo a descarga controlada por válvula borboleta e um registro gaveta. Na extremidade jusante foi projetado um vertedouro retangular para permitir a medição de vazões.

6.5 Instrumentação

6.5.1 Objetivo da instrumentação

A previsão de instalação do sistema de instrumentação, objetiva basicamente, acompanhar o comportamento da barragem durante a sua fase operacional e fornecer subsídios para a verificação de sua segurança.

6.5.2 Concepção do sistema de instrumentação

A concepção do sistema de instrumentação para a barragem Arneiroz II foi baseada nas seguintes premissas.

- A barragem terá como fundação um maciço rochoso (gnaisse) de boa qualidade, o que elimina preocupações quanto à deformações.
- As características dos materiais de construção não causam preocupações quanto ao desenvolvimento de pressões neutras durante a fase de construção do aterro

Assim sendo, foi prevista uma instrumentação simplificada e de baixo custo, que auxiliará, basicamente, a verificação do funcionamento do sistema de controle de percolação interna da barragem e os recalques do aterro. Nestas condições, serão monitorados os seguintes parâmetros:

- pressão neutra no corpo do aterro da barragem.
- recalques no aterro

Para tal serão instalados na barragem os seguintes instrumentos

- piezômetros de tubo aberto tipo Casagrande (12 unidades),
- marcos topográficos superficiais (8 unidades)

Além destes instrumentos serão instaladas duas régua limnimétricas, uma na torre da tomada de água, para monitoramento do nível de água no reservatório e outra no vertedouro de medição de vazão, localizado a jusante do dissipador de energia da galeria de descarga

Tendo em vista a altura da barragem e as considerações apresentadas neste item previu-se instrumentar apenas duas seções localizadas, uma na margem esquerda e outra na margem direita, no trecho de maior altura da barragem, na transição entre os trechos de seção homogênea e com espaldar de enrocamento a jusante

7. ORÇAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS

Apresenta-se neste item o orçamento de implantação do empreendimento, elaborado conforme padrão da SRH/CE

O orçamento das obras da barragem Arneiroz II, referente ao Projeto Básico, é apresentado a seguir, em forma de planilha, onde estão discriminados os serviços, os quantitativos, os preços unitários e totais de cada item. Na planilha orçamentária consta também a referência ao critério de medição e pagamento de cada serviço

Os volumes constantes dos quantitativos previstos para cada serviço, foram obtidos nas seções dos desenhos de projeto para os materiais compactados ou espalhados, e nos cortes para os volumes de escavação.

Os preços unitários dos serviços referentes às obras civis foram obtidos a partir da Tabela de Preços Unitários da SRH/CE e através da pesquisa de preços em empresas fornecedoras de materiais e serviços sediadas em Fortaleza. O custo dos equipamentos hidromecânicos foi pesquisado junto aos fabricantes do setor.

O valor total obtido para as obras civis do empreendimento é R\$ 16 843 306,11

Apresenta-se a seguir a planilha de quantidades e custos

SRH CE	BARRAGEM ARNEIROZ II PROJETO BÁSICO PLANILHA DE QUANTITATIVOS E PREÇOS					DATA JAN/2001
	ITEM	DESCRIÇÃO	MP	UNID	QUANT	PREÇO UNIT
1	SERVIÇOS GERAIS - ET-2					
1.1	Instalação, manutenção e remoção do canteiro	2.1	m ²	1.215,00	320,00	388.800,00
1.2	Melhorias na estrada de terra de ligação entre Arneiroz e a barragem, pela margem direita do rio Jaguaribe	2.2	km	11,00	10.350,00	113.850,00
1.3	Relocação de redes elétricas	2.3	km	7,70	8.500,00	65.450,00
1.4	Execução, instalação e manutenção de placas	2.4	m ²	64,00	100,00	6.400,00
1.5	Fornecimento e assentamento de meio fio no coroamento da barragem	6.6.2	m	2.802,00	11,08	31.046,16
Total do item 1						605.546,16
2	ESCAVAÇÕES - ET-3					
2.1	Desmatamento, destocamento e limpeza da área de fundação das estruturas definitivas	3.1	m ²	145.406,00	0,55	79.973,30
2.2	Escavação, carga, transporte e lançamento em bota-fora ou nos aterros, de material comum dentro da linha de projeto	3.2	m ³	156.596,00	2,46	385.226,16
2.3	Escavação em rocha no canal do vertedouro, carga, transporte e lançamento nos aterros, em estoque ou na central de britagem	3.3.2	m ³	193.028,00	16,75	3.233.219,00
2.4	Escavação em rocha na fundação das estruturas de concreto e no canal do vertedouro, com a utilização de fogos de contorno, carga, transporte e lançamento nos aterros em estoque ou na central de britagem	3.3.3	m ³	10.500,00	19,03	199.815,00
Total do item 2						3.898.233,46
3	ATERROS - ET-4					
3.1	Barragem - ZONAS 1/1A					
3.1.1	Aterro com material areno-argiloso proveniente de áreas de empréstimo, incluindo exploração, transporte, lançamento, espalhamento e compactação do material	4.2	m ³	724.553,00	6,73	4.876.241,69

3.2	Barragem - ZONA 2					
3.2.1	Execução dos filtros e transições, com areia natural, incluindo o fornecimento da areia, carga, transporte, lançamento, espalhamento e compactação	4.3	m ³	52 988 00	10.52	557 433 76
3.3	Barragem - ZONA 3					
3.3.1	Execução da zona de transição com material rochoso, incluindo o fornecimento, carga, transporte, lançamento, compactação e a preparação	4.4	m ³	12 178 00	25.62	312 000 36
3.4	Barragem - ZONA 4					
	Maciço de Enrocamento					
3.4.1	Execução do maciço com rocha proveniente diretamente das escavações exigidas, incluindo espalhamento e compactação	4.5.2	m ³	32 300 00	2.34	75 582 00
3.4.2	Execução do maciço com rocha proveniente de estoques, incluindo recarga, transporte, descarga, espalhamento e compactação	4.5.3	m ³	129 200 00	6.50	839 800 00
3.5	Barragem - ZONA 5A e 5					
	Barragem - ZONA 5					
3.5.1	Colocação de rocha selecionada proveniente das escavações exigidas, incluindo espalhamento e acerto de blocos	4.6.2	m ³	2 800 00	2.34	6 552 00
3.5.2	Colocação de rocha selecionada retirada de estoque, incluindo recarga, transporte, descarga, espalhamento e acerto do material	4.6.3	m ³	6 433 00	6.50	41 814 50
	Barragem Zona - 5A					
3.5.3	Execução da zona de transição com material rochoso beneficiado, incluindo o fornecimento, carga, transporte, lançamento, compactação e a preparação da superfície	4.4	m ³	28 258 00	25.62	723 969 96
3.6	Barragem - ZONA 6 - acabamento da crista					
3.6.1	Execução do acabamento da crista da barragem com material rochoso fino proveniente de estoques, incluindo recarga, transporte, espalhamento e compactação do material	4.7	m ³	2 800.00	6.50	18 200.00

3.7	Barragem - Zona 7 - Proteção do talude jusante					
3.7.1	Execução da proteção do talude jusante com enrocamento fino diâmetro máximo 30 cm (bica corrida), proveniente das escavações exigidas	4.8.1	m ³	1.300,00	2,34	3.042,00
3.7.2	Execução da proteção do talude jusante com enrocamento fino diâmetro máximo 30 cm (bica corrida), proveniente de estoques	4.8.2	m ³	5.029,00	6,50	32.688,50
3.8	Execução do reaterro do pé da barragem com material terroso vindo das escavações obrigatórias incluindo espalhamento e compactação		m ³	3.920,00	1,72	6.742,40
Total do item 3						7.494.067,17
4	ESTRUTURAS DE CONCRETO - ET-7					
4.1	Fornecimento e colocação do concreto, incluindo tratamento superficial da fundação, fornecimento dos materiais, fabricação, colocação e cura do concreto					
4.1.1	Concreto com fck>=18 MPa	5.2.2	m ³	11.115,00	185,00	2.056.275,00
4.1.2	Concreto com fck>=26 MPa	5.2.3	m ³	3.927,00	205,00	805.035,00
4.1.3	Concreto ciclóbico para regularização	5.2.4	m ³	100,00	145,00	14.500,00
4.1.4	Concreto magro de regularização	5.2.5	m ³	18,00	145,00	2.610,00
4.2	Fornecimento dos materiais, fabricação, colocação e retirada das formas incluindo elementos de apoio, andaimes, escoramentos e peças de fixação	5.3	m ²	7.807,00	41,00	320.087,00
4.3	Fornecimento, corte, dobra e colocação das armaduras incluindo arames de amarração, separadores, suspensores e outras peças de fixação					
4.3.1	Aço tipo CA-50	5.4.2	kg	375.000,00	2,10	787.500,00
4.4	Fornecimento e colocação de dispositivos de vedação tipo junta Fungenband O-22 ou similar incluindo todos os acessórios e trabalhos necessários à aplicação	5.5	m	675,00	40,00	27.000,00
4.5	Fornecimento e colocação dos tubos de aeração	5.6	m	26,70	85,00	2.269,50

46	Fornecimento e colocação de tubos de drenagem e acessórios	5 6	m	18 00	95 00	1 710.00
47	Colocação e fornecimento das peças metálicas do guarda-corpo do vertedouro, incluindo todos serviços	5 7	kg	1 364.00	6.80	9 275.20
48	Colocação e fornecimento de guarda corpo, escadas tipo marneiro, e peças metálicas diversas da tomada de água	5 7	kg	495.00	6.80	3 366.00
49	Grade metálica de proteção no dissipador	5 7	kg	836 00	6 80	5 684 80
Total do item 4						4.035.312,50
5 SERVICOS ESPECIAIS - ET-8						
5 1	Execução do tratamento subsuperficial da fundação da baragem de terra e vertedouro incluindo o fornecimento dos materiais e equipamentos necessários a execução das furações, ensaios e injeções					
5 1 1	Execução dos furos exploratórios a rotativa, diâmetro NX, incluindo ensaios e lavagem dos furos					
5 1 1 1	Execução à rotativa em rocha, diâmetro NX, com retirada e classificação dos testemunhos, ensaios de perda d'água e lavagem do furo	6 2 2	m	408 00	200.00	81 600.00
5 1 2	Execução de furos a roto-percussão, diâmetro mínimo de 2 1/2", com revestimento no capeamento e lavagem do furo no trecho em rocha					
5 1 2 1	Execução do furo a roto-percussão na rocha, incluindo a lavagem do furo	6 2 3 1	m	3 024 00	30 00	90 720.00
5 1 2 2	Execução da reperfuração de calda injetada pelo processo de injeção descendente	6 2 3 2	m	132.00	15.00	1 980.00
5 1 3	Execução da cortina de injeção a partir dos furos executados e lavados, incluindo o fornecimento de todos os materiais e equipamentos					

5 1 3 1	Execução de todos os serviços de injeção incluindo o fornecimento e aplicação dos materiais e equipamentos, excetuando o fornecimento, manuseio a aplicação do cimento bentonita e areia	6 2 4 2	m	3 432.00	30.00	102 960.00
5 1 3 2	Fornecimento, manuseio e aplicação do cimento e areia					
5 1 3 2 a	Cimento	6 2 4 3 a	t	103.00	140.00	14 420.00
5 1 3 2 b	Bentonita	6 2 4 3 b	t	2.10	600.00	1 260.00
5 1 3 2 c	Areia	6 2 4 3 c	t	5.50	3.79	20.85
5 2	Execução das ancoragens das estruturas de concreto incluindo colocação e fornecimento dos materiais	6 3	un	1 244.00	146.00	181 624.00
5 3	Instrumentação					
5 3 1	Colocação e fornecimento dos piezômetros de tubo tipo Casagrande incluindo a execução dos furos	6 4 1	un	12.00	1 500.00	18 000.00
5 3 2	Colocação e fornecimento dos marcos topográficos, incluindo os marcos referenciais	6 4 2	un	11.00	120.00	1 320.00
5 3 3	Colocação e fornecimento das escalas limnimétricas na tomada de água	6 4 3	un	30.00	105.00	3 150.00
5 3 4	Colocação e fornecimento das escalas limnimétricas no dissipador	6 4 3	un	3.00	105.00	315.00
5 3 5	Execução de medidores de vazão	6 4 4	un	2.00	258.00	516.00
5 4	Execução da drenagem das estruturas de concreto, incluindo fornecimento e colocação dos tubos	6 5	m	660.00	20.00	13 200.00
5 5	Drenagem Superficial					
5 5 1	Execução da drenagem superficial de barragem de terra, incluindo fornecimento e colocação das meias canas (diâmetro 60cm)	6 6 1	m	640.00	60.00	38 400.00
5 5 2	Execução da drenagem superficial de barragem de terra, incluindo fornecimento de materiais e execução de caixas de passagem e descidas d'água	6 6 2	m	140.00	450.00	63 000.00
5 5 3	Execução de bueiro tubular Ø 60cm	6 6 3	m	25.00	485.00	12 125.00
	Total do item 5					624.610.85

6	EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS DA TOMADA DE ÁGUA, E DO DESCARREGADOR - ET-9					
6.1	Conjunto componente da grade constituído do painel, peças fixas, viga pescadora rastelo e acessórios	7.2	cjto	1.00	15 100.00	15 100.00
6.2	Conjunto componente do stoplog, constituído do painel, peças fixas viga pescadora e acessórios	7.3	cjto	1.00	40 779.00	40 779.00
6.3	Peça metálica de transição seção quadrada para seção circular	7.4	cjto	1.00	2 500.00	2 500.00
6.4	Tubulação de aço diâmetro 800 mm	7.5	cto	1.00	78 000.00	78 000.00
6.5	Válvula borboleta diâmetro 800 mm	7.6	un	1.00	17 958.00	17 958.00
6.6	Valvula gaveta diâmetro 800 mm	7.7	un	1.00	23 198.97	23 198.97
6.7	Talha Manual capacidade 2 t	7.8	un	1.00	8 000.00	8 000.00
	Total do item 6					185 535.97
	TOTAL GERAL					16.843.306,11

8. CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO

O programa de construção da barragem Arneiroz II é apresentado no Cronograma de Implantação constante no Volume II – Desenhos e também, a seguir, neste item. O cronograma mostra o empreendimento em suas fases principais de construção e fornecimentos

Os estudos elaborados para definição dos prazos de execução, concluíram pela adoção de um período de 18 meses para execução da obra

Procurou-se, no desenvolvimento do programa de construção da barragem Arneiroz II, adequá-lo às características hidrológicas do semi-árido brasileiro, que impõem ao rio Jaguaribe um regime intermitente. Tipicamente o rio permanece seco durante a maior parte do ano, com escoamento praticamente entre os meses de fevereiro a março

Esta peculiaridade do rio Jaguaribe permite que a execução da obra seja levada a cabo sem a necessidade de construção de estruturas de desvio, fato este, que reveste-se de importância no respeitante à redução do orçamento global da obra. Assim sendo, o programa de construção deverá respeitar rigorosamente o regime hidrológico da região

Tendo em vista estas condições, a construção da barragem deverá ser executada na seguinte sequência

- execução do vertedouro,
- execução da tomada de água,
- execução da barragem no trecho das ombreiras direita e esquerda,
- execução da barragem na zona baixa do eixo e leito do rio, após o período de chuvas

Assim, o programa de construção desenvolver-se-á conforme descrito a seguir.

a) período de Janeiro a Maio/Ano 1

Nesta etapa, que engloba o período de chuvas deverão ser executadas as seguintes estruturas

- escavação do vertedouro,
- escavação da barragem em toda a sua extensão,
- início do tratamento de fundações do vertedouro e barragem,
- contratação do projeto e fabricação dos equipamentos hidromecânicos,
- início do aterro compactado nas ombreiras

b) período de Junho/Ano 1 a Fevereiro/Ano 2

Nesta etapa que corresponde ao período seco deverão ser executadas

- término das escavações em rocha do vertedouro,
- escavação da tomada de água,

-
- concretagem do vertedouro,
 - concretagem da tomada de água,
 - prosseguimento do aterro da barragem nas ombreiras,
 - limpeza geral da zona baixa/leito do rio para retirada de materiais eventualmente carregadas pela cheia,
 - tratamento de fundações da barragem,
 - execução da barragem nas ombreiras (prosseguimento) e na zona baixa do eixo e leito do rio
- Salienta-se que a barragem deverá na El 369,00 no final de fevereiro do ano 2. A cheia deste ano será escoada pelo vertedouro da obra, que já estará concluído,
- montagem dos equipamentos hidromecânicos

c) período de Março a Junho/Ano 2

Neste período deverão ser executados os seguintes trabalhos

- complementação da barragem até a crista,
- acabamentos da crista,
- drenagem superficial *

9. EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do cronograma de implantação previsto no item 8 deste relatório, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamentos indicada na lista a seguir.

ITEM	EQUIPAMENTO	QUANT. MÍNIMA
1	Trator de esteiras tipo CAT-D8 ou similar	4
2	Trator de esteiras tipo CAT-D6 ou similar	4
3	Carregadeira frontal tipo CAT-966 ou similar	4
4	Retro escavadeira tipo CAT- 225 ou similar	2
5	Caminhão basculante M Benz, cap 18 t ou similar	30
6	Caminhão basculante Randon ou similar, cap 20 t	6
7	Caminhão basculante M Benz ou similar, cap 8m ³	4
8	Motoniveladora tipo FIAT-FG70 ou similar	3
9	Caminhão pipa cap 10 000l	6
10	Rolo compactador pé de carneiro, auto-propelido, tipo CA-25 ou similar	2
11	Rolo compactador liso vibratório, tipo CA-15 ou similar	2
12	Rolo compactador tipo Dynapac CA-35 ou similar	1
13	Compactador manual	6
14	Grade de disco – 24"	3
15	Trator agrícola, tipo Massey-Fergusson ou similar	3
16	Perfuratriz hidráulica tipo *** Atlas Copco ou similar	1
17	Compressor de ar tipo *** Atlas Copco ou similar	2
18	Central dosadora de concreto cap 15 m ³ /h	1
19	Central de britagem cap 50 m ³ /h	1
20	Caminhão betoneira cap 5 m ³	3

10. CANTEIRO DE OBRAS

A área destinada à instalação do canteiro de obras está mostrada no desenho nº ARN-100-DE-002, e localiza-se a jusante do eixo do barramento, na margem direita do rio Jaguaribe Optou-se por instalar o canteiro nesta região, tendo em vista que as estruturas de concreto da obra também estão situadas nesta margem. Desta forma é possível concentrar as instalações destinadas à produção de concreto, próximo ao seu local de execução, facilitando o gerenciamento e a fiscalização dos serviços Além disso, o acesso à obra se fará pela margem direita, através da estrada existente, que liga a cidade de Arneiroz ao local de implantação do empreendimento Esta estrada deverá sofrer melhorias para comportar o tráfego durante as obras. O acesso ao canteiro será feito a partir desta estrada

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUREAU OF RECLAMATION, 1974 *Design of Small Dams* United States Government Printing Office Washington D C
- CRUZ, P T, 1996 *100 Barragens Brasileiras – Casos históricos, materiais de construção e projeto*. Oficina de Textos, São Paulo, 648 p
- FELL, R, MACGREGOR, P, STAPLEDON, D 1992 *Geotechnical Engineering of Embankment Dams* A A Balkema, Rotterdam, 675 p
- BOURDEAUX, G H R M, ÁVILA, J P 1979 *Curso sobre Projeto e Construção de Barragens de Terra e Enrocamento* – brochura.
- VARGAS, M 1977 *Introdução à Mecânica dos Solos* Mcgraw-Hill do Brasil, Ed da USP São Paulo, 509p.
- CHARLES, J A. 1990 *Laboratory Shear Strength Tests and the Stability of Rockfill Slopes* In E Maranha das Neves (Ed.), *Advances in Rockfill Structures*, British Crown, London, p53-72.
- ECGL/The U S Department of Defense 1999 *GMS-Groundwater Modeling System/Seep2D - User's Manual*, Provo (2 volumes)
- ROCSCIENCE (Univ of Toronto, Ca) (2000) *Slide – 2D Slope Stability Analysis for Soil and Rock Slopes* – User's Guide, 140p
- PENMAN, A D M, SAXENA, K R, SHARMA, V M 1999 *Instrumentation, Monitoring and Surveillance – Embankment Dams* Balkema, Rotterdam. 282 p
- AGUASOLOS – Consultoria de Engenharia Ltda. 1989, *Primeiras Observações sobre os Boqueirões Opcionais nas Proximidades de Arneiroz*. DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Fortaleza-CE.
- ARAÚJO, W C, 2000. *Avaliação dos Custos de Água Bruta Associados a Diversas Garantias na Bacia do Rio Paraíba*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
- CAMPOS, J N B, 1996, *Dimensionamento de Reservatório – O Método do Diagrama de Regularização*. Edições UFC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- CARVALHO, N O, 1994, *Hidrossedimentometria Prática*. CPRM/ELETROBRÁS, Rio de Janeiro-RJ
- CHOW, V T. 1959. *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill International Student Edition, Tokyo.

- CHOW, V T, MAIDMANT, D R, MAYS, L W., 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, Singapore
- COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 2000, *Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Rio Jaguaribe – Estudos de Base de Hidrologia*, Tomo I Atualização e Análise de Dados Hidrometeorológicos, Fortaleza-CE
- ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A., 1998. *Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros*, Diretoria de Planejamento e Engenharia, Rio de Janeiro-RJ
- FERNANDES, L., 2000. *Processo Hidrossedimentológico na Bacia do Açude Acarape do Meio – Ceará*. Dissertação de Tese de M. Sc., UFC - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
- FRENCH, R H, 1986. *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill International Student Edition, Singapore
- NIMER, E., 1979. *Climatologia do Brasil*, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro-RJ
- PETERKA, A J., 1984. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. Engineering Monograph No. 25, US Bureau of Reclamation, Denver, CO
- SENTURK, F., 1994. *Hydraulics of Dams and Reservoirs*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO
- SETZER, J., PORTO, R L., 1979. “Tentativa de Avaliação de Escoamento Superficial de Acordo com o Solo e o Seu Recobrimento Vegetal nas Condições do Estado de São Paulo” In *Boletim Técnico DAEE*, Vol 2, No 2, pp 82-102, Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo-SP
- SRH/CE – Secretaria dos Recursos Hídricos, 1992, *Plano Estadual dos Recursos Hídricos Estudos de Base I*, Governo do Estado do Ceará, Fortaleza-CE
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1977, *Hydraulic Design Criteria*, Waterways Experiment Station Corps of Engineers, Vicksburg, MI
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1998. *HEC-HAS River Analysis System – User’s Manual*. Version 2 1. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2000, *HEC-HMS Hydrologic Modelling System – User’s Manual*. Version 2 0. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA
- US BUREAU OF RECLAMATION, 1974, *Design of Small Dams*, A Water Resources Technical Publication, Washington, DC