

MÓDULO III – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM JENIPAPEIRO

VOLUME 1 – ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 1 – RELATÓRIO GERAL

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Mai/02	Apresentação – Edição Definitiva	CONSÓRCIO	TAD	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	8
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	10
<u>3 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	13
<u>3.1 - TRABALHOS CARTOGRÁFICOS</u>	14
<u>3.2 - TRANSPORTE DE COORDENADAS</u>	14
<u>3.3 - TRANSPORTE DE COTAS</u>	15
<u>3.4 - LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO</u>	15
<u>3.5 - LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA</u>	17
<u>3.5.1 - Cobertura Aerofotogramétrica</u>	17
<u>3.5.2 - Mapeamento Planialtimétrico</u>	19
<u>3.6 - LEVANTAMENTO DOS EMPRÉSTIMOS</u>	20
<u>3.6.1 - Jazida</u>	20
<u>3.6.2 - Areal</u>	20
<u>3.6.3 - Pedreira</u>	21
<u>3.7 - SÍNTESE DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO</u>	21
<u>4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS</u>	22
<u>4.1 - GEOLOGIA REGIONAL</u>	23
<u>4.2 - GEOLOGIA LOCAL</u>	28
<u>4.3 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE</u>	29
<u>4.3.1 - Sangradouros</u>	30
<u>4.3.2 - Barragem</u>	31
<u>4.3.3 - Diagrama de Fraturas</u>	32
<u>4.4 - INVESTIGAÇÕES DO BARRAMENTO</u>	32
<u>4.4.1 - Sondagens a Pá e Picareta</u>	33
<u>4.4.2 - Sondagens à Percussão</u>	33

4.4.3 - Sondagens Rotativas e Mistas	35
4.4.4 - Ensaios de Campo	36
4.5 - INVESTIGAÇÕES DO SANGRADOURO	36
4.5.1 - Sondagens a Pá e Picareta	36
4.5.2 - Sondagens à Percussão	37
4.5.3 - Sondagens Rotativas e Mistas	38
4.6 - ESTUDOS DOS MATERIAIS	39
4.6.1 - Jazidas	39
4.6.2 - Areal	41
4.6.3 - Pedreira	41
5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS	42
5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	43
5.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	46
5.3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	47
5.3.1 - Chuvas Intensas	48
5.4 - ESTUDOS DE CHEIAS	49
5.4.1 - Precipitação Efetiva para aplicação do HEC-1	51
5.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS	52
5.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO	54
5.5.1 - Resultados	54
5.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	57
5.6.1 - Análise econômica	57
5.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório - Análise hidrológico-econômica	58
5.7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO	59
5.7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório	59
5.7.2 - Resultados	60

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pelo Consórcio JP ENGENHARIA – AGUASOLOS – ESC/TE, no âmbito do Contrato nº 005/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH/2001, assinado em 22/03/2001 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a Elaboração dos Estudos de Viabilidade Técnica, Ambientais e Econômicas, EIAS-RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliações Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPAPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Adutoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Módulos, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

Módulo I – Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Adutoras

VOLUME I – Estudo de Alternativas e Opções para a Localização dos Eixos Barráveis e Adutoras

Módulo II – Estudos dos Impactos no Meio Ambiente

VOLUME I – Estudos Básicos e Diagnóstico

Tomo 1 – Estudos Básicos

Tomo 2 – Diagnóstico Ambiental

VOLUME II – EIA/RIMA

Tomo 1 – Relatório Preliminar dos Estudos Ambientais

Tomo 2 – Relatório Final EIA/RIMA

Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME II – Anteprojeto

Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral

Tomo 2 – Plantas

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I – Levantamento Cadastral

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

Tomo 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico

Tomo 2 – Programação das Ações

Tomo 3 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Tomo 4 – Relatório Final do Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Levantamentos Topográficos

Tomo 2 – Investigações Geotécnicas

VOLUME II – Anteprojeto

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medição e Pagamento

Tomo 5 – Plantas

Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção

Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 1 – Relatório Geral da Barragem Jenipapeiro*, e é parte integrante do *Módulo III*.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

O presente relatório, é parte integrante de um conjunto de estudos que estão sendo apresentados e que permitirão, ao final, definir a solução técnica mais viável para a elaboração do Projeto da Barragem, tendo sido elaborado de forma a atender os requisitos básicos estabelecidos pela SRH, configurados nos Termos de Referência, os quais reúne as informações técnicas essenciais ao desenvolvimento dos trabalhos.

O objetivo desse relatório é fazer uma descrição sintética de todas as atividades desenvolvidas nos Estudos Básicos referentes aos estudos topográficos, cartográficos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos, desenvolvidos para subsidiar o Projeto Executivo da Barragem Jenipapeiro.

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O local do barramento denominado Jenipapeiro, situa-se no riacho Jenipapeiro a jusante da confluência com o riacho Pombas. No local do barramento, o Jenipapeiro situa-se no limite dos municípios de Baixio e Umari no Estado do Ceará.

O município de Baixio, situa-se na região de Lavras da Mangabeira, na porção sudeste do estado do Ceará, seus limites são: ao norte - Umari; ao sul - Ipaumirim; ao leste - Estado da Paraíba e ao oeste - Lavras da Mangabeira. A distância rodoviária a Fortaleza é de 427 km e o seu acesso é feito pela BR-116, CE-286 e CE-151.

O município de Umari situa-se na região de Lavras da Mangabeira, na porção sudeste do Estado do Ceará. Limita-se ao norte com Icó, ao sul com Baixio, ao leste com Triunfo e Santa Helena na Paraíba e ao oeste com Lavras da Mangabeira e Cedro. A distância rodoviária até Fortaleza é de 415 km. O acesso ao município pode ser feito pela BR-116 e CE-284.

O acesso ao eixo barrável, é feito partindo-se de Fortaleza pela rodovia BR-116, até o quilômetro 404, entroncamento com a CE-284. Neste ponto toma-se a direção leste (esquerda) até a cidade de Umari. A partir de Umari segue-se pela rodovia CE-151 (não pavimentada), em direção a Baixio até aproximadamente 6 km onde se toma a direita uma estrada carroçável. Percorrendo-se essa estrada por mais 5km chega-se ao local do boqueirão na localidade denominada Xique-Xique (ver figura 2.1 a seguir).

Figura 2.1

Mapa de localização

Arquivo Corel

3 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

3- ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

3.1 - TRABALHOS CARTOGRÁFICOS

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE, na escala de 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40m. Sobre a base cartográfica foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica da barragem. Para esses estudos também foram utilizadas fotos aéreas da região e o Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:250.000. A carta da SUDENE utilizada foi a de Cajazeiras, folha nº SA.24-Z-A-IV.

O contorno da bacia hidrográfica da Barragem Jenipapeiro está apresentado na Figura 3.1 a seguir.

3.2 - TRANSPORTE DE COORDENADAS

Foram utilizados como ponto de partida, marcos geodésicos do IBGE existentes na área em estudo (Vértice Boqueirão de latitude 06°42'30,1175"S, longitude 38°57'00,5680"W e altitude de 478,70m; e o Vértice Pedra Sozinha de latitude 06°51'58,0050"S, longitude 38°46'39,1130"W e altitude 574,38m). Foram implantados seis marcos (M-00 a M-05) que serviram de origem para o traçado do malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas.

Os marcos implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem a RN-1875R, de cota 269,057m e chegada na RN-1876E, de cota 272,6990m, ambas do IBGE, com precisão de $8mm\sqrt{k}$, e foram nivelados 20,5805km. O Quadro 3.1, a seguir, apresenta a relação dos marcos implantados com a descrição de suas localizações, coordenadas UTM e coordenadas geodésicas.

Quadro 3.1 – Marcos Implantados na Barragem Jenipapeiro

Ponto	Localização (¹)	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Norte	Este		
Marco M-00 ⁽²⁾	Km 8,36 LD	9.262.635,927	527.001,157	38°45'20,20275"W	06°40'14,80328"S
Marco M-01	Km 7,56 LE	9.262.457,250	528.911,055	38°44'18,33183"W	06°40'20,59026"S
Marco M-02 ⁽³⁾	Km 8,83 LD	9.262.116,191	527.297,069	38°45'10,89541"W	06°40'31,72412"S
Marco M-03 ⁽⁴⁾	Km 5,88 LD	9.263.045,893	529.045,252	38°44'13,97110"W	06°40'01,41849"S
Marco M-04 ⁽⁵⁾	Km 4,70 LD	9.263.040,999	530.142,474	38°43'38,23382"W	06°40'01,55848"S
Marco M-05 ⁽⁶⁾	Km 4,39 LE	9.262.953,373	530.450,331	38°43'28,20512"W	06°40'04,40649"S

(¹) A localização dos marcos teve como Km 00 o cruzamento da Avenida Dom Quintino com a Rua 31 de Março, próximo a Delegacia de Polícia. Para uma melhor visualização dos marcos no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, no item 11.1, esta apresentada a Monografia dos Vértices Implantados.

(²) Este marco (M-00) está localizado na Estaca 0=00 do eixo da barragem.

(³) Este marco (M-02) está localizado na Estaca 29+13,00m do eixo da barragem.

(⁴) Este marco (M-03) está localizado na Estaca 31+3,00m do eixo da barragem.

(⁵) Este marco (M-04) está localizado na Estaca 11+10,00m do eixo da ombreira esquerda.

(⁶) Este marco (M-05) está localizado na Estaca 22+18,00m do eixo da ombreira esquerda.

As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma frequência com duração de rastreamento de 01 hora.

No Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, do Módulo III, encontram-se os cálculos realizados para o transporte de coordenadas, bem como os procedimentos adotados para a implantação dos marcos.

3.3 - TRANSPORTE DE COTAS

O transporte de cotas se fez a partir do marco do IBGE, RN N° 1875R, de cota igual a 269,056m, localizado na plataforma da estação ferroviária de Baixo-CE, através de poligonais de nivelamento e de contra-nivelamento levantadas com equipamento topográfico de precisão compatível com os serviços, Nível Automático Soksha C.3.A.

A poligonal de contra-nivelamento foi levantada após a execução da poligonal de nivelamento. Estas poligonais são apresentadas nas cadernetas de campo, apresentadas no Capítulo 4 – Anexo, do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

3.4 - LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO

O levantamento do eixo barrável foi executado com uma abrangência numa faixa de domínio de 150 metros à montante e 150 metros à jusante do referido eixo. Foram levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada.

Os levantamentos dos eixos longitudinal e transversal do sangradouro seguiram a sistemática descrita anteriormente, sendo que as seções tiveram seus levantamentos prolongados à montante, até a cota fixada para soleira, e à jusante, até encontrarem o leito do rio. Para distâncias maiores, o levantamento até o leito do rio foi feito acompanhando o canal de sangria, através de poligonais seccionadas a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros.

Utilizando-se um Teodolito Soksha TM-20-C, locou-se o eixo da barragem e as duas opções de sangradouro, os quais foram materializados a cada 20 metros por pontos estaqueados, numerados e cotados, podendo ser encontradas estacas intermediárias indicando elementos importantes, tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc.

Foram instalados 05 marcos de concreto, dos quais 04 localizam-se no eixo estudado, e facilitam uma futura relocação. O primeiro denominado de M0 foi implantado na estaca 00 do eixo da barragem, com cota 260,420m; o segundo, denominado de M2, na estaca 10+13,00 do eixo da barragem, com cota 263,469m; o terceiro denominado M3 está implantado na estaca 31+3,00m, do eixo da barragem, com cota igual a 263,754m; o quarto marco, M4, está localizado na estaca 10+11,00m do eixo da ombreira esquerda, com cota 261,888m; e por último o marco M5, que está localizado na estaca 22+18,00m, na ombreira esquerda da barragem, com cota 261,599m.

Figura 3.1

Bacia Hidráulica de Jenipapeiro

Arquivo:

O levantamento altimétrico da barragem Jenipapeiro, foi realizado utilizando-se um Nível automático Soksha C.3.A, onde foram niveladas todas as estacas dos eixos materializados.

Esses levantamentos permitiram a confecção dos desenhos, da seção do boqueirão e do sangradouro com escala vertical 1:200 e horizontal 1:2.000, e planta com curvas de nível a cada metro na escala 1:2.000. Estes desenhos fazem parte do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

A calha do riacho à jusante também foi levantada, desde o eixo barrável até o ponto onde o canal de sangria encontra o mesmo. As seções são a cada 40 metros, com 100 metros de largura para cada lado do eixo. Os pontos foram cotados a cada 20 metros, podendo ser menor este espaçamento onde o relevo ou outro fator exigiu maior nível de detalhamento.

3.5 - LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Jenipapeiro, o Consórcio firmou contrato com a empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S/A, tendo como objetivo a execução de serviços de engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida, na escala 1:15.000 e mapas digitais na escala 1:5.000 da bacia hidráulica da barragem Jenipapeiro.

3.5.1 - Cobertura Aerofotogramétrica

Toda a área sobrevoada foi realizada com aeronave modelo Navajo PA31 bimotor, equipada à tomada de aerofotos e homologada para vôos aerofotogramétricos.

Após a concessão da autorização de aerolevanteamento concedida pelo Ministério da Defesa, iniciaram-se os trabalhos de cobertura aerofotogramétrica, os quais apresentamos a seguir:

a) Plano de Vôo

Foram lançados nas áreas do projeto em questão, os eixos das faixas de vôo, necessários ao recobrimento da área, nas cartas topográficas do IBGE, na escala 1:100.000.

Concluído o plano de vôo gráfico, passou-se para a elaboração do plano de vôo analítico, baseando-se nas seguintes especificações técnicas:

- Sentido do Vôo: Leste – Oeste;
- Superposição Longitudinal do Vôo: 60% ($\pm 5\%$);
- Superposição Lateral do Vôo: 30% ($\pm 5\%$);
- Objetiva da Câmara: Grande Angular; e
- Distância Focal Calibrada: 152,741mm.

b) Recobrimento Fotogramétrico

As fotografias foram obtidas com câmara aerofotogramétrica da marca ZEISS, modelo RMK-TOP, de última geração, dotada de mecanismo compensador do arrastamento de imagens causado pelo deslocamento da aeronave, chassi giro-estabilizado, que compensa instantaneamente as eventuais inclinações da aeronave e mecanismo automático que possibilita o registro das coordenadas do centro da foto no momento da tomada. Foi utilizado filme aerofotogramétrico colorido de base estável, marca Kodak Aerocolor HS Film SO 846 de alto poder resolutivo e quadro com formato útil de 23 x 23 cm.

O recobrimento aerofotogramétrico foi realizado na escala 1:15.000, abrangendo a área da barragem Jenipapeiro, no sentido Leste-Oeste. Foram realizadas 03 faixas de vôo, totalizando 33 fotos.

c) Dados que Constam nas Fotos

- Escala da foto;
- Número da faixa;
- Número da foto;
- Nome do local;
- Coordenadas do centro das fotos no momento da tomada;
- Distância focal calibrada da câmara; e
- Marcas fiduciais.

d) Laboratório

O processamento do filme e de todos os seus subprodutos foi realizado em laboratório, com condições de temperatura e umidade relativa controladas.

As cópias fotográficas foram executadas em copiadoras eletrônicas, utilizando papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

e) Foto-índice

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram scanerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 (quatro) vezes menor que a escala original das fotos, em papel Semi Gloss, enquadradas por coordenadas geográficas, através de cruzetas desenhadas nos 4 (quatro) cantos de cada folha. Os dados contidos no Foto-índice são:

- Número de cada exposição que o compõem;
- Número de faixas;
- Escala da Foto; e
- Escala da Foto-índice.

3.5.2 - Mapeamento Planialtimétrico

a) Apoio Básico

Na Barragem Jenipapeiro foram implantados 06 vértices (M0 a M5), monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo. De cada marco foi elaborada uma monografia que se encontra no Capítulo 11, item 11.1 do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos – Planialtimetria.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Jenipapeiro tivemos na planimetria origem no Vértice Boqueirão de latitude 06°42'30,1175"S, longitude 38°57'00,5680"W e altitude de 478,70m; e o Vértice Pedra Sozinha de latitude 06°51'58,0050"S, longitude 38°46'39,1130"W e altitude 574,38m. A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

b) Aerotriangulação

As imagens para a geração dos trabalhos foram obtidas a partir da scannerização dos negativos fotogramétricos na escala 1:15.000, com utilização de "scanner fotogramétrico" com capacidade de geração de imagens digitais com pixel de 28 microns.

A aerotriangulação espacial foi executada em equipamentos digitais ISM dotados de programa específico para o cálculo e ajustamento da mesma utilizando a scannerização executada. No cálculo da aerotriangulação foi utilizado o programa PAT-B do professor Ackermann.

c) Restituição Fotogramétrica

Para a vetorização dos elementos cartográficos a seguir discriminados, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico. Os Elementos Cartográficos representados são:

- Sistema hidrográfico;
- Altimetria;
- Referências de nível; e
- Ortofoto.

Na barragem Jenipapeiro foi restituída uma área de 13,04km². Todos os trabalhos seguiram as *Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional*, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

3.6 - LEVANTAMENTO DOS EMPRÉSTIMOS

Com a utilização de um teodolito Soksha TM-20-C foram realizadas as locações e os levantamentos planialtimétricos das áreas das ocorrências de materiais que poderão ser utilizados na construção da barragem, e amarradas à poligonal do eixo barrável através de uma linha de base auxiliar (que poderá se constituir no eixo do acesso ao local da obra). Todos os poços escavados na investigação dos empréstimos foram locados, numerados e amarrados à linha de base auxiliar através de eixos de locação. Foram confeccionados desenhos individuais, em escala apropriada, com a planta baixa das áreas dos empréstimos e um desenho geral mostrando a localização de todas as ocorrências de material, de forma que possibilite a definição das distâncias de transporte. Tais desenhos e todos os dados necessários para localização e identificação dos empréstimos estão apresentados no Volume I – Estudos Básicos, *Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos*.

3.6.1 - Jazida

Foram estudadas três jazidas de material terroso, denominadas J 01, J 02 e J 03, que possuem as seguintes características:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 125.000,00m² e volume útil de 50.000,00m³;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 145.000,00m² e volume útil de 62.350,00m³;
- Jazida 03 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 365.000,00m² e volume útil de 244.550,00m³.

As jazidas de materiais terrosos (J 01, J 02 e J 03) foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de 100m x 50m. Na Jazida 01 foram executados 39 poços, com um total de 19,50m de sondagem. Na Jazida 02 foram executados 43 poços, perfazendo 23,10m de sondagem e na Jazida 03 foram executados 94 poços e um total de 73,25m de sondagem.

3.6.2 - Areal

Foi estudado 01 areal com uma área de 20.000,00m² e um volume útil de 24.000,00m³ que está localizado no riacho da Pendência, que será usada nas transições, filtros, drenos e concretos durante a construção da barragem.

3.6.3 - Pedreira

Foram investigadas duas pedreiras (P 01 e P 02) de onde será extraído o material pétreo necessário a construção da barragem. Estas pedreiras têm as seguintes características:

- Pedreira 01 - Localizada a 200,00m da estaca 12 do eixo da barragem, com volume útil de 10.000,00m³;
- Pedreira 02 - Localizada a 600,00m da estaca 12 do eixo da barragem, com volume útil de 42.000,00m³.

3.7 - SÍNTESE DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Locação e nivelamento do eixo barrável e do sangradouro	2,28 Km
Levantamento das secções do eixo barrável e do sangradouro	54,50 Km
Locação e nivelamento da poligonal do canal de sangria e da calha do rio	2,76 Km
Levantamento de jazidas (malha 100 x 100)	65,50 Ha

4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

4.1 - GEOLOGIA REGIONAL

A descrição da geologia regional para este trabalho teve como fonte de pesquisa o Mapa Geológico do Estado do Ceará, elaborado em 1983, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em escala 1:500.000 e o Projeto Rio Jaguaribe, executado pelo DNPM, em 1979, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Rio Jaguaribe.

Os cursos fluviais são dominados basicamente pelo sistema do Rio Jaguaribe, tendo como seu principal contribuinte, na região, o Rio Salgado, apresentando uma drenagem dendrítica e densa, devido à elevada impermeabilidade dos terrenos cristalinos que cobrem a maior parte da área em estudo.

O relevo da região é caracterizado por algumas diferenciações resultantes da variação das características litológicas e, parcialmente, devido à tectônica que influi decisivamente na formação de maciços montanhosos. Configura-se de forma dominante um extenso pediplano, profundamente entalhado por erosão diferencial sobre migmatitos, gnaisses, granitos porfiróides e as extensas baixadas de rochas sedimentares. Vários maciços residuais, em geral de gnaisses graníticos e granitóides sobressaem-se na paisagem arrasada. Ao lado das formas elevadas e onduladas de rochas cristalinas, dispõem-se as amplas baixadas dos sedimentos do Grupo Rio do Peixe, cujos limites com o embasamento cristalino são marcados por flancos abruptos ao longo das falhas de abatimento, com desníveis pequenos, formando áreas mais arrasadas.

A geologia da região é marcada principalmente pela ocupação dominante das rochas cristalinas Pré-Cambrianas, encontrando-se também em menor escala, sedimentos cenozóicos e mesozóicos.

As unidades do Pré-Cambriano passaram por intensos processos tectônicos associados a fenômenos de migmatização e granitização que mascaram acentuadamente as estruturas originais das rochas, camuflando as possíveis discordâncias entre os grandes grupamentos litológicos. Por este motivo foi adotado uma divisão litológica para estas unidades estratigraficamente indiferenciadas, conseguindo-se desta forma separar quatro unidades litológicas, a seguir descritas:

- **Complexo Caicó:** é a unidade mais abrangente, caracterizando-se por apresentar uma sequência parametamórfica heterogênea, constituindo uma grande variedade litológica, com elevado grau de cristalinidade, composta de gnaisses diversos intercalados com faixas de parafibrolitos, metarcóseos, quartzitos, calcários cristalinos e migmatitos. Os contatos com as demais unidades podem ser concordantes e discordantes, bruscos ou gradacionais. O estilo de dobramento característico é o desarmônico,

com sinformes apertadas e antiformes alargadas. As lineações estruturais variam de direção, podendo acontecer segundo NE-SW, ou segundo N-S, sendo responsável por essa variação as intensas movimentações tectônicas a que foi submetida a área. Os importantes falhamentos transcorrentes que ocorrem na região acarretam o aparecimento de feições cataclásticas. As rochas gnáissicas típicas desta sequência encontram-se frequentemente migmatizadas, com composição variada ocasionando o aparecimento de biotita-gnaisses, muscovita-biotita-gnaisses e hornblenda-biotita-gnaisses. Ocorrem ainda gnaisses e migmatitos homogeneizados com núcleos de nebulitos e anatexitos, em que a lineação é difusa ou inexistente.

- **Rochas Plutônicas Granulares:** As rochas dessa unidade estão encaixadas no Complexo Caicó, possuindo em geral forma alongada segundo a estruturação regional, circundadas pelos alinhamentos estruturais. Agrupam diversos tipos litológicos com características texturais semelhantes, incluindo os granitóides que englobam granitos equigranulares de texturas fina e grosseira (pegmatóide) e os granitos e/ou granodioritos porfiróides; os sienitos e os corpos gabróides, constituindo pequenos corpos de gabros. Com exceção dos gabróides, os demais tipos litológicos desta unidade apresentam composição essencialmente granítica e/ou granodiorítica, contendo biotita e hornblenda, textura porfiróide ou equigranular, com certa orientação dos minerais.
- **Grupo Ceará:** representa uma associação de rochas relacionadas a faixas de baixo e alto grau de metamorfismo (xistos verdes e anfibolito), constituindo uma sequência ectinítica parametamórfica, com quartzito basal ao qual sobrepõem-se xistos, filitos, gnaisses e níveis de rochas carbonáticas. Sua forma mais comum de ocorrência é a de sinclinais simétricas e reviradas, repousando concordantemente sobre rochas do Complexo Caicó.
- **Diques Ácidos:** são agrupados nesta unidade todas as rochas filoneanas de caráter petrográfico ácido e hiperácido, como granitos filoneanos, pegmatitos e veios quartzosos e de sílica cripto-cristalina. Essas rochas geralmente não são mapeáveis em escala regional e ocorrem preenchendo fraturas.

O Mesozóico é representado pelos sedimentos cretáceos do Grupo Rio do Peixe.

- **Grupo Rio do Peixe:** distribui-se por diversas bacias de afundamento, com formas de graben a meio-graben. Forma uma sequência padrão que compreende três sub-unidades, da base para o topo: Formação Antenor Navarro, Formação Souza e Formação Rio Piranhas. A Formação Antenor Navarro, essencialmente psamítica, inclui conglomerados brechóides,

arenitos conglomeráticos, arenitos finos-médios, siltitos e folhelhos. Sobreposta a esta encontra-se a Formação Souza, pelítica, onde predominam arenitos finos, siltitos e folhelhos, incluindo ainda níveis margosos. Finalmente, completando a sequência, tem-se a Formação Rio Piranhas, fundamentalmente psamítica, com domínio de arenitos grosseiros a finos intercalados com níveis sílticos e de folhelhos.

O Cenozóico está representado pelos sedimentos que compõem o Grupo Barreiras, e coberturas Tércio-Quaternárias de natureza colúvio-elúvio-aluvial:

- **Grupo Barreiras:** os sedimentos do Grupo Barreiras estão sub-enquadrados na Formação Moura de idade Tércio-Quaternária, que é formada por conglomerado polimítico, na base, de matriz arenosa de grã grossa, fracamente diagenizada, mal selecionada e pobremente cimentada por material síltico-arenoso de coloração vermelha a creme, bem como areias de granulação variável de colorações avermelhadas e amarelo-claras, e siltitos vermelhos no topo.
- **Aluviões:** são depósitos sedimentares, de idade quaternária, que se concentram nos leitos e margens dos principais rios, compostos de areias, cascalhos e argilas.

Os aspectos estruturais da região mostram uma grande complexidade de efeitos resultantes da dinâmica de movimentação tectônica de natureza plástica e ruptural. Os grandes falhamentos, essencialmente transcorrentes, com eventuais componentes de abatimento e empurrão, representam as linhas estruturais de rasgamento, destacando-se a falha de Tatajuba, de direção E-W, responsável pela nítida subdivisão da área em dois blocos de comportamento estrutural completamente diverso, com brusca variação nos padrões das linhas estruturais e aparecimento de “drags” sugestivos de movimento dextral. Outros eventos de destaque são a Falha de Orós e a Falha de Jaguaribe, que representam falhamentos transcorrentes de direção NE-SW, com vergamentos na parte sul. A falha de Jaguaribe, de rejeito destrógiro possui extensão total aproximada de 250km. Ao longo das falhas, são frequentemente encontradas faixas cataclásticas e miloníticas. Através de um intenso processo de reativação das falhas transcorrentes, responsáveis pelos grandes traços estruturais da área, se deu uma fase tectônica de gravidade posterior, responsável pelo aparecimento de autênticas fossas tectônicas, à semelhança de grabens e meio-grabens, ensejando por sua vez, a formação de típicas bacias de afundamento onde se depositaram, naquele ambiente propício, os sedimentos do Grupo Rio do Peixe. Na Figura 4.1 tem-se uma representação esquemática do sistema de falhamentos que ocorre na região.

Na Figura 4.2 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Meridianos – 38° 30' a 39° 15' de longitude oeste e Paralelos 6° 00' a 7° 00' de latitude sul, compilada do Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983.

Figura 4.1

Arquivo Corel

Figura 4.2 – Geologia Regional

Arquivo Corel

4.2 - GEOLOGIA LOCAL

O local escolhido para o eixo da barragem fica situado no município de Baixio, na localidade denominada Sítio Xique-Xique, distribuindo-se a bacia hidráulica entre os municípios de Umari e Baixio.

A geologia local foi definida a partir de interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000, reforçada pela visita de campo em que foram feitos os caminhamentos ao longo do eixo da barragem e sangradouros e reconhecimento da bacia hidráulica, com utilização de bússola e GPS de mão.

Predominam no local as rochas cristalinas do Pré-Cambriano, classificadas no Complexo Caicó, muitas vezes recortadas pôr veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos filoneanos. Há um predomínio dos gnaisses bandeados, com lentes de anfibolito e leitos de metarcóseos. Na grande maioria dos afloramentos visualizados a rocha apresenta aspecto cataclástico e milonítico, denunciando os efeitos resultantes dos processos de movimentação tectônica ocorridos na área. Ocorrem com frequência, também, gnaisses-migmatíticos, com estruturas planares bem desenvolvidas, de granulação fina a média, cor cinza, com muitos dobramentos, micro-dobramentos desarmônicos, tendo como constituintes básicos do paleossoma os minerais biotita, quartzo e pouca hornblenda, intercalados com veios ou agregações quartzo-feldspáticas e pegmatóide que constituem a porção neossomática. Essa disposição entre o paleossoma e o neossoma forma estruturas diversificadas como: estromática, flebítica e dobrada. Os gnaisses miloníticos e migmatíticos são dominantes em toda a área estudada, tanto ao longo do eixo locado como na bacia hidráulica.

A foliação dominante na área está orientada segundo NW-SE, com mergulhos, na sua maioria verticais, e quando subverticais, variando predominantemente entre 60° a 88°, ora para SW, ora para NE.

Na porção Este da bacia hidráulica, à montante do eixo locado, próximo a Umari, mais precisamente na fazenda Sta. Teresinha, há uma área com ocorrências de afloramentos graníticos. Os afloramentos ocorrem algumas vezes como pequenos blocos, espalhados de forma dispersa, com granulação fina a média, cor variando de cinza-clara a rósea, composta essencialmente dos minerais quartzo, feldspatos (plagiocásio e ortoclásio), biotita e muscovita, ocorrendo eventualmente pórfiros de ortoclásio, e exibindo comumente alguma orientação dos minerais. Indo em direção ao eixo locado, ou seja, de montante para jusante percebe-se uma certa alternância entre ocorrências gnáissicas e graníticas, sugerindo um contato gradacional.

Na porção mais à montante da bacia hidráulica, já bem próximo a Umari, ocorre nitidamente a litologia de composição arenítica pertencente à Formação Antenor Navarro que constitui, segundo o Projeto Rio Jaguaribe, a unidade basal do Grupo Rio do Peixe, fazendo contato com o embasamento através de falha. Os afloramentos

visualizados nos cortes da estrada entre Baixio e Umari exibem arenitos de grã fina creme a avermelhado, com leitos finos intercalados de siltitos e argilitos variegados, com acamamento fino de atitude segundo N170°Az/8°NE, e estratificações cruzadas. Em alguns locais mais erodidos são visualizados leitos conglomeráticos contendo concentrações de seixos de quartzo subangulosos e subarredondados, numa matriz arenosa grosseira, mal selecionada com tons creme, cinzento e róseo.

A drenagem local, na área de domínio dos gnaisses, ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas.

A área de ocupação da bacia hidráulica da barragem em estudo está situada entre as feições estruturais de maior destaque da região, conforme já descritas no item Geologia Regional, que são as falhas de Tatajuba, Jaguaribe e Orós, além de ser recortada por uma expressiva falha de empurrão ou inversa, com direção segundo NW-SE. Esse tipo de falhamento caracteriza-se por um eixo principal de tensão essencialmente horizontal, com direção de máximo alívio vertical, possuindo movimento com rejeito de mergulho inverso, resultando na subida de um bloco (A), formado pelo embasamento, em relação ao que desce (B), constituindo a bacia sedimentar onde ocorrem os arenitos. A presença dominante dos gnaisses miloníticos e catacláticos que ocorrem por quase toda a faixa de ocupação do eixo locado e em boa parte da bacia hidráulica é resultante de toda essa movimentação estrutural.

Nas margens do Rio Jenipapeiro e do Riacho das Pombas, se formam os depósitos aluviais, constituídos de areias finas mal selecionadas e silte areno-argiloso de cor cinza clara a escura, sendo muito escassa nas calhas dos rios, a formação de depósitos de areias granulares que se prestem para a utilização de agregados para a obra.

Com relação à disponibilidade de materiais pétreos, a área oferece um grande manancial, facilitando sobremaneira a localização e definição de locais propícios para pedreiras.

4.3 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo do eixo topográfico locado, e na área de ocupação da bacia hidráulica, teve como principal objetivo à identificação e classificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos.

Ao longo do eixo locado, abrangendo uma faixa de 150m para montante e 150m para jusante foram estudadas as ocorrências e mapeados os principais afloramentos ou as áreas com maior concentração de afloramentos contendo rocha em superfície. Na bacia hidráulica os percursos foram feitos de carro de passeio pelos acessos disponíveis na área, com utilização de GPS de mão para anotação dos pontos visitados.

O eixo topográfico locado, que tem orientação geral segundo NW-SE, está estaqueado em campo a cada 20m, e se subdivide em três segmentos contínuos que incluem duas opções de estudo para sangradouro, nas ombreiras, e a barragem, sendo que a marcação do primeiro trecho, a partir da ombreira direita, em uma das opções para sangradouro, se dá de forma decrescente da direita para a esquerda (estaca 32 a estaca 00A da barragem). Neste segmento encontram-se deflexões nas estacas 25, 17 e 11 = 5B+5,76m do novo traçado do eixo da barragem. No segmento entre a estaca 00A e a estaca 31+13,00m (Barragem), o eixo sofre uma deflexão na estaca 10. A partir da Estaca 31+3,00m (barragem) = Estaca 00 (sangradouro) o eixo passa por outra deflexão e inicia-se novo trecho com estaqueamento crescente no mesmo sentido do eixo da barragem, constituindo outra opção de estudo para sangradouro (Estaca 31+3,00m = Estaca 00 a Estaca 33). Ao longo desse traçado foram identificadas as litologias descritas a seguir.

4.3.1 - Sangradouros

- **Da Estaca 32 a Estaca 00:**

O terreno apresenta relevo ondulado, com maior declividade para jusante, e há uma presença marcante de afloramentos. O solo de superfície é silto-arenoso, micáceo, pedregulhoso, de cor avermelhada. Ocorrem vários afloramentos a nível superficial de solo, sendo a rocha classificada como um gnaiss milonítico, de cor cinza, mesocrática, ocasionalmente apresentando tons amarelados resultantes da alteração superficial, bandeada, com foliação bem definida, grã fina a média, muitas vezes apresentando estruturas estromáticas, dobradas e microdobramentos e fraturamentos não muito intensos, com mineralogia composta essencialmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e ortoclásio), biotita e hornblenda. Em alguns afloramentos a rocha apresenta-se mais intensamente migmatizada, com diversas estruturas dobradas, inclusive dobras em “S” e dobras em “M”, que indicam forte movimentação tectônica, além da presença de cristais fenoblastos de feldspatos orientados de forma concordante com a foliação e representando indícios de cataclase. Em vários casos a rocha é recortada por veios quartzo-feldspáticos ou pegmatíticos com espessuras de até 10 cm, concordantes com a foliação. Eventualmente ocorrem disseminados na rocha várias pontuações de mineral de cor escura, muitas vezes orientados, podendo ser turmalina (afrita). A foliação predominante da rocha neste trecho é N120°Az/80°SW, sendo que em muitos casos o mergulho é vertical. Essa medida indica uma direção preferencial segundo NW-SE, praticamente perpendicular ao fluxo de saída de água por esta opção de sangradouro, representando portanto, uma situação favorável com relação ao sentido preferencial de percolação. A aproximadamente 150 metros à jusante do eixo, nesse trecho, a topografia é plana e o terreno é recoberto por solo silto-areno-argiloso de cor cinza clara, com características de solo elúvio-aluvial.

- ***Da Estaca 31+3,00m = 00 a Estaca 33:***

Nesse trecho desenvolve-se a outra alternativa de estudo para o sangradouro. A topografia do terreno ao longo do eixo é plana com declividades para montante e jusante. Os afloramentos ocorrem via de regra ao nível da superfície do solo. Em todo o trecho a rocha apresenta foliação orientada segundo NW-SE, porém com mergulho subvertical para NE. Na Estaca 8 a 140 metros para jusante, na beira de um açude, ocorrem grandes afloramentos em forma de blocos e lajedos. A rocha em alguns locais tem aspecto de gnaiss, e em outros possui estrutura granítica, com minerais apresentando uma certa lineação, de cor cinza clara, grã fina a média homogênea, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita.

4.3.2 - Barragem

- ***Da Estaca 00A a Estaca 15:***

O terreno se desenvolve com as mesmas características, com declividade suave em direção ao talvegue do rio. Os afloramentos de rocha têm as mesmas características descritas, sendo mais escassos em alguns locais, principalmente para jusante, entre as estacas 7 a 10. Nas áreas onde há escassez de afloramentos o solo tem composição silto-arenosa, de cor avermelhada, recobrando o substrato rochoso com uma espessura, em média, inferior a 1,00 m.

- ***Da Estaca 15 a Estaca 21:***

Forma-se um extenso e plano terraço aluvionar, desenvolvendo-se de forma mais ampla pela margem direita, onde o solo é constituído de silte areno-argiloso com granulometria fina e cor cinza-clara a escura. No leito do Rio Jenipapeiro, na Estaca 20+15,00m, a 20 metros para jusante ocorrem afloramentos de gnaiss milonítico com foliação N110°Az/Vert., ou seja, neste ponto a foliação da rocha se comporta praticamente perpendicular ao fluxo do leito do rio, com mergulho vertical, numa situação perfeitamente favorável no que diz respeito ao sentido preferencial de percolação. Ainda no leito do rio, na estaca 21, a 140 metros para jusante a rocha aflora nas mesmas condições, com foliação N120°Az/80°SW. Na estaca 20, a 25 metros para montante ocorrem, também no leito do rio, afloramentos de gnaiss milonítico.

- ***Da Estaca 21 a Estaca 31 + 3,00m:***

Pela margem esquerda do rio a faixa de aluvião é bem mais delgada, tendo-se logo o ressurgimento da rocha cristalina, com diversos pontos de afloramentos de gnaiss apresentando-se na maioria das vezes milonitizados e algumas vezes bastante migmatizados, com as mesmas características supradescritas.

4.3.3 - Diagrama de Fraturas

A partir de 435 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na barragem e nas alternativas de sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura 4.3, se dá segundo N30°Az a N40°Az, representando um percentual de 28,06% do total medido e entre N40°Az a N50°Az, representando 18,00%. O mergulho se dá preferencialmente vertical, apresentando também muitos valores subverticais (70° a 80°) para NW.

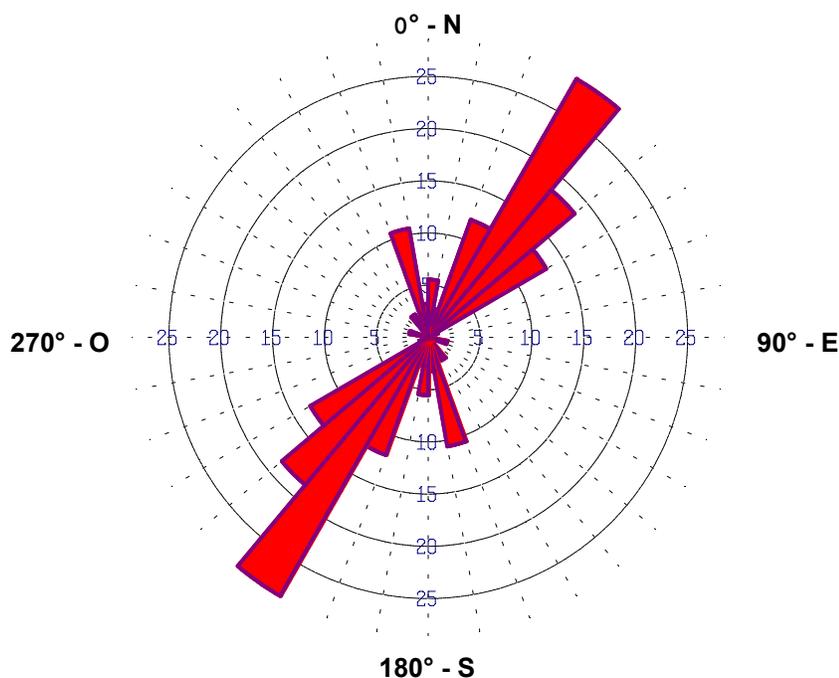


Figura 4.3 - Diagrama de Roseta para 435 medidas de direções de fraturas.

São apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos, Capítulo 6 – Anexos, o Mapa Geológico do local da Barragem e Sangradouro, contendo as unidades litológicas identificadas e os principais afloramentos de rocha que foram mapeados, bem como o Mapa Geológico contendo as unidades litológicas na área da Bacia Hidráulica.

4.4 - INVESTIGAÇÕES DO BARRAMENTO

As investigações geotécnicas realizadas na local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro, além de economicamente viável. Nestas investigações procurou-se identificar as características do pacote aluvionar, quanto ao aspecto hidráulico e de suporte, através das sondagens à percussão e ensaios de infiltração, caracterizar a camada de solo e/ou alteração de rocha, sob o aspecto geomecânico e de transmissibilidade hidráulica, através das sondagens rotativas e ensaios de perda d'água. Ao longo do eixo barrável foram realizadas 51 sondagens, sendo 13 sondagens

a pá e picareta, 29 sondagens à percussão, 03 sondagens rotativas e 06 sondagens mistas. Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

A locação das sondagens, bem como os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, são encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.4.1 - Sondagens a Pá e Picareta

As sondagens a pá e picareta distribuídas ao longo do eixo, foram realizadas objetivando o balizamento rochoso abaixo do capeamento dos solos residuais. Todos os poços foram perfurados até o ponto em que a alteração de rocha não mais permitisse a escavação com pá e picareta.

Foram executadas 13 sondagens a pá e picareta, sendo que a SPP-22 é afloramento de rocha e as SPP-23, 24 e 25 são aluviões. As sondagens realizadas totalizaram 7,95m de profundidade. É apresentado no Quadro 4.1, o resumo das sondagens, com sua respectiva profundidade, amarração e estaqueamento.

Quadro 4.1 – Resumo das Sondagens a Pá e Picareta

Sondagem	Profundidade (m)			Amarração / Estaqueamento
	Solo	Rocha	Total	
SPP-17	0,45	-	0,45	E-1A_Ex
SPP-18	1,40	-	1,40	E-3A_Ex
SPP-19	1,20	-	1,20	E-5A_Ex
SPP-20	1,00	-	1,00	E-8 ^A _Ex
SPP-21	0,40	-	0,40	E-11_Ex
SPP-22(*)	0,00	-	0,00	E-13_Ex
SPP-23(**)				E-15_Ex
SPP-24(**)				E-17_Ex
SPP-25(**)				E-19_Ex
SPP-26	0,90	-	0,90	E-21_Ex
SPP-27	1,40	-	1,40	E-23_Ex
SPP-28	0,20	-	0,20	E-26_Ex
SPP-29	1,00	-	1,00	E-30_Ex
Total			7,95	

(*) – Afloramento de rocha

(**) – Aluvião

4.4.2 - Sondagens à Percussão

O objetivo principal destas sondagens foi à definição da espessura dos depósitos aluvionares sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT” (STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado. Todas as sondagens à percussão foram executadas com diâmetro 2 1/2”

polegadas e o critério de paralisação da perfuração foi em função da lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para cada dez minutos de lavagem).

Foram executadas 29 sondagens à percussão no eixo da barragem, a montante e jusante, perfazendo um total de 109,86m. É apresentado a seguir, no Quadro 4.2, o resumo das sondagens, com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento e o número de ensaios “Le Franc” e de perda d’água “Lugeon”.

Quadro 4.2 – Resumo das Sondagens à Percussão

Sondagem	Ensaio		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SP-01	04		8,70	-	8,70	247,690	E-14_ Ex 80m M
SP-02	02		3,40	-	3,40	249,397	E-14_ Ex 120m M
SP-03	01		2,50	-	2,50	251,622	E-14_ Ex 160m M
SP-04	05		9,30	-	9,30	248,375	E-16_ Ex 100m M
SP-05	02		4,50	-	4,50	249,000	E-16_ Ex 200m M
SP-06	05		9,05	-	9,05	247,755	E-18_ Ex 100m M
SP-07	04		7,80	-	7,80	247,806	E-18_ Ex 160m M
SP-09	03		5,05	-	5,05	247,000	E-20_ Ex 200m M
SP-10	02		4,45	-	4,45	247,000	E-20_ Ex 100m M
SP-22			0,60	-	0,60	259,244	E-04_ Ex (*)
SP-23			0,85	-	0,85	255,982	E-06_ Ex (*)
SP-24			1,15	-	1,15	253,126	E-08_ Ex (*)
SP-25			0,30	-	0,30	257,242	E-10_ Ex
SP-26			1,88	-	1,88	254,288	E-12_ Ex
SP-27	06		0,30	-	0,30	247,570	E-14_ Ex 40m M
SP-29	02		4,08	-	4,08	248,408	E-14_ Ex 40m J
SP-30	04		8,30	-	8,30	248,207	E-16_ Ex 40m M
SP-32	04		8,10	-	8,10	248,913	E-16_ Ex 40m J
SP-33	02		4,20	-	4,20	247,842	E-18_ Ex 40m M
SP-35	03		6,45	-	6,45	248,718	E-18_ Ex 40m J
SP-36	01		2,90	-	2,90	248,521	E-20_ Ex 40m M
SP-38	03		5,60	-	5,60	249,271	E-20_ Ex 40m J
SP-39	01		2,10	-	2,10	249,468	E-22_ Ex 40m M
SP-41	02		1,50	-	1,50	260,664	E-22_ Ex 40m J
SP-42			1,17	-	1,17	253,860	E-24_ Ex 40m M
SP-44	01		2,03	-	2,03	253,329	E-24_ Ex 40m J
SP-45			0,00	-	0,00	251,292	E-25_ Ex
SP-46			0,95	-	0,95	247,306	E-27_ Ex
SP-47	01		2,65	-	2,65	260,228	E-28_ Ex
Total	58		109,86		109,86		

(*) – Eixo antigo da barragem

4.4.3 - Sondagens Rotativas e Mistas

Os trechos de sondagens rotativas foram executados com coroa NX (diâmetro externo 75,3mm e interno 54,7mm) acoplada a um barrilete duplo giratório com caixa de mola. A sonda utilizada foi uma MACH 920 da Maquesonda de avanço manual. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças - dados que podem ser visualizados nos perfis de sondagens.

As sondagens rotativas foram realizadas em número de 03, perfazendo um total de 23,70 metros. No Quadro 4.3 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com sua respectiva profundidade, amarração, estaqueamento.

As sondagens mistas foram iniciadas pelo método de sondagem a percussão e prosseguidas por sondagens rotativas. A metodologia empregada é a mesma para sondagens a percussão e rotativas.

Foram executadas 06 sondagens mistas, perfazendo um total de 104,05 metros. No Quadro 4.4 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens, com sua respectiva profundidade, amarração, estaqueamento e o número de ensaios “Le Franc” e de perda d’água “Lugeon”.

Quadro 4.3 – Resumo das Sondagens Rotativas

Sondagem	Ensaio		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SR-06		02	2,20	6,00	8,20	257,389	E-7A_Ex
SR-07		02	2,00	6,00	8,00	260,025	E-4A_Ex
SR-08		02	1,50	6,00	7,50	263,722	E-31+3,00_Ex
Total		06	5,70	18,00	23,70		

Quadro 4.4 – Resumo das Sondagens Mistas

Sondagem	Ensaio		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SM-28	05	03	11,00	10,00	21,00	247,303	E-14_Ex
SM-31	06	03	12,10	10,00	22,10	248,753	E-16_Ex
SM-34	03	03	8,00	10,00	18,00	248,889	E-18_Ex
SM-37	04	03	8,40	10,30	18,70	247,359	E-20_Ex
SM-40	01	01	2,40	10,00	12,40	248,511	E-22_Ex
SM-43		02	1,85	10,00	11,85	250,038	E-24_Ex
Total	19	15	43,75	60,30	104,05		

4.4.4 - Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, em trecho de solo, e nas sondagens percussivas foram executados ensaios de infiltração do tipo *Le Franc*, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. No trecho em rocha das sondagens mistas, foram executados ensaios de perda d’água sob pressão (ensaio de Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso.

Os resultados destes ensaios podem ser encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.5 - INVESTIGAÇÕES DO SANGRADOURO

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas.

Ao longo do sangradouro foram realizadas 41 sondagens, sendo 27 sondagens a pá e picareta, 02 sondagens à percussão, 07 sondagens rotativas e 05 sondagens mistas.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

A locação das sondagens, bem como os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, são encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.5.1 - Sondagens a Pá e Picareta

Foram executadas 27 sondagens a pá e picareta distribuídas ao longo do sangradouro, perfazendo um total de 23,88m. É apresentado no Quadro 4.5, o resumo das sondagens, com sua respectiva profundidade, amarração e estaqueamento.

Quadro 4.5 – Resumo das Sondagens a Pá e Picareta no Sangradouro

Sondagem	Profundidade (m)			Amarração / Estaqueamento
	Solo	Rocha	Total	
SPP-01	0,65	-	0,65	E-27_Ex S/OD
SPP-02	0,83	-	0,83	E-29_Ex S/OD
SPP-03	0,90	-	0,90	E-31_Ex S/OD

Sondagem	Profundidade (m)			Amarração / Estaqueamento
	Solo	Rocha	Total	
SPP-04	0,80	-	0,80	E-32_Ex S/OD
SPP-05	1,10	-	1,10	E-28_S 20m M/OD
SPP-06	0,80	-	0,80	E-28_S 60m M/OD
SPP-07	0,90	-	0,90	E-28_S 80m M/OD
SPP-08	1,15	-	1,15	E-28_S 20m J/OD
SPP-09	1,20	-	1,20	E-28_S 60m J/OD
SPP-10	1,30	-	1,30	E-28_S 80m J/OD
SPP-11	0,00	-	0,00	E-22_Ex S/OD
SPP-12	1,05	-	1,05	E-15_Ex S/OD
SPP-13	0,90	-	0,90	E-11_Ex S/OD
SPP-14	0,90	-	0,90	E-
SPP-15	0,40	-	0,40	E-3B_Ex/OD
SPP-16	0,60	-	0,60	E-1B_Ex/OD
SPP-30	0,50	-	0,50	E-01_Ex OE
SPP-31	0,60	-	0,60	E-03_Ex OE
SPP-32	1,10	-	1,10	E-05_Ex OE
SPP-33	1,10	-	1,10	E-07_Ex OE
SPP-34	1,20	-	1,20	E-10_Ex OE
SPP-35	1,40	-	1,40	E-14_Ex OE
SPP-36	0,70	-	0,70	E-17_Ex OE
SPP-37	0,76	-	0,76	E-20_Ex OE
SPP-38	1,00	-	1,00	E-24_Ex OE
SPP-39	1,40	-	1,40	E-27_Ex OE
SPP-40	0,70	-	0,70	E-32_Ex OE
Total	23,88		23,88	

4.5.2 - Sondagens à Percussão

Foram executadas 02 sondagens à percussão no sangradouro, perfazendo um total de 0,60m. É apresentado a seguir, no Quadro 4.6, o resumo das sondagens, com sua respectiva profundidade, amarração e estaqueamento.

Quadro 4.6 – Resumo das Sondagens à Percussão no Sangradouro

Sondagem	Ensaios		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SP-08	02		0,00	-	0,00	258,601	E-22_Ex S
SP-11			0,60	-	0,60	258,805	E-21_Ex S
Total	02				0,60		

4.5.3 - Sondagens Rotativas e Mistas

As sondagens rotativas foram realizadas em número de 07, perfazendo um total de 55,60 metros. No Quadro 4.7 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento.

Foram executadas 05 sondagens mistas, perfazendo um total de 25,15 metros. No Quadro 4.8 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento e o número de ensaios “Le Franc” e de perda d’água “Lugeon”.

Quadro 4.7 – Resumo das Sondagens Rotativas

Sondagem	Ensaios		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SR-01		02	2,00	6,00	8,00	264,726	E-26_Ex S/OD
SR-02		02	1,50	6,70	8,20	266,172	E-28_Ex S/OD
SR-03		02	1,10	6,00	7,10	267,078	E-30_Ex S/OD
SR-04		02	2,50	6,00	8,50	259,656	E-28_S 40mJ/OD ^(*)
SR-05		02	1,30	6,00	7,30	258,024	E-28_S 40Mm/OD ^(**)
SR-09		02	2,50	6,00	8,50	256,732	E-12_Ex OE
SR-10		02	2,00	6,00	8,00	263,781	E-30_Ex OE
Total		14	12,90	42,70	55,60		

(*) - E-28_S 40mJ/OD = E-02J

(**) - E-28_S 40mM/OD = E-02M

Quadro 4.8 – Resumo das Sondagens Mistas

Sondagem	Ensaios		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SM-02			1,45	4,05	5,50	264,791	E-24_Ex S
SM-05			0,50	4,00	4,50	261,198	E-23_Ex S
SM-14			1,15	4,00	5,15	260,618	E-20_Ex S
SM-17			0,90	4,00	4,90	261,373	E-19_Ex S
SM-20			1,10	4,00	5,10	263,152	E-18_Ex S
Total			5,10	20,05	25,15		

4.6 - ESTUDOS DOS MATERIAIS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da Barragem Jenipapeiro tiveram início com o reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento para a seleção das ocorrências aproveitáveis, considerando a qualidade e o volume dos materiais disponíveis.

Foram estudadas as seguintes ocorrências:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a $125.000,00\text{m}^2$ e volume útil de $50.000,00\text{m}^3$;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a $145.000,00\text{m}^2$ e volume útil de $62.350,00\text{m}^3$;
- Jazida 03 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a $365.000,00\text{m}^2$ e volume útil de $244.550,00\text{m}^3$;
- Areal 01 - Areia de rio (riacho da Pendência) que será usada nas transições, filtros, drenos e concretos, com uma área de $20.000,00\text{m}^2$ e um volume útil de $24.000,00\text{m}^3$;
- Pedreira 01 - Para a produção de pedra para enrocamento e brita. Está localizada a $200,00\text{m}$ da estaca 12 do eixo da barragem, com volume útil de $10.000,00\text{m}^3$;
- Pedreira 02 - Para a produção de pedra para enrocamento e brita. Está localizada a $600,00\text{m}$ da estaca 12 do eixo da barragem, com volume útil de $42.000,00\text{m}^3$.

As localizações e acessos a todas ocorrências, em relação ao eixo barrável, estão apresentadas em croquis individuais específicos, constantes no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.6.1 - Jazidas

As jazidas de materiais terrosos (J 01, J 02 e J 03) foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de $100\text{m} \times 50\text{m}$. Na Jazida 01 foram executados 39 poços, com um total de $19,50\text{m}$ de sondagem. Na Jazida 02 foram executados 43 poços, perfazendo $23,10\text{m}$ de sondagem. E na Jazida 03 foram executados 94 poços e um total de $73,25\text{m}$ de sondagem. Das jazidas foram coletadas amostras para a execução dos seguintes ensaios de laboratório: Granulometria por Peneiramento, Granulometria por Sedimentação, Limites de Consistência, Peso Específico dos Grãos, Umidade Natural e Ensaios de Compactação (Proctor-Normal). Foram realizados ainda os seguintes ensaios especiais: Permeabilidade com Carga Variável e Cisalhamento Direto Lento.

A seguir é apresentado um resumo dos ensaios geotécnicos realizados nas Jazidas 01, 02 e 03. A classificação táctil-visual e os resultados dos ensaios são apresentados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

Quadro 4.9 - Resumo dos Ensaio Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 01

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS									
		02	06	08	12	19	22	26	28	33	37
Granulometria por Sedimentação	04	X	X			X	X				
Permeabilidade (Carga Variável)	04	X	X			X	X				
Cisalhamento Direto	03	X				X	X				
Compactação (Proctor Normal)	08	X		X	X	X		X	X	X	X
Limite Liquidez	08	X		X	X	X		X	X	X	X
Limite Plasticidade	08	X		X	X	X		X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	08	X		X	X	X		X	X	X	X

Quadro 4.10 - Resumo dos Ensaio Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 02

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS									
		02	06	12	15	20	22	26	32	38	41
Granulometria por Sedimentação	08		X	X	X		X	X	X	X	X
Permeabilidade (Carga Variável)	04				X	X					X
Cisalhamento Direto	03				X	X		X			
Compactação (Proctor Normal)	08	X		X	X		X	X	X	X	X
Limite Liquidez	08	X		X	X		X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	08	X		X	X		X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	08	X		X	X		X	X	X	X	X

Quadro 4.11 - Resumo dos Ensaio Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 03

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS											
		02	11	15	19	23	26	35	39	42	45	48	51
Granulometria por Sedimentação	11	X		X		X	X	X		X		X	
Permeabilidade (Carga Variável)	11	X		X		X	X	X		X		X	
Cisalhamento Direto	04			X				X					
Compactação (Proctor Normal)	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Continuação

ENSAIOS	FUROS COLETADOS								
	55	58	61	66	72	76	82	88	93
Granulometria por Sedimentação	X			X			X		X
Permeabilidade (Carga Variável)	X			X			X		X
Cisalhamento Direto	X								X
Compactação (Proctor Normal)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	X	X	X	X	X	X	X	X	X

4.6.2 - Areal

No Areal 01 foram coletadas amostras para a classificação táctil-visual e para a realização, em laboratório, de ensaios de Granulometria por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante. Os resultados dos ensaios realizados estão apresentados nos anexos do Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos. A seguir é apresentado um quadro com o resumo dos ensaios do Areal.

Quadro 4.12 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos do Areal 01

ENSAIOS	FUROS COLETADOS									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Granulometria	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Permeabilidade (Carga Constante)	X		X	X		X	X			

4.6.3 - Pedreira

Para as Pedreiras 01 e 02 foram coletadas amostras para a realização do ensaio de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”. O resultado deste ensaio está apresentado Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

5 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O açude Jenipapeiro barra o riacho das Pompas nas coordenadas UTM 9262318,82 N e 527206,41 E. A barragem situa-se na divisa dos municípios de Umari e Baixo. O quadro a seguir apresenta um resumo dos dados característicos da bacia em estudo.

Quadro 5.1 – Caracterização da Bacia

Área da bacia do Açude Jenipapeiro	186,4 km ²
Perímetro da bacia do Açude Jenipapeiro	74,2 km
Declividade média da bacia do Açude Jenipapeiro	18 m/km
Comprimento do rio principal	27,8 km
Fator de compacidade	1,53
Fator de forma	0,03
Tempo de concentração	4,05 hrs

A Figura 5.1 mostra a altimetria da bacia hidrográfica do Açude Jenipapeiro e a Figura 5.2 mostra os municípios que compõem a bacia: Baixo, Icó e Umari.

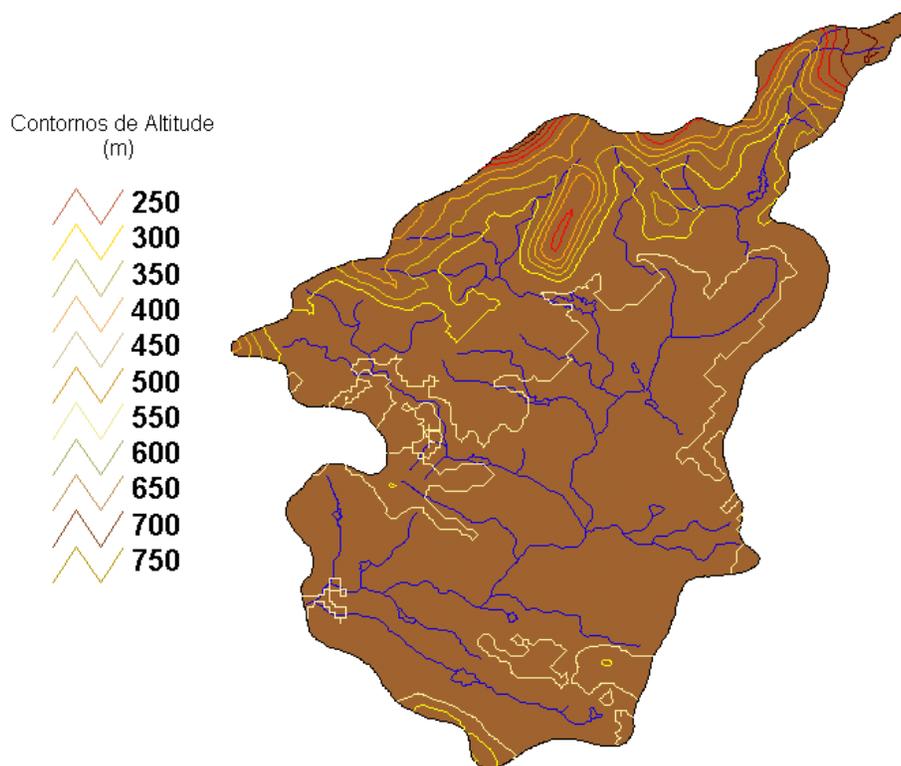


Figura 5.1. Bacia do Açude Jenipapeiro.

Municípios que compoem a
Bacia do Jenipapeiro

- Baixio
- Icó
- Umari

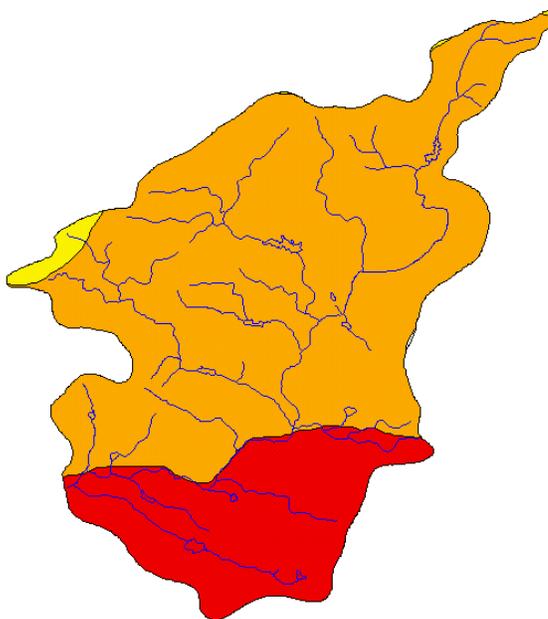


Figura 5.2. Municípios que compõem a Bacia do Açude Jenipapeiro.

A bacia do Açude Jenipapeiro tem predominantemente, solos Bruno não Cálcico e Solonetz Solodizado (NC4 e SS3, respectivamente, ver Figura 5.3), o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com moderada a baixa capacidade de drenagem (Figura 5.4). A vegetação predominante é a Floresta Caducifólia Espinhosa ou Caatinga Arbórea (Figura 5.5) e o principal uso é a agricultura (culturas anuais, temporárias e permanentes) e vegetação natural composta de matas e capoeiras (Figura 5.6).

Solos

- NC4
- PE37
- PE7
- Re26
- SS3

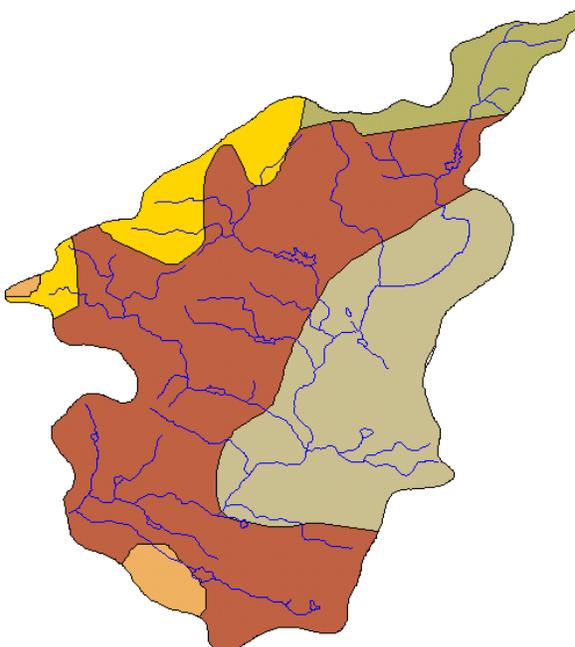


Figura 5.3. Solos da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

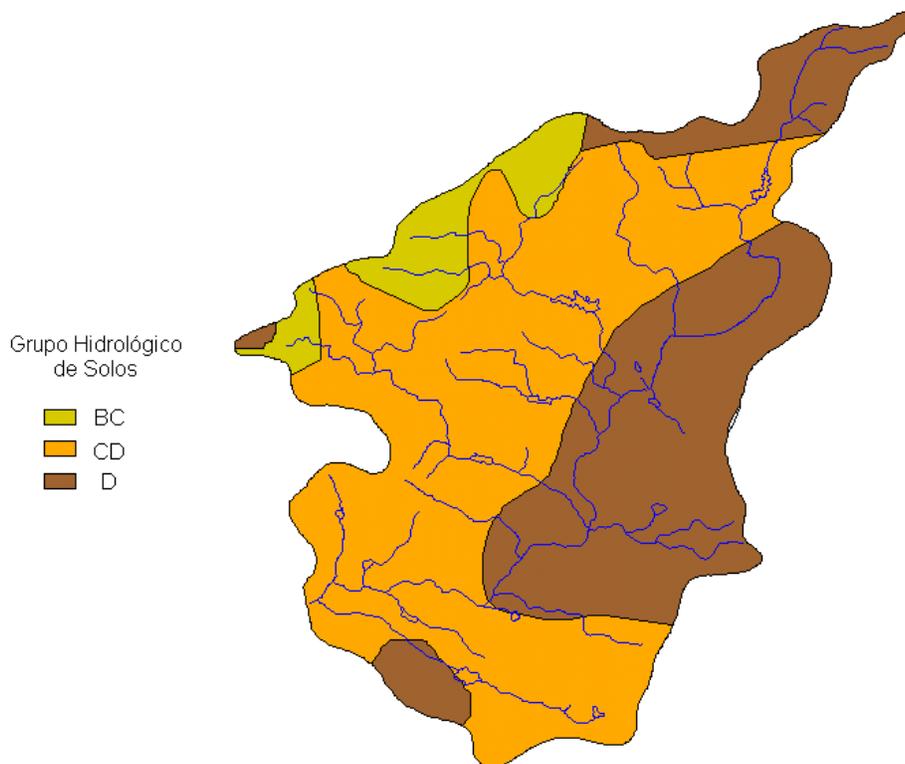


Figura 5.4. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

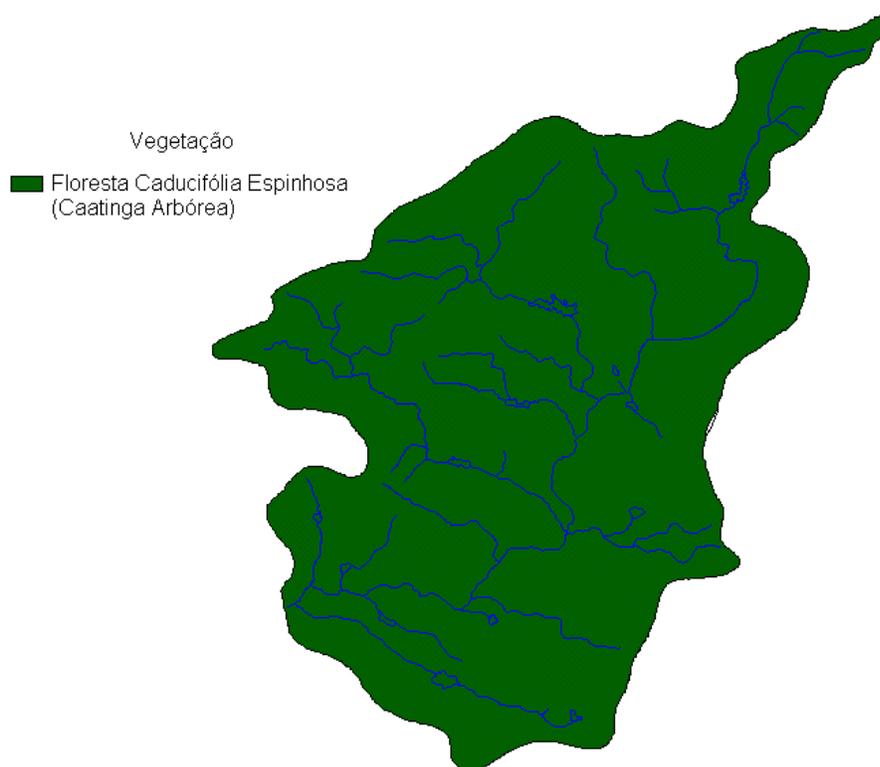


Figura 5.5. Vegetação da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

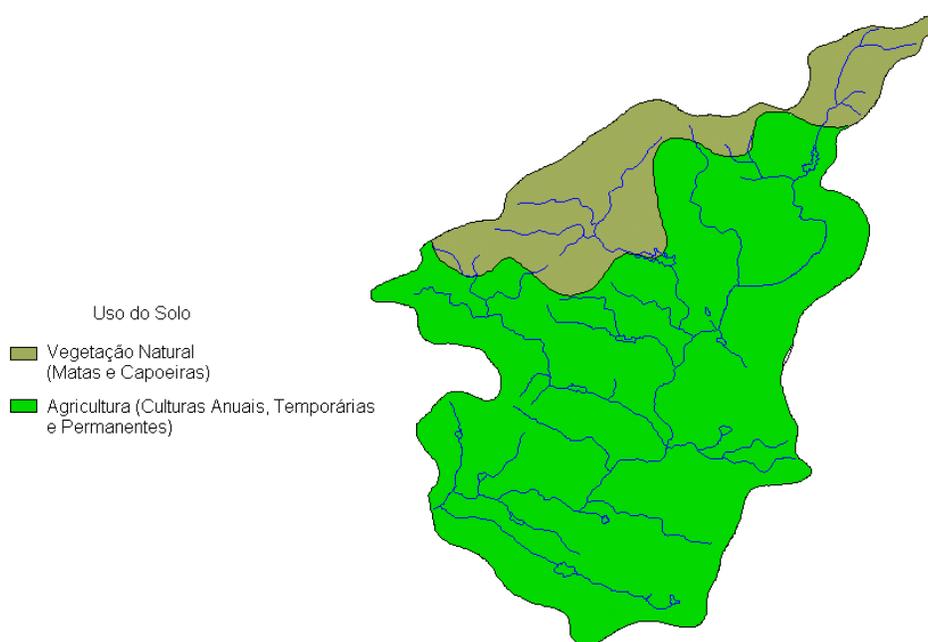


Figura 5.6. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

5.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

Não existe nenhuma estação hidroclimatológica nos domínios da bacia, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Iguatu, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991). As normais climatológicas aqui apresentadas são referentes aos dados coletados pelo INEMET entre o período 1969-1989. O Quadro 5.2, a seguir, apresenta uma síntese dos indicadores do clima da bacia em estudo.

Quadro 5.2 – Resumo dos Indicadores Climáticos

Pluviometria média anual	767,8 mm
Evaporação média anual	1988,1 mm
Evapotranspiração potencial (Hargreaves)	1905,0 mm
Insolação média anual	2897,6 h
Umidade relativa média anual	61,8 %
Temperatura média anual: média das máximas	31,7
Temperatura média anual: média das médias	25,6
Temperatura média anual: média das mínimas	20,3
Classificação climática segundo Köppen	BWx'
Classificação climática segundo Thornthwaite	DdA'a'

5.3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

Apenas uma estação foi utilizada neste estudo, a mais próxima da área de interesse, bacia do Açude Jenipapeiro, que possui uma área de 186,4 km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo.

O Quadro 5.3 mostra o posto pluviométrico utilizado neste estudo. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).

Quadro 5.3 - Posto utilizado consistido pelo método do Vetor Regional

Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Umari	3832361	1912 - 1988	6°39'	38°42'	350

Fonte: PERH-CE (1990)

Uma análise freqüencial foi realizada para o posto Umari (3832361), sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro 5.4 resume esta análise de freqüência.

Quadro 5.4 - Análise de Freqüência dos Totais Anuais - Distribuição Pearson III.

Código	N	Período de Retorno (anos)						
		10	50	100	200	500	1000	10000
3832361	75	1141,44	1478,59	1617,96	1756,05	1938,1	2076,2	2542,79

No Quadro 5.5 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 5.6 apresenta-se um resumo da análise de freqüência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado: março. A Figura 5.7 mostra o hietograma mensal dos posta de Umari. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 10000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III.

Quadro 5.5

Índices de Concentração Pluviométrica - Série de Valores Médios Mensais.

Código	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
3832361	MARÇO	204,5	26,6	FMA	493,5	64,3	1	681,1	88,7

Quadro 5.6 - Análise de Frequência-Nível Mensal-Distribuição Pearson III.

Código	N	Período de Retorno (anos)						
		10	50	100	200	500	1000	10000
3832361	75	347,83	470,58	520,38	569,29	633,21	681,31	841,88

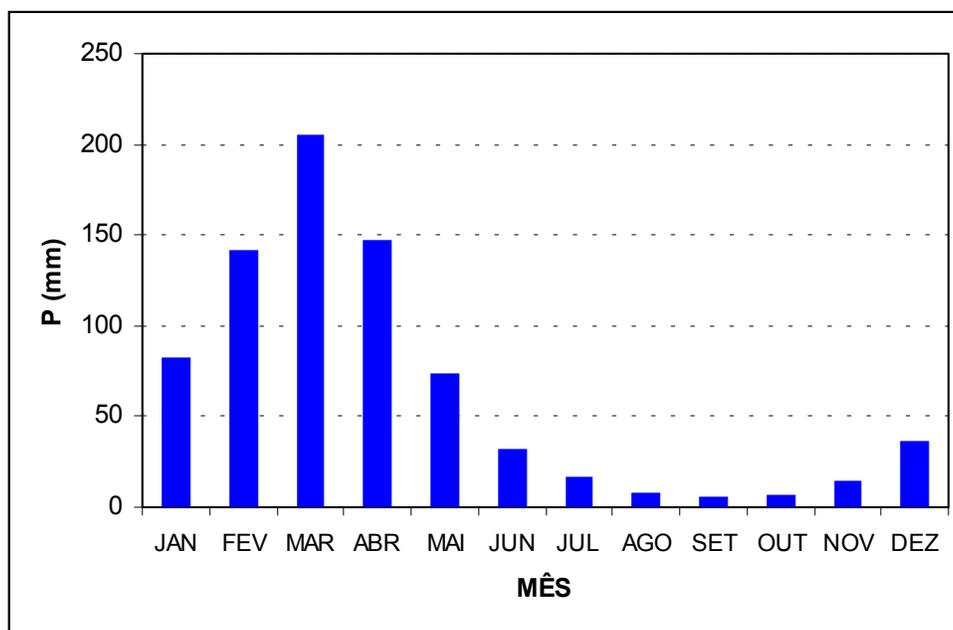


Figura 5.7 – Hietograma Mensal (Posto: Umari)

5.3.1 - Chuvas Intensas

Na área em estudo inexistem registros de pluviógrafos, sendo o aparelho mais comum em estações pluviométricas o pluviômetro, capaz de registrar a “precipitação máxima de 1 dia”. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade, duração e frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional, tem-se o Método das Isozonas (TORRICO, 1975), que partindo da transformação da chuva de 1 dia em 24 horas, permite estimar valores para intervalos de menor duração.

O método das isozonas apresenta diferenças bem significativas quando comparado com o método tradicional, conforme mostra Silva, Kern e Henrique (1989), o que sugere que os resultados obtidos pelo método das isozonas sejam observados com certas restrições.

A Figura 5.8 mostra as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno obtidas a partir do posto de Umari (3832361) com a metodologia de Taborga.

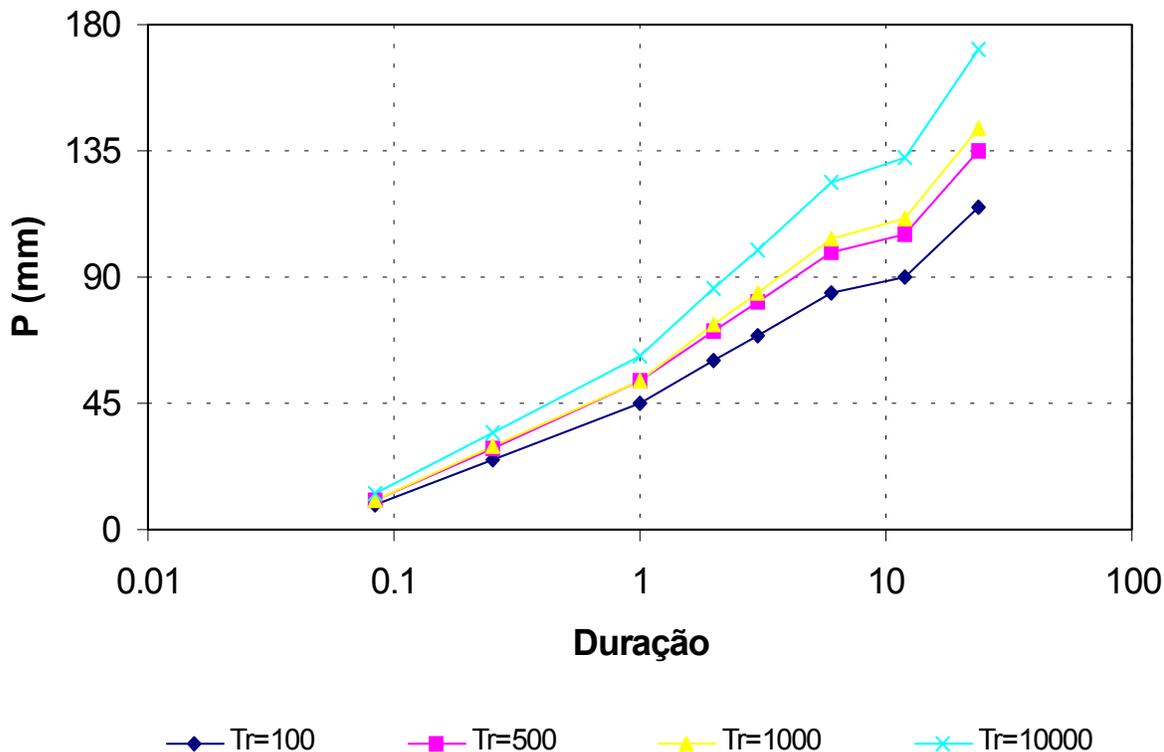


Figura 5.8 – Curvas intensidade-duração-freqüência

5.4 - ESTUDOS DE CHEIAS

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do sangradouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação. A utilização de métodos diretos ficou impossibilitada diante a inexistência de registros fluviométricos na bacia do Jenipapeiro.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Açude Jenipapeiro foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietogramas de projeto correspondentes a 1000 e 10000 anos (Tr = tempo de retorno).

Para o cálculo do escoamento superficial da bacia do Açude Jenipapeiro foi assumida uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas freqüentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtidas nos estudos hidroclimatológicos, sendo ajustado à área da bacia usando a seguinte equação:

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0}))$$

onde,

W = 0,15 (coeficiente regional para zonas áridas e semi-áridas);

P_A = Precipitação sobre toda a área;

P₀ = Chuva pontual;

A = 186,4 km² (área da bacia); e

A₀ = 25 km² (área base para chuva pontual),

Assim, se obtém um fator de redução igual a 0,87 (1-W.log(A/A₀)). O Quadro 5.7 apresenta a chuva pontual e a reduzida, esta última obtida com a aplicação do fator redutor de área da primeira.

A partir das curvas de chuva reduzida, foram obtidas as precipitações associadas aos tempos de retorno de 1000 e 10000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h..

Quadro 5.7 - Valores de Chuva de 24 horas (mm) - Pontual e Reduzida

Duração								
Chuva Pontual								
	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) - TR 100	11,4	30,8	55,3	74,3	85,5	104,5	111,6	142,6
P(mm) - TR 500	12,5	36,0	65,7	87,7	100,6	122,6	130,8	166,7
P(mm) - TR 1000	13,3	36,5	65,9	90,1	104,3	128,5	137,5	177,0
P (mm) - TR 10000	15,9	42,8	76,7	106,2	123,4	152,9	163,8	211,8
Chuva Reduzida								
P(mm) - TR 100	9,2	24,9	44,7	60,1	69,1	84,4	90,2	115,2
P(mm) - TR 500	10,1	29,1	53,1	70,9	81,3	99,1	105,7	134,7
P(mm) - TR 1000	10,7	29,5	53,2	72,8	84,3	103,9	111,1	143,1
P (mm) - TR 10000	12,8	34,6	62,0	85,8	99,7	123,5	132,4	171,2

5.4.1 - Precipitação Efetiva para aplicação do HEC-1

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-1 possibilita o uso de 5 métodos: 1) taxa de perda inicial e uniforme; 2) taxa de perda exponencial; 3) Curva-Número; 4) Holtan; 5) Função de Infiltração Green e Ampt. Foi considerado como mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método Curva-Número do Soil Conservation Service.

O método Curva-Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente. Para a bacia do Açude Jenipapeiro foi adotado um CN = 80 com base nos mapas de solos (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

A equação de escoamento do SCS é dada por:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

onde,

Q = escoamento;

P = precipitação;

S = capacidade máxima de armazenamento do solo; e

I_a = perdas antes do início do escoamento.

As perdas antes do início do escoamento (I_a) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação e infiltração. I_a é altamente variado, mas a partir de dados de pequenas bacias I_a é aproximado pela seguinte relação empírica:

$$I_a = 0,20.S \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) elimina-se I_a , resultando em:

$$Q = \frac{(P - 0,20.S)^2}{P + 0,80.S}$$

onde S está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{unidades métricas})$$

Onde CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II).

Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior.

5.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T_{LAG}. Este parâmetro, T_{LAG}, é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

O tempo de concentração da bacia foi estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich:

$$T_C = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

onde,

T_C = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do maior talvegue em km;

ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório.

Logo, para a bacia do Açude Jenipapeiro tem-se:

L = 27,8 km ΔH = 500 m S = 18 m/km v (m/s) = 1,91 m/s, o que resulta T_C = 4,05 h; T_{LAG} = 2,43 h para a Barragem Jenipapeiro.

A vazão de pico e o tempo de pico são calculados por:

$$Q_p = 208 \cdot \frac{A}{t_p} \qquad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

onde, Q_p = é a vazão de pico (m³/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km² e Δt = o intervalo de cálculo. No quadro 5.8 a seguir estão indicados os dados dos hidrogramas de cheia milenar e decamilenar.

QUADRO 5.8

Cheia	Δt (minutos)	Chuva Total	Perdas (mm)	Chuva Efetiva
-------	--------------	-------------	-------------	---------------

		(mm)		(mm)
1.000	5	134,59	54,45	80,14
10.000	5	161,02	57,16	103,86

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação $\Delta t = 0,20 t_p$, não devendo exceder $0,25 t_p$. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0,60 T_c \quad \text{e} \quad 1,7 t_p = \Delta t + T_c$$

onde T_c = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que $\Delta t \leq 0,29 T_{LAG}$. O intervalo escolhido pelo HEC-1 foi de 5 minutos. Para o cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessária uma estimativa do tempo de concentração da bacia, foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

As Figuras 5.9 e 5.10 apresentam os hietogramas de projeto (precipitação total) e os hidrogramas afluentes a barragem Jenipapeiro obtidos através do uso do modelo HEC-1 correspondentes aos tempos de retorno 1000 e 10000 anos, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma foi 724,2 m³/s para o período de retorno de 1000 anos, e 928,35 m³/s para o período de retorno de 10000 anos.

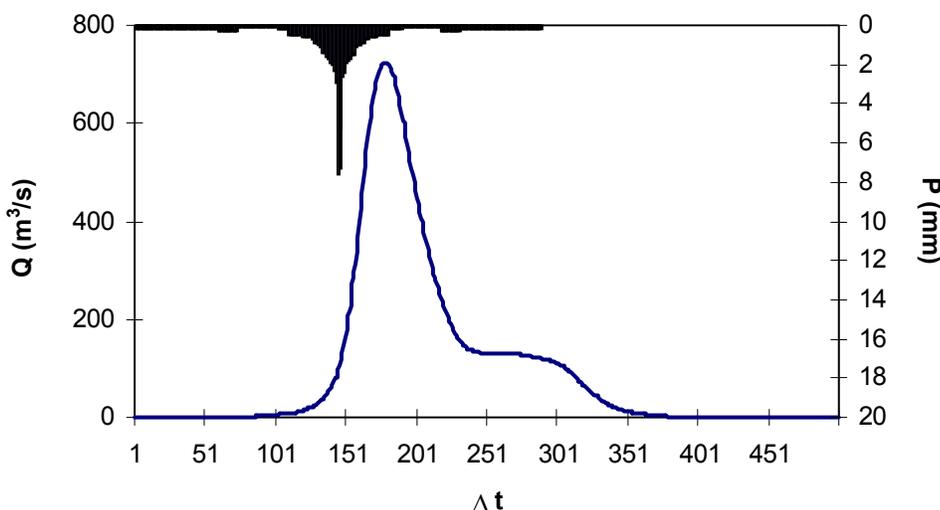


Figura 5.9 - Hidrograma total afluente ao Açude Jenipapeiro (Tr = 1000 anos).

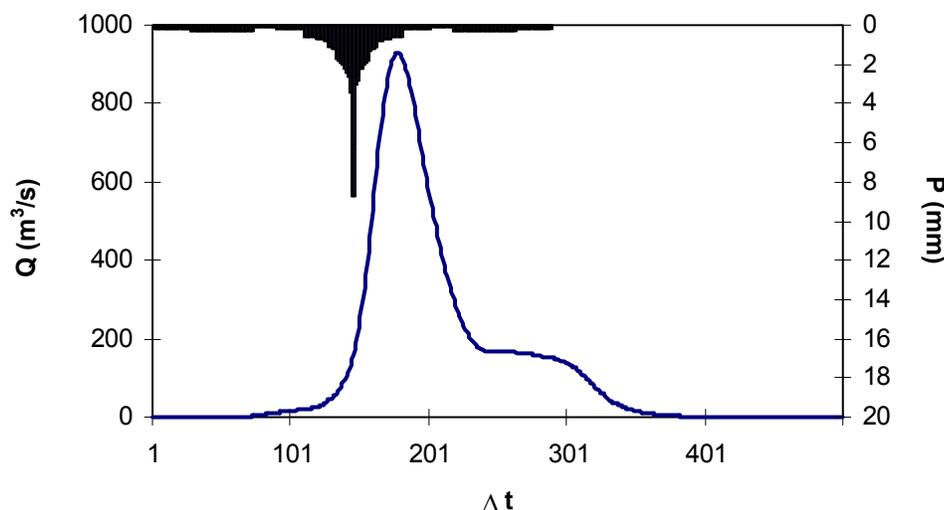


Figura 5.10 – Hidrograma total afluente ao Açude Jenipapeiro ($T_r = 10000$ anos).

5.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento das mudanças temporais e espaciais dos deflúvios naturais, visando o atendimento das demandas da sociedade. Busca-se aqui avaliar o tamanho que deve ser a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifiquem os investimentos a serem realizados.

5.5.1 - Resultados

As características do escoamento estabelecidas no PERH (1990) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- lâmina média escoada: 94 mm
- volume afluente médio escoado (μ): 17,5 hm^3 /ano

O coeficiente de variação de $CV = 1,4$ foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

Para aplicação dos dois métodos faz-se necessário a determinação do fator de forma α , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. No caso do fator adimensional de capacidade, este é variável uma vez que se pretende analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$$E_L = 0,85 \cdot (147,1 + 188,1 + 217,8 + 218,9 + 236,6 + 214,9 + 212,8)$$

$$= 1220,8 \text{ mm (evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 12943,5 \quad f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0,33$$

No Quadro 5.9 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K (fator de capacidade = K/μ) para a barragem Jenipapeiro. A Figura 5.11 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Jenipapeiro, que nada mais são que a graficação dos valores apresentados no Quadro 5.9.

A Figura 5.11 e os dados apresentados no Quadro 5.9 sugerem que a partir da cota 260 m (volume em torno de 43,4 hm³) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 24,4% do volume afluente médio anual, ou seja, 4,281 hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,144 m³/s. O Quadro 5.10 mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG).

Utilizando-se o método do Diagrama Triangular de Regularização com $f_E = 0,33$, $f_K = 2,48$ e $CV = 1,4$, obtém-se um volume de 4,375 hm³ regularizado anualmente, ou em termos de vazão, $Q_{90} = 0,139$ m³/s. Este valor está bem próximo ao valor obtido pela solução direta da equação do balanço hídrico (Quadro 5.10). A Figura 5.12 apresenta o Diagrama Triangular ($CV = 1,4$) e nele o caso da Barragem Jenipapeiro.

Quadro 5.9 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Jenipapeiro

Cota (m)	K (hm ³)	$f_k=K/\mu$	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	dM/dK	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /ano)
250	1,8302	0,10	1,58	0,277	92,58	16,221	4,70	0,824	----	0,0090	0,2846
251	3,1156	0,18	3,12	0,547	89,01	15,595	6,73	1,180	0,2186	0,0179	0,5657
252	5,0724	0,29	5,82	1,020	83,91	14,702	9,17	1,606	0,2552	0,0338	1,0650
253	7,6743	0,44	9,14	1,602	77,93	13,655	11,85	2,076	0,2434	0,0539	1,6982
254	10,7631	0,61	11,03	1,933	72,77	12,750	15,14	2,652	0,1101	0,0646	2,0382
255	14,3976	0,82	13,11	2,298	67,33	11,797	18,49	3,241	0,1042	0,0766	2,4169
256	18,6777	1,07	15,85	2,777	61,29	10,739	21,83	3,825	0,1193	0,0928	2,9276
257	23,6423	1,35	18,53	3,247	55,22	9,675	25,26	4,425	0,1021	0,1089	3,4346
258	29,3155	1,67	20,58	3,606	49,53	8,678	28,92	5,067	0,0668	0,1209	3,8137
259	35,8059	2,04	22,35	3,916	43,93	7,697	32,76	5,740	0,0500	0,1312	4,1380
260	43,4495	2,48	24,43	4,281	38,15	6,685	36,51	6,397	0,0517	0,1438	4,5335
261	52,2521	2,98	25,69	4,502	32,81	5,748	40,61	7,115	0,0268	0,1512	4,7698
262	62,0263	3,54	26,82	4,700	27,68	4,850	44,65	7,823	0,0217	0,1580	4,9823
263	73,0997	4,17	27,79	4,870	22,68	3,974	48,70	8,534	0,0161	0,1636	5,1605
264	85,5154	4,88	29,06	5,091	17,94	3,143	52,16	9,139	0,0193	0,1712	5,4002

Quadro 5.10

Distribuição do volume afluyente e Qr (90%) para o Reservatório Jenipapeiro

Equação do Balanço Hídrico – Cota 260 m			
RG - %	SG - %	EV- %	Qr 90% (m ³ /s)
4,281 – 24,4%	6,397 – 36,5%	6,685 – 38,15%	0,143
Diagrama Triangular de Regularização – Cota 260 m			
4,375 – 25,0%	6,475 – 37,0%	6,650 – 38,0%	0,139

EV - Volume Evaporado (hm³/ano)
 RG- Volume Regularizado (hm³/ano)

SG - Volume Sangrado (hm³/ano)
 Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m³/s)

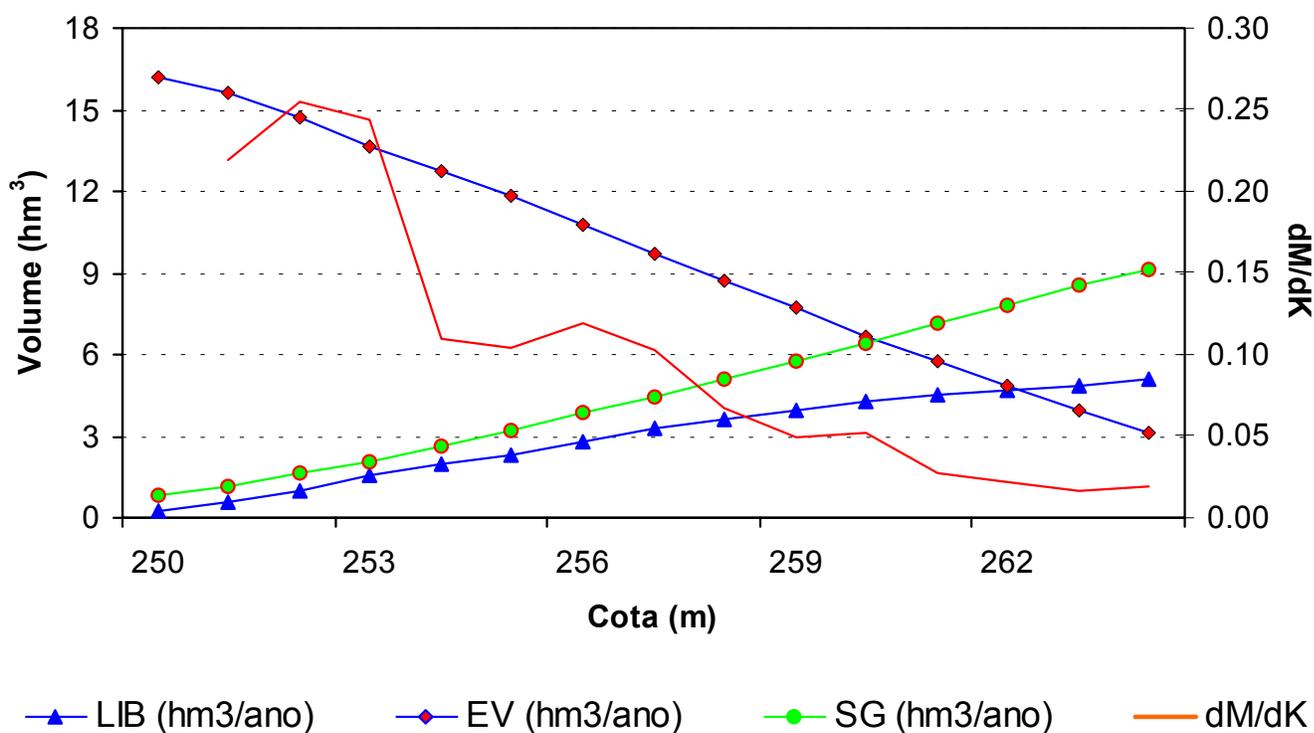


Figura 5.11 - Curvas de Regulação do Reservatório Jenipapeiro.

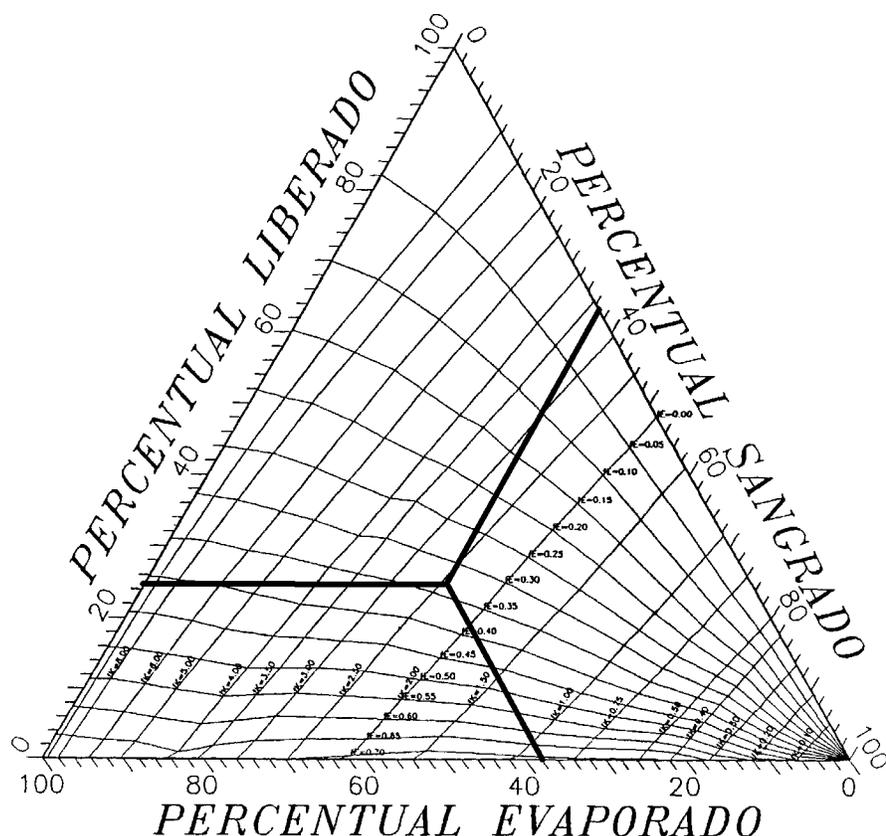


Figura 5.12 – Diagrama Triangular de Regularização aplicado a Barragem Jenipapeiro.

5.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

O item anterior sugere que a partir da cota 260 m os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Esta cota corresponde a capacidade de acumulação de $43,4 \text{ hm}^3$. Para esta capacidade o reservatório regulariza 24,4% do volume afluente médio anual, ou seja $4,281 \text{ hm}^3/\text{ano}$, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de $0,144 \text{ m}^3/\text{s}$. A topografia aqui não foi um fator limitante na escolha da capacidade de acumulação.

5.6.1 - Análise econômica

Para facilitar a escolha da capacidade da barragem foi elaborado um gráfico contendo as seguintes informações:

- variação do custo anual do m^3 de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos à uma taxa de 8%;

- variação do custo anual do m³ de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos à uma taxa de 8%;
- variação do ganho em unidades de volume regularizado por unidade de volume acrescido na capacidade do reservatório (dM/dK).

A análise dos resultados da Figura 5.13 mostra que:

- o custo anual do m³ regularizado variou entre R\$ 0,059 (cota 259 e 260 m) e R\$ 0,062 (cota 262 m).
- o custo anual do m³ de acumulação variou entre R\$ 0,008 (cota 258 m) e R\$ 0,005 (cota 262 m).

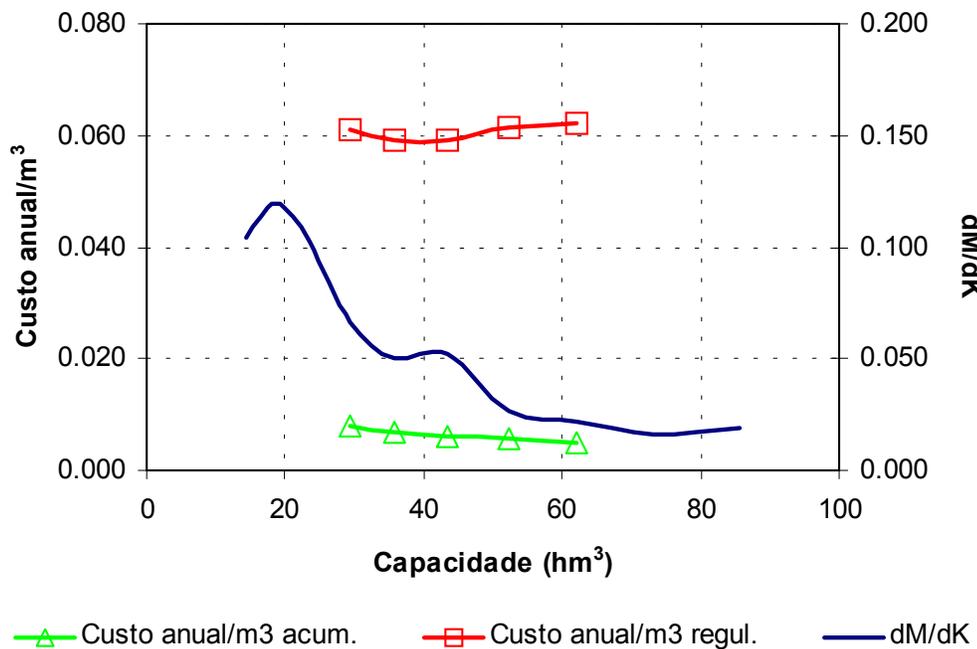


Figura 5.13. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Jenipapeiro.

5.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório - Análise hidrológico-econômica

O custo anual por m³ regularizado tem o seu mínimo nas cotas 259 - 260 m. Acima destas cotas os ganhos na capacidade de regularização por incremento de volume armazenado não compensam o aumento nos respectivos custos. Assim, considerando os aspectos hidrológico-econômicos sugere-se a adoção da cota de soleira = 260 m (volume de armazenamento = 43,4 hm³).

5.7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

No dimensionamento do sangradouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1.000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e será determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia.

Não havia marcas de cheias históricas no local da barragem, o que impossibilitou o uso desta informação.

5.7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório

Técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

A equação discretizada da continuidade é dada por:

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2} \quad (1)$$

onde,

I_t e I_{t+1} = vazões afluentes ao reservatório em t e $t+1$;

Q_t e Q_{t+1} = vazões de saída ao reservatório em t e $t+1$;

S_t e S_{t+1} = armazenamento em t e $t+1$; e

Δt = intervalo de tempo.

As incógnitas Q_{t+1} e S_{t+1} podem ser colocadas em um mesmo lado, resultando em:

$$Q_{t+1} + 2 \cdot \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \cdot \frac{S_t}{\Delta t} \quad (2)$$

Conhecendo-se a função $Q = f(S)$, constrói-se uma função $Q = h(Q + 2S/\Delta t)$, resultando no seguinte processo de cálculo:

1. determinação do volume inicial S_0 (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se Q_0 ;
2. calcular o termo direito da equação 2, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS;

3. com este valor $(Q_{t+1} + 2.S_{t+1}/ \Delta t)$ é possível obter Q_{t+1} através de $Q=h(Q+2S/\Delta t)$ e S_{t+1} através de $S_{t+1} = f^{-1}(Q_{t+1})$;
4. repetem-se 2 e 3 para todos os intervalos de cálculo.

O vertedouro é do tipo Perfil Creager, sendo o seu coeficiente de descarga adotado 2,1, ficando sua equação característica:

$$Q = 2,1 L (Z - Z_w)^{1.5}.$$

5.7.2 - Resultados

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 5.11, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 5.14 abaixo mostra para o tempo de retorno $T_r=1.000$ anos, o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Jenipapeiro. Os resultados para o tempo de retorno de 10.000 anos são apresentados na Figura 5.15.

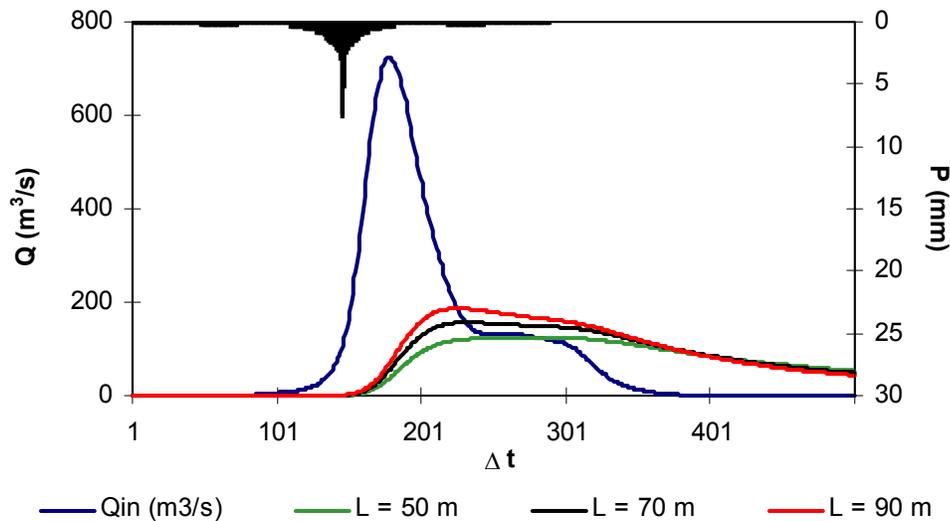


Figura 5.14 - Hidrogramas de Entrada e de Saida do Reservatório Jenipapeiro $T_r=1000$ anos. Perfil Creager. Cota 260 m. L = 50, 70 e 90 m.

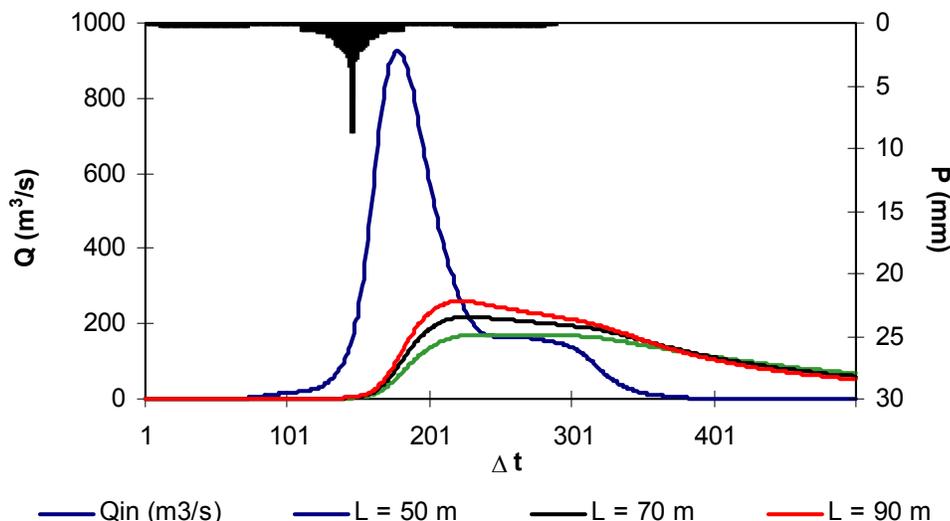


Figura 5.15 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Jenipapeiro Tr=10000 anos. Perfil Creager. Cota 260 m. L = 50, 70 e 90 m.

Quadro 5.11 - Resultado da simulação acima descrita

L (m)	Q _{out} (m ³ /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Perfil Creager: Z_w = 260,0 m			
Tr = 1000 anos - Q_{in} = 724,20 m³/s			
50	124,0	261,1	1,1
70	157,0	261,0	1,0
90	187,0	261,0	1,0
Tr = 10000 anos - Q_{in} = 928,35 m³/s			
50	171,0	261,4	1,4
70	219,0	261,3	1,3
90	260,0	261,2	1,2

L = Largura do sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluyente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)