
**ELABORAÇÃO DA DECLARAÇÃO DE RESERVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA
E DE ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO
DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ**

ETAPA V
RELATÓRIO FINAL

TOMO 0
MEMÓRIA GERAL

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVOS E ÂMBITO DOS ESTUDOS

O presente relatório está integrado nos estudos designados por “ELABORAÇÃO DA DECLARAÇÃO DE RESERVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DE ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ”, nos termos definidos na Solicitação de Propostas SDP-SMC nº 001/2005/PROGERIRH/SRH/CE de Dezembro 2004 e do contrato firmado entre a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) e a COBA.

O objetivo principal dos estudos é a definição da viabilidade técnica e econômica de instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) em açudes ou outros aproveitamentos hidráulicos existentes no Estado do Ceará e a caracterização dessas centrais.

Os estudos a realizar têm também por objetivo a solicitação à Agência Nacional de Águas (ANA) de “Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica” relativa a cada um dos aproveitamentos, de acordo com o que é exigido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e segundo a legislação em vigor que define as condições de viabilidade de implantação de PCH.

No âmbito do presente estudo inclui-se a avaliação do potencial hidrelétrico dos três principais açudes existentes no estado do Ceará (Castanhão, Orós e Banabuiú), cuja capacidade dos

respectivos reservatórios representam um significativo percentual do volume de armazenamento total disponível no estado, de dois outros açudes de menores dimensões (Aracoiaba e Jaburu I) onde foi previamente identificado um potencial para produção de energia hidrelétrica e da estrutura de queda e dissipação de energia atualmente existente no Trecho 1 do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza.

O Estudo de Viabilidade compreenderá, para cada central, a recolha de dados e a realização de estudos de base, a avaliação técnico-económica das soluções a adotar, a comparação com alternativas equipadas com turbo-bombas e a elaboração dos Termos de Referência para a concepção do projeto definitivo das alternativas recomendadas.

Os estudos foram, em consequência, repartidos pelas seguintes cinco etapas seqüenciais :

- Etapa I : Estudos de Base;
- Etapa II : Estudo de avaliação técnica e económica;
- Etapa III : Estudo comparativo entre PCH e turbo-bomba;
- Etapa IV : Termo de Referência;
- Etapa V : Relatório Final.

O relatório da “ETAPA I : ESTUDOS DE BASE” que se encontra já concluído (COBA, Outubro 2005), inclui fundamentalmente a recolha e análise de elementos existentes relativos aos aproveitamentos em estudo, bem como a análise e sistematização dos resultados de estudos anteriores. Esta etapa envolveu também o desenvolvimento de um programa de simulação da exploração dos aproveitamentos hidrelétricos.

No relatório da “ETAPA II : ESTUDO DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA” (COBA, Dezembro 2005), foram definidas diferentes alternativas de implantação e de características técnicas da central e efetuada uma análise técnica e económica que permitiu a seleção da solução a adotar para cada aproveitamento. Foi ainda efetuada a estimativa de custos de construção e definidas as obras a realizar.

Os estudos realizados compreenderam também, na “ETAPA III : ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PCH E TURBO-BOMBA”, para cada local, a análise comparativa entre os custos e benefícios de implantação de uma solução alternativa com utilização de turbo-bombas em substituição da PCH.

A “ETAPA IV : TERMO DE REFERÊNCIA” consiste na elaboração de um Termo de Referência que possibilite o lançamento de concurso para a realização do Projeto da alternativa selecionada como a mais adequada nas Etapas II e III.

O presente documento corresponde ao relatório da “ETAPA V : RELATÓRIO FINAL”, onde são apresentados os resultados finais dos estudos, que integra um memorial descritivo de todos os estudos realizados e dos resultados e conclusões obtidos.

No âmbito do presente estudo foi efetuada uma deslocação a cada um dos locais a estudar para implantação das PCH. Esta deslocação visou a definição, in-situ, da possibilidade de implantação das obras e interferências com outras estruturas, associados a cada local.

Na Figura 1.1 representa-se a localização de cada uma das seis pequenas centrais hidrelétricas em estudo.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O relatório da Etapa V está organizado em sete Tomos, correspondendo seis Tomos a cada uma das PCH em estudo e um Tomo é relativo à memória geral do estudo, ou seja:

- Tomo 0 – Memória Geral.
- Tomo 1 – PCH do Açude Castanhão.
- Tomo 2 – PCH do Açude Orós.
- Tomo 3 – PCH do Açude Banabuiú.
- Tomo 4 – PCH do Açude Aracoiaba.
- Tomo 5 – PCH do Açude Jaburu I.
- Tomo 6 – PCH da Queda do Trecho 1 do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza.

O presente “TOMO 0” é relativo à “MEMÓRIA GERAL” dos estudos, onde se descrevem os estudos realizados e é apresentado o resumo das características adotadas para cada PCH.

No Capítulo 1 do presente Tomo é feita uma breve introdução sobre o seu conteúdo e integração no conjunto dos estudos.

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



No Capítulo 2 são resumidos os dados de base disponíveis e no Capítulo 3 é efetuada a descrição do programa informático de simulação da exploração das PCH desenvolvido (SIMPCH) no âmbito do presente estudo. Em anexo apresentam-se os ficheiros de dados e de resultados do programa de simulação SIMPCH.

No Capítulo 4 é apresentado o resumo dos resultados dos estudos de viabilidade técnica e econômica realizados.

No Capítulo 5 são resumidas as características adotadas para cada PCH, incluindo dados técnicos e econômicos, que são detalhadas nos Tomos respectivos integrantes do presente relatório. Nesses Tomos são também apresentados desenhos com a implantação e arranjo geral das soluções previstas.

No Capítulo 6 são resumidas e sistematizadas as principais conclusões do conjunto de estudos realizados.

Os Tomos 1 a 6 apresentam os dados específicos e as características adotadas relativamente a cada uma das PCH.

(1 página A3 a cores)

Figura 1.1

Localização das pequenas centrais hidrelétricas em estudo

2. DADOS DE BASE

2.1. RECOLHA DE DADOS DE BASE

Na fase inicial do presente estudo (relatório da Etapa I – Estudos de Base) procedeu-se à pesquisa e recolha da informação disponível sobre cada um dos aproveitamentos, quer no que diz respeito às infra-estruturas existentes e respectivos projetos quer relativamente aos dados de base necessários para fundamentar os estudos a realizar.

A recolha de elementos de base para utilização nos estudos envolveu essencialmente as seguintes áreas:

- Topografia e Cartografia;
- Dados geológicos e geotécnicos;
- Climatologia e hidrologia;
- Características gerais dos aproveitamentos existentes (estudos e projetos);
- Dados sobre a exploração dos aproveitamentos (registos e estudos disponíveis);
- Dados relativos à rede elétrica do Estado.
- Outros dados, designadamente de natureza econômica e legislativa

Nos capítulos seguintes apresenta-se uma descrição sucinta dos elementos recolhidos relativamente a cada uma das PCH, que foram apresentados detalhadamente no relatório da Etapa I. É também apresentada uma breve descrição da situação atual da produção de energia elétrica no estado do Ceará.

Para além da recolha de elementos em gabinete, foi realizada uma deslocação a cada um dos locais a estudar para implantação das PCH. Esta deslocação visou definir, in-situ, as possibilidades de implantação das obras e interferências com outras estruturas, associados a cada local.

2.2. SITUAÇÃO ATUAL DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CEARÁ

O consumo em energia elétrica Estado do Ceará é estimado atualmente em cerca de 5 500 GWh/ano, com uma ponta de consumo de aproximadamente 1200 MW. A taxa de

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



crescimento anual em anos recentes tem sido de 6,5% por ano, superior à média do País e do Nordeste.

A maior parte da energia consumida é de origem hidrelétrica, importada do sistema do São Francisco (CHESF) e do sistema da Eletronorte, através de linhas de 230 kV e 500 kV.

O estado do Ceará produz atualmente apenas cerca de 1% das suas necessidades em energia, equivalente a cerca de 40 GWh/ano, tendo origem exclusivamente em três parques eólicos: Taíba com uma potência instalada de 5 MW, Praínha com 10 MW e Mucuripe com 2,4 MW. Está ainda planejada a construção de dois novos parques eólicos em Camocim e Paracuru, cada um com uma capacidade instalada de 30 MW.

O estado do Ceará dispõe ainda de duas centrais termelétricas, construídas recentemente na sequência do período de racionamento de energia que ocorreu em 2002. A Usina Termelétrica Senador Carlos Jereissati, localizada no Pecém, tem uma potência inicial de 216 MW e a Central Geradora Termelétrica Fortaleza, tem uma potência de 310 MW. Ambas as usinas são do tipo co-geração, utilizando o gás natural como combustível.

Estas centrais térmicas encontram-se em fase de conclusão, não tendo entrado ainda em exploração regular. A capacidade destas usinas será capaz de satisfazer mais de metade da demanda de energia elétrica do estado do Ceará., no entanto, atendendo a que a energia de origem hidrelétrica importada é mais barata, e tem sido abundante nos últimos anos, é provável que estas centrais não operem à sua capacidade máxima.

Os recursos hídricos do estado do Ceará caracterizam-se pela escassez face às necessidades de consumo para irrigação e abastecimento, e grande irregularidade interanual e de ano para ano, pelo que a capacidade de produção de energia do Estado será sempre marginal relativamente às necessidades de consumo. A utilização de água para a produção de energia será sempre secundária face à valia da água para usos humanos, industriais e agrícolas e condicionada por estes usos, não podendo assegurar consumos de energia de base em contínuo.

No entanto, as descargas de água efetuadas para atender a usos a jusante dos açudes representa um potencial energético que se poderá revelar economicamente interessante explorar, reduzindo a dependência do Estado face às importações.

Esta energia, resultando essencialmente da libertação de água para rega, será concentrada no período de estiagem, quando a capacidade de produção hidrelétrica dos restantes sistemas

(CHESF e Eletronorte) é menor, o que beneficia a valorização econômica da energia produzida. Por outro lado, o custo de produção desta energia será reduzido, dado que utilizará infra-estruturas existentes (açudes, tubulações, etc.) e evitará a execução de linhas de transmissão de energia para abastecimento local.

2.3. TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA

Procedeu-se à recolha dos elementos cartográficos e topográficos disponíveis para cada local de implantação das PCH.

Os elementos cartográficos para localização dos açudes e delimitação das respectivas bacias hidráulicas e bacias hidrográficas, consistem essencialmente nas cartas à escala 1:100 000 da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste DRN-DC e respetivas cartas à escala 1:25 000 do DNOS existentes. Estas cartas foram também utilizadas para avaliação do comprimento das linhas de interligação à rede elétrica de média ou alta tensão, necessárias para cada PCH.

Dado que os locais de central ficarão localizados perto do pé de jusante das barragens, recorrer-se-á, sempre que disponíveis, aos elementos topográficos utilizados no desenvolvimento dos projetos dos açudes.

Estes elementos consistem geralmente em topografia nas escalas 1:500 ou 1:1000, abrangendo as barragens e zonas a jusante. Em alguns casos dispõe-se também de topografia nas escalas 1:2 000 ou 1: 5000, abrangendo áreas maiores envolventes.

2.4. DADOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Os elementos geológicos básicos disponíveis consistem fundamentalmente na carta geológica do Ceará na escala 1:250 000 e respetivas memórias descritivas.

No que diz respeito à geotecnia, para alguns açudes encontram-se disponíveis resultados de sondagens e outros trabalhos de investigação realizados durante a construção.

As centrais a instalar serão estruturas relativamente ligeiras e não muito exigentes em termos de fundações, implantadas em locais já bem conhecidos e caracterizado do ponto de vista geotécnico, pelo que não se prevêem problemas especiais de ordem geológica ou geotécnica.

A caracterização efetuada na fase de projeto dos açudes é assim suficiente para a definição da viabilidade de implantação das obras e para a estimativa do respetivo custo de execução.

De notar que para os açudes Castanhão, Orós e Banabuiú, o Projeto Executivo das respectivas obras incluiu também a elaboração de Estudos de Viabilidade e/ou Anteprojetos de usinas hidrelétricas, em que os aspetos getécnicos de implantação das obras foram analisados.

2.5. ESTUDOS E PROJETOS

A informação relativa a estudos e projetos envolveu a deslocação às entidades responsáveis quer pela execução das obras na época de construção quer pela atual exploração dos aproveitamentos, tendo-se promovido reuniões com os técnicos responsáveis e efetuado a consulta dos respectivos arquivos técnicos. Foram designadamente consultadas as seguintes entidades:

- SRH/SOHIDRA; dados de cadastro relativos à totalidade dos açudes objeto do estudo: Castanhão, Orós, Banabuiú, Aracoiaba e Jaburu I.
- SRH; dados relativos aos açudes Aracoiaba e Jaburu I.
- SOHIDRA para recolha de elementos relativos à Queda do Trecho 1 do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza.
- COGHERH; dados relativos à exploração dos açudes existentes.
- DNOCS (serviços centrais e delegação no Ceará, ambos situados em Fortaleza); recolha de informação relativa aos açudes Castanhão, Orós e Banabuiú.

Foi assim efetuada a recolha de todos os dados disponíveis relativos aos aproveitamentos existentes onde é prevista a implantação das PCH, incluindo designadamente estudos básicos realizados (hidrologia, geotecnia, demandas hídricas e levantamentos topográficos), elementos do projeto executivo das obras (e.g. tomada de água), dados de exploração do aproveitamento, etc.

Foi ainda sistematizada a informação já disponível na COBA relativa aos diferentes aproveitamentos, obtida no decurso da realização de diversos estudos e projetos realizados no estado do Ceará, destacando-se os Projetos Executivos de alguns dos aproveitamentos onde é planejada a implantação de PCH, que foram de autoria da COBA, designadamente:

- Projeto Executivo da barragem de Aracoiaba, Geodinâmica/COBA, 1998.
- Projeto Executivo da recuperação da barragem de Jaburu I, COBA, 2000.

- Projeto Executivo do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza, que integra a queda do Trecho I, Consórcio COBA/VBA/HHB, 2003.

No âmbito da Etapa A – Diagnóstico dos "Estudos Visando o Atendimento das Demandas Hídricas da Região Metropolitana de Fortaleza", a COBA desenvolveu estudos de utilização dos recursos hídricos das bacias do Jaguaribe e das Bacias Metropolitanas.

No âmbito desse estudo foi desenvolvido um programa de simulação hidráulica integrada de toda a bacia hidrográfica do Jaguaribe e Bacias Metropolitanas, e definidas as condições de operação a adotar para os principais açudes existentes e previstos. Foi também efetuado um estudo preliminar da possibilidade de implantação da central hidrelétrica no pé-de-barragem do açude Castanhão e da alternativa de instalação de turbo-bombas.

Foram ainda realizados pela COBA estudos preliminares de avaliação do potencial de produção de energia em cada um dos seis local de implantação de PCH.

2.6. REGISTOS DE EXPLORAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS

Relativamente à informação relativa à exploração os aproveitamentos foram disponibilizados pela COGERH registros diários atualizados de níveis nos reservatórios, volumes armazenados e vazões de sangria, que compreendem todo o período deste a entrada em serviço dos aproveitamentos.

A COGERH forneceu também informação sobre as vazões liberadas pela tomada de água, para o mesmo período.

2.7. RECURSOS HÍDRICOS E DEMANDAS HÍDRICAS

2.7.1. Considerações prévias

Uma vez que as centrais turbinarão essencialmente as vazões descarregadas para jusante para atender a outros fins (demandas para abastecimento urbano e irrigação) será necessário proceder à simulação da exploração dos reservatórios com base em séries de vazões afluentes aos respectivos reservatórios.

Tendo em conta os objetivos dos estudos e a dimensão dos reservatórios, será suficiente proceder ao seu balanço mensal, para o que será necessário dispor de séries mensais de afluências suficientemente longas (40 ou mais anos) para cada local.

Será ainda necessário o conhecimento das demandas hídricas associadas a cada reservatório e sua distribuição mensal.

Recolheu-se também informação relativa à precipitação e evaporação ao nível dos reservatórios, necessária para o estabelecimento do balanço hídrico.

2.7.2. Dados hidrológicos

Para o desenvolvimento do presente estudo foi necessário recolher dados hidrológicos que permitam estimar a produtividade das diferentes centrais.

Os estudos consultados para a avaliação dos recursos hídricos foram os seguintes:

- Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-1992).
- Plano de Gerenciamento de Águas da Bacia do Jaguaribe (PGAJ-2000), Volume 1 – Tomo I – Estudos Base de Hidrologia, COGERH, Julho 2000.
- Planos de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas (PGAM-2000)
- Estudos de Inserção Regional da Transposição do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional (IRTSF-1999).
- Estudos Visando o Atendimento das Demandas Hídricas da Região Metropolitana de Fortaleza, COBA/VBA/HHB, 2000-2003 (SRH-CE), designadamente o seguinte relatório : Etapa A – Diagnóstico; Fase A2 – Diagnóstico.
- Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos (Ceará), SRH-CE, 2005.

Para os açudes Castanhão, Orós e Banabuiú e para a Queda do Trecho 1 recorreu-se aos resultados que constam no relatório da “Fase A2 – Diagnóstico” do já referido estudo designado por “Atendimento das Demandas Hídricas da Região Metropolitana de Fortaleza (Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza), COBA/VBA/HHB”.

Para os açudes Aracoiaba e Jaburu I foram utilizadas as séries hidrológicas desenvolvidas para o projeto de cada um dos açudes. Estas séries foram prolongadas para o restante período.

Atendendo a que alguns destes açudes se encontram construídos há já largos anos, designadamente os açude Orós, Banabuiú e Jaburu I, foram também utilizados os dados de exploração disponíveis.

2.7.3. Demandas hídricas

O conhecimento das demandas hídricas associadas a cada reservatório é fundamental para a estimativa da capacidade de produção de energia de cada PCH.

Efetivamente, constata-se que relativamente à utilização das vazões regularizadas por cada açude poderão verificar-se as seguintes situações:

- Vazões correspondentes a demandas a montante ou derivadas para um outro circuito hidráulico que não o da central, que não serão turbinadas.
- Vazões correspondentes a demandas de água a jusante do açude, satisfeitas através de descargas diretas para o leito do rio, que serão turbinadas.

Para os açudes Castanhão, Orós e Banabuiú recorreu-se à informação que consta no relatório da “Fase A2 – Diagnóstico” do já referido estudo designado por “Atendimento das Demandas Hídricas da Região Metropolitana de Fortaleza (Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza)”.

Para os açudes Aracoiaba e Jaburu I foram utilizados os dados dos respectivos Projetos Executivos.

Foi ainda definida a distribuição mensal dos consumos, que variam em função do tipo de utilizador (abastecimento, indústria ou irrigação).

2.8. OUTROS DADOS

2.8.1. Valorização da produção de energia

Para a valorização da energia produzida foi considerados os diferentes tarifários atualmente em vigor no Estado, para compra da energia:.

- Preço indicado no Programa PROINFRA (Portaria nº 45 de 30/03/2004 publicada no Diário Oficial da União de 01/04/2004) (Valor Econômico da Tecnologia Específica da Fonte aplicável a Pequenas Centrais Hidrelétricas – VETEF_P) : 117,02 R\$ / MWh.
- Preços praticados pela COELCE, na compra de energia entregue em pontos do seu sistema de distribuição, podendo admitir-se as seguintes hipóteses:
 - a. Preços praticados no contrato antigo COELCE / CHESF, o qual terminará no final de 2005 - R\$ 54,04 / MWh e R\$ 5,34 kW/mês;

- b. Compra pela COELCE da CHESF no mercado livre - R\$52,79 / MWh;
- c. Compra pela COELCE no mercado livre de outras empresas – R\$ 62,10 / MWh.

Como se pode constatar as duas formas de valorização da energia produzida conduzem a valores muito diferentes, pelo que se procedeu ao cálculo do valor da energia para as duas situações indicadas.

Nos cálculos realizados considerou-se os preços da COELCE e a alternativa c), ou seja R\$ 62,10 / MWh, que se considera poder melhor corresponder às condições econômicas futuras de exploração da PCH em estudo.

A valorização final efetiva da energia produzida terá de ser feita por um tarifário a estabelecer com a SRH/COGERH, aplicável à PCH, de acordo com o estabelecido na legislação aplicável e a acordar com a ANEEL e/ou a COELCE.

2.8.2. Legislação e outros documentos

Foi recolhida a seguinte legislação, manuais e outros elementos, com importância para o presente estudo:

- Portaria Nº 45 de 30 de Março de 2004 do Ministério de Minas e Energia.

Autoriza e define as condições de convocação da Chamada Pública para compra de energia elétrica no âmbito do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) – 1ª Etapa.

Contém guias de Projetos de Geração de Energia Elétrica, designadamente para PCH, onde são definidos os critérios de habilitação para produtores e as condições de aquisição de energia produzida.
- Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Electrobrás.
- Manual para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos, Electrobrás.
- Manual de Microcentrais hidrelétricas, Electrobrás.
- Manual para Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas, Electrobrás.

3. MODELO DE SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DAS PCH (SIMPCH)

3.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

Os estudos de simulação da exploração realizados para cada aproveitamento e respectivas PCHs, visam a definição da capacidade de regularização de vazões para abastecimento e para irrigação, bem como o potencial disponível para produção de energia hidrelétrica.

No âmbito dos estudos realizados inclui-se também a elaboração de um programa informático de simulação da exploração das PCH (relatório da Etapa I – Estudos de Base), que se designou por SIMPCH, e que permite simular a sua operação em função das vazões afluentes, do estado de enchimento e das demandas previstas.

No presente capítulo faz-se a apresentação do modelo SIMPCH, que foi utilizado para a avaliação da capacidade de produção de energia de cada PCH, sendo em anexo apresentado um CD com os arquivos informáticos do programa de cálculo.

Atendendo à grande capacidade de armazenamento dos diferentes reservatórios, a simulação da exploração é efetuada a nível mensal, tendo-se considerando uma série histórica de 83 anos hidrológicos de deflúvios mensais.

A descrição das infra-estruturas que integram cada aproveitamento é apresentada nos Tomo 1 a 6 do presente relatório, sendo no presente capítulo apenas referidos os dados necessários para o programa de simulação.

3.2. MODELO DE SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DAS PCH (SIMPCH)

A avaliação da capacidade de regularização de vazões e de produção de energia de cada aproveitamento é efetuada através da utilização de um modelo de simulação hidráulica da exploração do aproveitamento, que considera os escoamentos afluentes, as necessidades de água agregadas e determinados critérios de exploração.

Na Figura 3.1 é representado o esquema de funcionamento do modelo de simulação do aproveitamento tipo considerado (SIMPCH), com indicação das interligações existentes entre os seus componentes e das variáveis que caracterizam a exploração do aproveitamento. Este modelo é aplicável a todas as PCH em estudo, com exceção da PCH da Queda do Trecho 1, em que as vazões a turbinar coincidem com as vazões transportadas pelo Eixo de Integração.

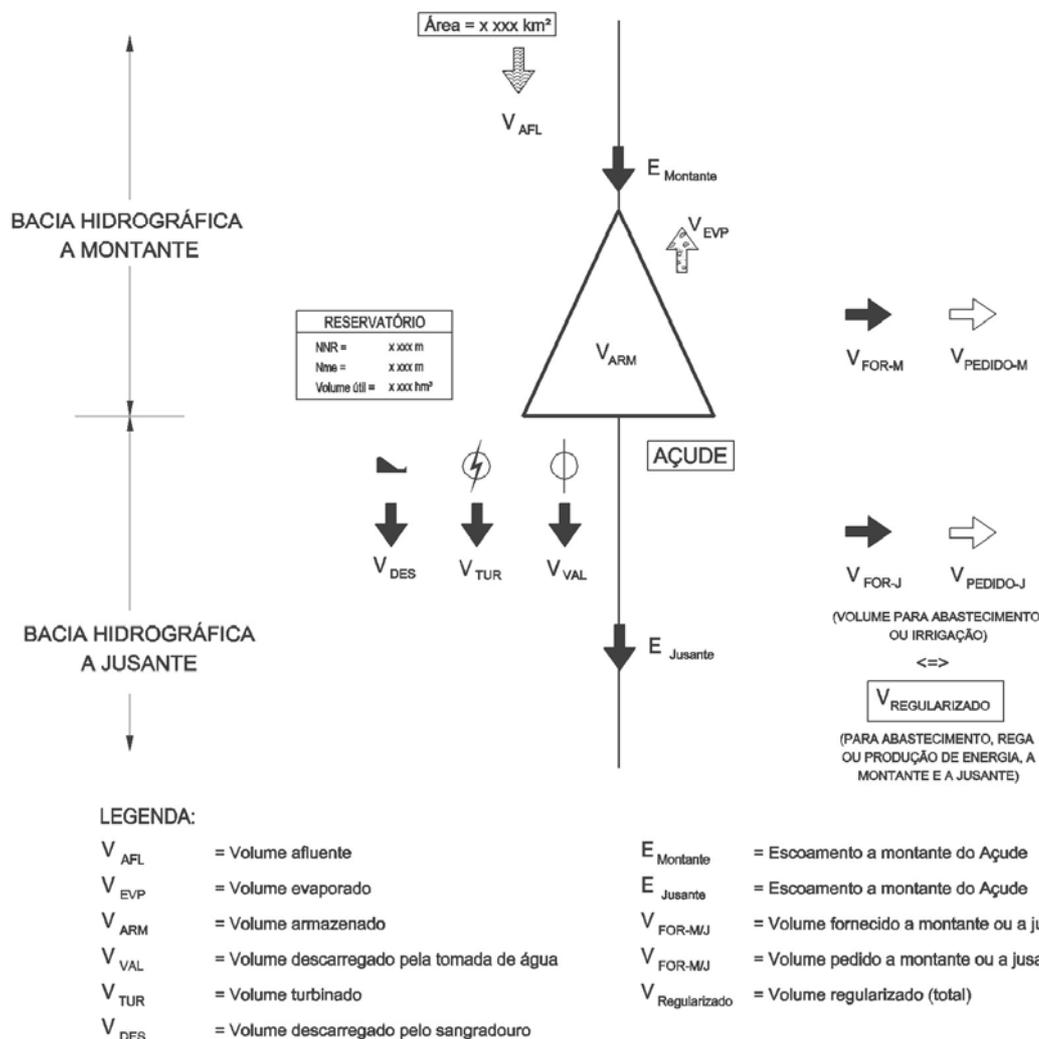


Figura 3.1
Modelo de Simulação da Exploração das PCH (SIMPCH)

O programa de cálculo SIMPCH efetua o balanço mensal seqüencial ao longo do período de simulação entre disponibilidades e necessidades de água, recorrendo à capacidade de armazenamento no reservatório em função do armazenamento disponível em cada instante de simulação (mês), dos pedidos de água e das prioridades definidas para fornecimento de água.

O modelo considera assim o efeito do armazenamento nos reservatórios, as derivações existentes para abastecimento de água e determinadas regras de exploração do reservatório. As regras de exploração adotadas visam a maximização do valor da energia produzida, garantindo simultaneamente as necessidades de água atuais e futuras a partir do aproveitamento.

Os principais dados de entrada do modelo de simulação, que caracterizam cada PCH analisada, são:

- Características físicas dos aproveitamentos existentes: áreas de bacias hidrográficas, volume útil do reservatório e curvas de áreas e de volumes (CAV);
- Características da central hidrelétrica para cada variante a analisar, designadamente a vazão equipada, queda útil e nível mínimo de exploração do reservatório (a vazão e a queda útil são função do nível no reservatório);
- Dados hidrológicos, que consistem na série de escoamentos mensais afluentes em cada bacia hidrográfica e na precipitação e evaporação ao nível do reservatório;
- Necessidades mensais e anuais de água para abastecimento de populações, irrigação e outros usos, incluindo a sua evolução no tempo. Compreende também vazões ecológicas a garantir a jusante;
- Curvas-guia de exploração do reservatório, definidas pelos níveis inferior e superior de exploração e por um período normal de turbinamento diário;
- Garantia de fornecimento de água a assegurar, de acordo com o tipo de utilização.
- Valorização econômica da energia produzida.

Os resultados obtidos consistem fundamentalmente nas séries mensais no período de simulação, para cada uma das alternativas, das seguintes variáveis:

- Volumes armazenados no reservatório e respectivos níveis de água;
- Volumes evaporados, descarregados e turbinados;
- Volume regularizado e volume fornecido para abastecimento de água.
- Volume escoado a jusante da barragem.

São também calculados os valores médios ao longo do período da simulação dos seguintes parâmetros:

- Garantia de fornecimento de água para abastecimento, rega e ou produção de energia a jusante; número de anos em falha, volume médio fornecido e falha anual máxima.

- Energia produzida na usina hidrelétrica (em cada período diário), respectiva valorização, tempo de funcionamento anual e queda útil média.

Os valores da energia produzida são determinados para os três períodos horários habitualmente considerados em cada dia (horas de ponta, horas cheias e horas de vazio), sendo também calculado o valor da potência garantida.

3.3. CARACTERÍSTICAS DOS APROVEITAMENTOS

3.3.1. Bacias hidrográficas

No Quadro 3.1 apresentam-se as principais características das bacias hidrográficas definidas nas seções dos açudes em estudo.

Quadro 3.1
Características das bacias hidrográficas

Açude / Aproveitamento	Linha de água	Área (km ²)	Precipitação média anual (mm)	Escoamento médio anual	
				(mm)	(hm ³)
Castanhão	Jaguaribe	35 000	857,8	53,7	1 878,4
Orós	Jaguaribe	24 872	812,2	34,5	858,5
Banabuiú	Banabuiú	12 677	791,0	60,5	766,8
Aracoiaba	Aracoiaba	588,6	1 100	263,3	155,0
Jaburu I	Jaburu	350	1 440	507,7	177,0
Queda do Trecho 1	-	-	-	-	465,0 (1)

(1) – Volumes transferidos pelo Eixo de Integração (indicado valor no ano horizonte de projeto).

No Tomos 1 a 6 são representadas as bacias hidrográficas de cada aproveitamento sobre cartografia à escala 1:100 000.

3.3.2. Açudes

No Quadro 3.2 apresentam-se as principais características dos açudes onde é prevista a implantação de PCH. Todos os açudes são já existentes.

As características mais detalhadas de cada um dos açudes são apresentadas nos Tomos 1 a 6.

Quadro 3.2

Características dos açudes

Açude Aproveitamento	Altura máxima (m)	Área para o NNR (km ²)	Níveis no reservatório (m) (1)			Capacidade do reservatório (hm ³)		
			NNR	NME	NCM	total	útil	morta
Castanhão	60	325	100	71	-	4 452	4 200	252
Orós	54	212	200	180	-	2 100	1 956	144
Banabuiú	57	97,7	142,50	100	-	1 700	1 600	200
Aracoiaba	35	18	95	75	-	170,7	150,4	20,3
Jaburu I	48,1	14,5	722,30	710	-	210	-	-
Queda Trecho 1	-	-	121,9	118,2	-	-	-	-

(1) – NNR = Nível máximo normal do reservatório; NME = Nível mínimo de exploração (mínimo para abastecimento); NCM = Nível de capacidade morta (soleira da descarga de fundo).

As curvas que relacionam o volume total armazenado (V , hm³) com a cota do nível do reservatório (Z , m) e com a área inundada (S , km²), para cada um dos reservatórios, são definidas pelas expressões seguintes:

- Reservatório Castanhão $A = - 1,5787 \times 10^{-6} V^2 + 0,07569 V + 17,01$
- Reservatório Orós $A = - 6,4344 \times 10^{-6} V^2 + 0,1140 V + 4,26$
- Reservatório Banabuiú $A = - 0,0007236 V + 0,010099$
- Reservatório Aracoiaba $A = 0,0005981 V^2 - 0,01754 V + 1,107$
- Reservatório Jaburu I $A = - 0,00015905 V^2 + 0,0982 V + 0,479$

Estas expressões são válidas para cotas no reservatório entre o nível mínimo de exploração e o nível máximo normal do reservatório.

Para cada reservatório consideraram-se níveis mínimos para abastecimento (valores indicados no quadro) e níveis mínimos para turbinamento, sendo que neste último caso dependem do tipo de turbina a instalar e condições de operação a estabelecer no âmbito do presente estudo.

3.3.3. Usinas hidrelétricas

Cada aproveitamento integrará uma usina hidrelétrica cujas principais características de dimensionamento, determinadas no âmbito do presente estudo (ver Capítulo 4), são indicadas no Quadro 3.3.

Quadro 3.3
Características gerais das centrais hidrelétricas

Central	Vazão turbinada (nominal) (m ³ /s)	Queda útil (nominal) (m)	Rendimento global (1) (-)	Potência instalada (MW)	
Castanhão	1ª Fase:	15	42	0,85	5,25
	2ª Fase:	30	42	0,85	10,50
Orós	1ª Fase:	8	46	0,85	3,05
	2ª Fase:	16	46	0,85	6,10
Banabuiú	1ª Fase:	12	44	0,85	4,40
	2ª Fase:	24	44	0,85	8,80
Aracoiaba		9	25	0,85	0,42
Jaburu I		1,2	46	0,85	0,61
Queda Trecho 1	1ª Fase:	7	11	0,85	0,64
	2ª Fase:	14	11	0,85	1,28

(1) - Rendimento global da central admitido para o cálculo da energia produzida (compreende todas as perdas na produção, transformação e transporte da energia até ao ponto de interligação à rede).

Para os diferentes açudes admitiu-se a queda nominal 1,0 a 3,0 m abaixo do nível máximo normal, o que corresponderá aproximadamente ao nível médio da superfície da água no reservatório. Para a Queda do Trecho 2 o nível nominal é o mesmo do máximo.

Admite-se que as centrais hidrelétricas podem funcionar à capacidade máxima quando se efetua a alimentação de água para rega, podendo contudo o tempo diário de turbinamento inferior de forma a concentrar a produção nas horas de maior valorização da energia.

3.3.4. Escoamentos

Como atrás se referiu, as séries de escoamentos mensais gerados nas bacias hidrográficas, que se apresentam nos Tomos 1 a 6, foram obtidos de estudos anteriores. Estas séries foram definidas para um período de 81 anos, que se pode considerar bastante longo, sendo assim

possível obter valores médios da capacidade de regularização dos açude e de produção de energia com razoável grau de segurança.

No caso da Queda do Trecho 1 foram considerados os valores das vazões transportadas pelo Eixo de Integração. Estas vazões variam de ano para ano, até ao ano horizonte de projeto.

3.3.5. Evaporação

A evaporação ao nível dos reservatórios admite-se constante em cada ano ao longo do período de simulação. Foram utilizados valores médios mensais da evaporação medidos em estações climatológicas da região.

A evaporação no reservatório é considerada igual a 70% da evaporação registada em tina classe A. Com base na evaporação no reservatório e na precipitação média mensal (nas bacias hidrográficas), determinou-se a evaporação real. Valores negativos da evaporação real significa um excesso de precipitação direta no reservatório.

Nos Tomos 1 a 6 apresentam-se os valores da precipitação e evaporação real considerados no cálculo da evaporação real para cada reservatório.

3.3.6. Demandas hídricas

As demandas de água a satisfazer por cada reservatório, quer para abastecimento quer para irrigação, foram definidas nos Tomos 1 a 6.

Para a simulação da exploração, a totalidade das demandas de água foram agregadas aos seguintes dois tipos de utilizações:

- Vazão turbinável: O volume regularizado disponível para descarga para o rio.
- Vazão não turbinável: O volume regularizado transferido para abastecimento local e irrigação a montante, que não passa pela tomada de água atual e futura central.

No Quadro 3.4 indicam-se os valores considerados das demandas hídricas associadas a cada açude.

Quadro 3.4

Demandas hídricas por aproveitamento

Central	Abastecimento (hm³/ano)			Irrigação (hm³/ano)			Total (hm³/ano)		
	Turbi-nável	Não turbi-nável	Total	Turbi-nável	Não turbi-nável	Total	Turbi-nável	Não turbi-nável	Total
Castanhão (*)	-	-	-	-	-	-	465,0 a 250,5	370,0 a 456,0	835
Orós	-	-	-	-	-	-	207,2	162,8	370,0
Banabuiú	-	0	-	-	0	-	293,3	0	293,3
Aracoiaíba	-	4	-	-	10	-	71	14	85
Jaburu I	-	22	-	-	3	-	125,7	25,0	150,7
Queda Trecho 1 (*)	-	0	-	-	0	-	211,4 a 465	0	211,4 a 465

(*) – Demanda variável ao longo do tempo.

3.4. EXPLORAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS

3.4.1. Garantia de fornecimento de água

O modelo SIMPCH efetua o cálculo dos níveis de garantia de fornecimento de água para cada simulação realizada.

São designadamente calculadas garantias em tempo (anual), garantias em volume e valores da falhas máximas de fornecimento num período de um ano, de acordo com as seguintes expressões:

$$\text{Garantia em tempo} = \frac{\text{Anos de fornecimento do volume total anual pedido}}{\text{Número total de anos da simulação}}$$

$$\text{Garantia em volume} = \frac{\text{Volume total fornecido}}{\text{Volume total pedido}}$$

Falha máxima num ano (%) =

$$= \left(1 - \frac{\text{Volume mínimo fornecido no ano}}{\text{Volume total pedido nesse período}} \right) \times 100$$

Estes parâmetros indicam as condições em que o aproveitamento poderá garantir o fornecimento de um determinado volume de água pedido.

Os níveis de garantia considerados aceitáveis dependem do tipo de consumidores e dos efeitos que eventuais restrições de fornecimento possam originar a esses consumidores, daí dependendo a definição do volume regularizado pelo aproveitamento. Geralmente consideram-se os seguintes níveis de garantia:

- Abastecimento de água a populações: Garantia anual de 90 a 95%.
- Fornecimento de água para rega: Garantia anual de 80 a 90%
Falha máxima anual de 30 a 50%
- Produção de energia: Garantia de 90% ou superior

O volume regularizado foi definido como sendo o valor do volume anual pedido que é garantido em 90% do tempo (1 ano com falha em cada 10 anos), considerando-se também que a falha máxima num ano não poderá ultrapassar 50% do volume pedido. Estes níveis de garantia são valores habitualmente adotados para utilizações de água em simultâneo para abastecimento e para irrigação.

3.4.2. Regras de exploração

No modelo de simulação, as regras de exploração são definidas através de “curvas-guia de exploração”, variáveis mensalmente ao longo do ano.

Estas curvas dividem o reservatório em faixas, que definem as possibilidades e prioridades de utilização da água em função do nível de armazenamento no reservatório (cota ou volume armazenado) em cada instante da simulação. Estas curvas têm por objetivo garantir a reserva de água no reservatório para a satisfação dos consumos considerados prioritários e possibilitar a maximização da energia produzida, minimizando a ocorrência de descargas pelo sangradouro e maximizando o nível médio de exploração e conseqüentemente a queda útil disponível.

Foram estabelecidas três curvas-guia definidas pelos seguintes níveis/volumes armazenados: “nível superior de exploração”, “nível inferior de exploração” e “nível inferior de emergência”.

Estas curvas-guia diferem de acordo com o cenário de utilização de água considerado, sendo definidas por um valor máximo aproximadamente no início do período seco e um valor mínimo no início do período das chuvas.

As curvas-guia dividem o reservatório (o volume armazenado) em três zonas ou faixas, a que correspondem as seguintes condições de funcionamento:

- Faixa superior (acima do nível superior de exploração): Utilização da água para regularização a jusante e possibilidade de realização de descargas adicionais para turbinamento, sem restrições.
- Faixa intermédia (entre o nível superior de exploração e o nível inferior): Utilização da água para regularização a jusante e possibilidade de realização de descargas adicionais para turbinamento, restringidas a um determinado período diário (nomeadamente horas de ponta) ou com limitação de vazão.
- Faixa inferior (entre o nível inferior de exploração e o de emergência): Utilização da água restringida unicamente a abastecimento de água ou irrigação (visa a garantia prioritária de regularização de vazões a jusante). É turbinada unicamente a vazão fornecida para regularização a jusante.
- Faixa inferior de emergência (abaixo do nível inferior de emergência): utilização da água unicamente para abastecimento de água ou irrigação com restrições (visa a regularização de vazões a jusante para satisfação de consumos considerados prioritários). É turbinada apenas a vazão fornecida para regularização a jusante.

A definição de curvas-guia de exploração apropriadas possibilita a otimização da exploração do aproveitamento tendo em consideração determinados objetivos: maximização do valor da vazão regularizada a jusante ou maximização da produção de energia na central.

No Quadro 3.5 e na Figura 3.2 definem-se as curvas-guia de exploração de um açude (exemplo genérico).

Quadro 3.5
Curvas-guia de exploração dos reservatórios (exemplo)

CURVAS-GUIA	Volume útil armazenado (hm ³)											
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Curva superior de exploração	1 900	1 917	1 933	1 950	1 967	1 983	2 000	1 983	1 967	1 950	1 933	1 917
Curva inferior de exploração	1 100	1 167	1 233	1 300	1 367	1 433	1 500	1 433	1 367	1 300	1 233	1 167
Curva superior de emergência	200	250	300	350	400	450	500	450	400	350	300	250

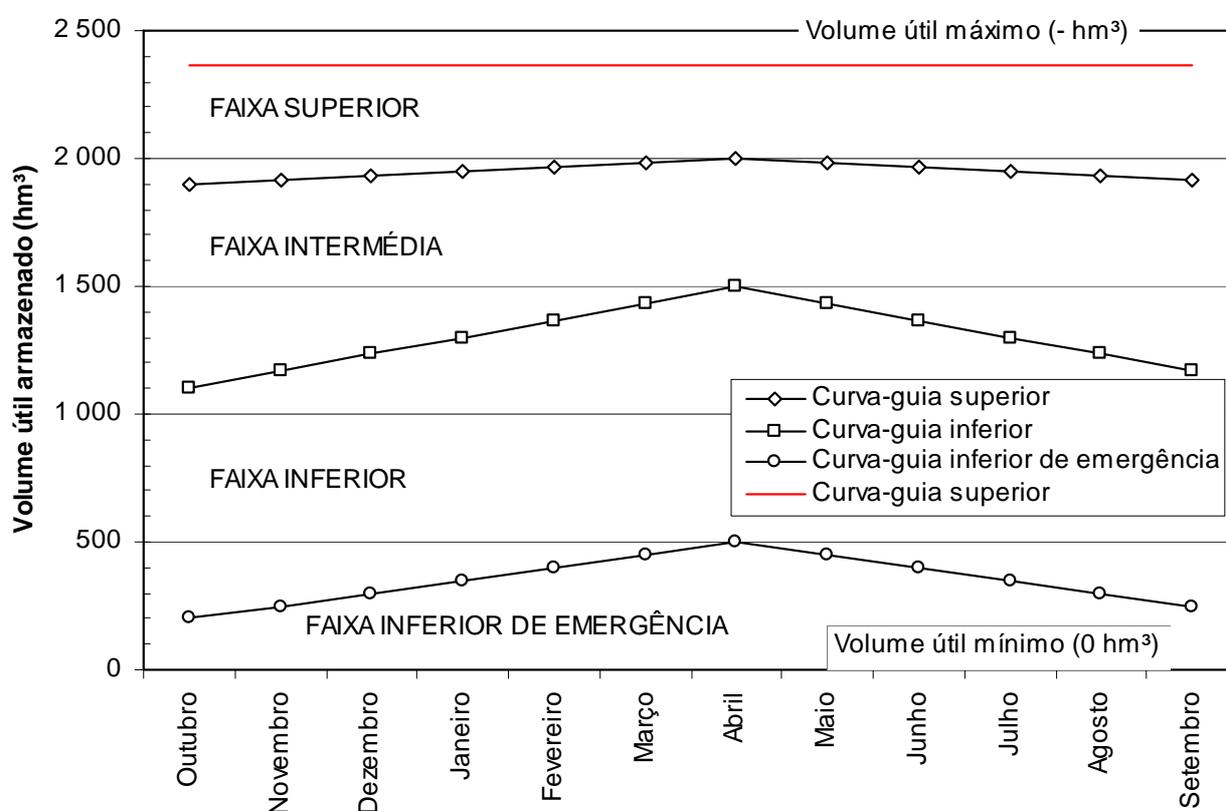


Figura 3.2
Curvas-guia de exploração dos reservatórios (exemplo)

Considerou-se ainda que, no início da simulação da exploração, o reservatório se encontra com aproximadamente metade da capacidade útil respectiva.

As curvas-guia deverão permitir a turbinagem livre quando o nível do reservatório estiver muito alto e exista o risco de descargas nos meses seguintes, de modo a evitar o desperdício de água.

3.4.3. Condições de operação das PCH

As descargas atualmente efetuadas no açude para regularização a jusante são realizadas de forma contínua ao longo de cada dia.

Com a implementação da PCH poderá revelar-se interessante do ponto de vista da valorização econômica da energia produzida a sua concentração nos períodos diários de maior valor da energia (horas de ponta e/ou horas cheias), caso o tarifário de produção de energia considere essa valorização.

Nessas condições poderão colocar-se as seguintes situações alternativas:

- A distância entre o ponto de descarga no açude e os locais de consumos de água ao longo do vale é suficientemente longo e o volume de armazenamento disponível no leito é suficientemente grande, de forma a promover o amortecimento natural das vazões descarregadas. Poderá assim operar-se a PCH com uma vazão superior num menor número de horas, garantindo o mesmo volume de água diário fornecido para consumo a jusante, sem que seja perceptível para os utilizadores a referida alteração de regime de vazão.
- Não é aceitável a alteração do regime de vazões diárias a jusante, pelo que será necessário a construção de uma pequena barragem que promova a regularização diária das vazões, possibilitando a descarga contínua para jusante e recebendo as vazões turbinadas num menor número de horas. Neste caso poderá ainda admitir-se a alternativa de turbinamento em contínuo das vazões liberadas pelo açude.

Atendendo ao importante volume de armazenamento disponível no reservatório, na determinação da energia produzida admitiu-se que é possível colocar a energia produzida nos períodos diários de maior valorização da energia. Considera-se este regime de turbinamento quer relativamente à água fornecida para rega e abastecimento quer relativamente às vazões que excedem a capacidade de armazenamento no reservatório (que de outra forma seriam descarregadas).

O regime de turbinamento (contínuo em 24 horas ou intermitente) e as eventuais obras complementares de regularização a realizar deverão ser avaliadas em função dos respetivos custos e benefícios associados.

Verifica-se contudo que o tarifário de produção de energia atualmente em vigor considera um valor constante ao longo do dia, pelo que será em princípio possível turbinar 24 horas em contínuo caso exista volume de água disponível. Assim, apenas para situações de turbinamento de pequenos volumes diários se poderá colocar a hipótese de operação das turbinas em períodos inferiores a 24 horas, nos casos em que a vazão instantânea média respectiva não seja compatível com a capacidade mínima de turbinamento dos grupos geradores.

3.4.4. Operação das PCH e descargas para jusante

As descargas atualmente efetuadas nos açudes para regularização a jusante dos açudes são realizadas de forma contínua ao longo de cada dia. Com a implementação das PCH poderá revelar-se interessante do ponto de vista da valorização econômica da energia produzida a sua concentração nos períodos diários de maior valor da energia (horas de ponta e/ou horas cheias).

Nessas condições poderão colocar-se as seguintes situações alternativas:

- A distância entre o ponto de descarga no açude e os locais de consumos de água ao longo do vale é suficientemente longo de forma a promover o amortecimento natural das vazões descarregadas.

Poderá assim operar-se a PCH com uma vazão superior num menor número de horas, garantindo o mesmo volume de água diário para consumo a jusante, sem que seja perceptível para os utilizadores a referida alteração de regime de vazão.

- Não é aceitável a alteração do regime de vazões diárias a jusante, pelo que será necessário a construção de uma pequena barragem que promova a regularização diária das vazões, possibilitando a descarga contínua para jusante e recebendo as vazões turbinada num menor número de horas.

Na valorização da energia produzida, em função do tarifário aplicável, admitiu-se que a água fornecida para rega e abastecimento é turbinada uniformemente ao longo do dia. Relativamente ao turbinamento das vazões excedentes em relação à capacidade de armazenamento nos reservatórios admitiu-se que seria possível realizar o turbinamento nas horas de maior valorização da energia.

3.5. PRODUÇÃO DE ENERGIA

3.5.1. Cálculo da energia produzida

O modelo de simulação efetua o cálculo da energia produzida no aproveitamento em função do volume descarregado para jusante (destinado a regularização das vazões do rio ou especificamente para produção de energia) e do nível registado no reservatório em cada instante (mês) da simulação.

Atendendo a que a queda disponível (H_u) em cada aproveitamento é variável em cada instante da simulação, em função do nível de água no reservatório, a respectiva vazão turbinada (Q) será também função desse nível assim como o rendimento dos grupos.

Para a determinação do volume turbinado em função da queda útil considerou-se a seguinte expressão (o parâmetro “a” varia em função da variante de vazão equipada na central e é também diferente para cada aproveitamento):

$$Q = a H_u^{1.5}$$

A queda bruta máxima disponível corresponderá à cota do nível máximo normal no reservatório (NNR), sendo a queda útil respetiva determinada em função das perdas de carga no circuito hidráulico, que se admitem aproximadamente constantes para cada situação de vazão turbinado (número de grupos em operação). Atendendo à variação de níveis esperada em cada reservatório, considera-se um valor da queda útil nominal um pouco superior ao nível médio de água no reservatório durante o período de simulação.

Para níveis no reservatório superiores ao valor nominal considerado, a potência disponível será superior à potência nominal, podendo tornar-se necessário reduzir a vazão turbinada para manter uma potência nas turbinas compatível com a capacidade dos alternadores (limite indicado no Capítulo 2).

Foi ainda definido um nível mínimo de exploração do reservatório para produção de energia, que corresponde geralmente a uma cota superior à do nível mínimo de exploração para utilização em abastecimento ou irrigação. Para níveis no reservatório inferiores a esse valor não será possível operar a central (limite indicado no Capítulo 2).

Resultará assim um valor da potência disponível e da energia produzida em cada instante de simulação. Se o nível no reservatório ao longo da simulação descer abaixo de determinado limite os grupos não terão condições para produzir energia.

A energia produzida mensalmente poderá ser colocada nos períodos diários e/ou semanais de maior valorização da energia (rede interligada) ou poderá fazer-se o acompanhamento do diagrama de carga dos consumos locais de energia (rede isolada).

Quando se efetua a alimentação de água para rega pode admitir-se que a PCH funciona em contínuo ao longo do dia ou, em alternativa, num número menor de horas de forma a turbinar vazões compatíveis com a capacidade mínima das turbinas ou a concentrar a energia produzida nas horas de maior valorização.

O programa de simulação efetua também o cálculo do valor da potência garantida pela central ao longo do ano para determinado nível de garantia.

3.5.2. Valorização da energia produzida

No programa de simulação desenvolvido, a energia produzida em cada dia é repartida pelos três períodos horários habitualmente considerados, que correspondem geralmente a diferentes valorizações econômicas da energia produzida:

- Período de horas de ponta: considerou-se em média 4 horas por dia.
- Período de horas cheias: considerou-se em média 10 horas por dia.
- Período de horas de vazio: considerou-se em média 10 horas por dia.

O número de horas dos diferentes períodos varia geralmente em função do dia da semana e da época do ano, podendo considerar-se valores médios.

No presente estudo considera-se contudo um preço da energia da energia constante ao longo do dia.

Nos cálculos realizados considerou-se os preços de compra de energia pela COELCE no mercado livre de outras empresas, ou seja R\$ 62,10 / MWh, que se considera melhor corresponder às condições econômicas futuras de exploração da PCH em estudo.

3.6. PROGRAMA DE SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DAS PCH

O programa de simulação da exploração das PCH foi desenvolvido especificamente para atender as necessidades do presente projeto.

O balanço hídrico realizado pelo programa tem o passo de cálculo mensal, abrangendo as afluições ao reservatório, consumos de água, volumes captados pela tomada de água, perdas por evaporação e perdas por descarga pelo vertedouro em período úmido. A variação do nível no reservatório em função do volume acumulado é estimado com base na sua função área-altura.

A operação do reservatório será comandada pela demanda a jusante, fornecendo-se água em função dessa demanda e da quantidade de água armazenada no reservatório, considerando ainda as necessidades de vazão ambiental. Esta água será utilizada na produção de energia, em função da capacidade de turbinagem disponível. Se a capacidade de turbinagem for superior ao volume descarregado para jusante (o que acontecerá normalmente em meses que não sejam de ponta), a produção será concentrada principalmente nas horas cheias do diagrama de cargas da rede elétrica do Ceará, de modo a poder maximizar-se o valor da produção. Se a vazão descarregada for superior à capacidade de turbinagem, os grupos na central operarão a plena carga 24 horas por dia.

Em meses úmidos, em que seja necessário proceder a descargas pelo sangradouro, proceder-se-á à turbinagem do máximo possível de vazão excedentária, tentando-se também neste caso maximizar o valor da produção. Em qualquer destes casos, o programa define automaticamente a estratégia de turbinagem a adotar de modo a maximizar o valor da produção.

É ainda possível estabelecer uma curva-guia, que permita a turbinagem livre quando o nível do reservatório esteja muito alto e haja o risco de descargas nos meses seguintes, de modo a evitar o desperdício de água.

De notar que a exploração dos açude é fortemente condicionada pela necessidade de garantia de vazões constantes a jusante, variáveis em função da época do ano (período chuvoso ou período seco).

3.7. DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA SIMPCH

Os dados de entrada do programa SIMPCH, indicados no Anexo 1, são essencialmente os seguintes:

- Quadros de resumo de dados de entrada

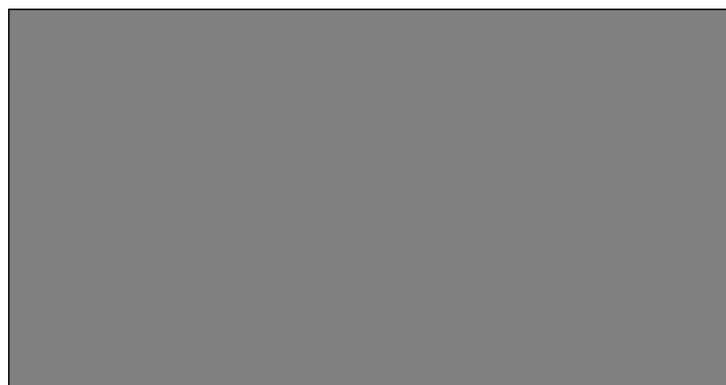
- Bacia hidrográfica/escoamentos;

BACIA HIDROGRÁFICA / ESCOAMENTOS	
Bacia hidrográfica (total).....	35 000 km ²
Bacia hidrográfica (não dominada).....	16 821 km ²
Escoamento médio anual.....	1 878 hm ³ /ano
(simulação d 83 anos)	59.60 m ³ /s
Precipitação média anual.....	857.8 mm
Evaporação média anual.....	2 232.2 mm
Evaporação real média anual.....	1 374.4 mm

- Reservatório;

RESERVATÓRIO	
Nível máximo para controlo de cheias....	106.00 m
Nível máximo normal (NNR).....	100.00 m
Nível mínimo de exploração.....	71.00 m
Área da bacia hidráulica (NNR).....	325 km ²
Volume máximo (NMC).....	6 700 hm ³
Volume total (NNR).....	4 452 hm ³
Volume de armazenamento útil.....	4 200 hm ³
Volume morto.....	252 hm ³
Curva CAV - [km ² ; hm ³]	a = -1.579E-06
(A = a V ² + b V + c)	b = 0.07569
	c = 17.01
Curva CAV - [m ; hm ³]	a = 33.666
(Z = a V ^b + c)	b = 0.130
	c = -0.680

- Operação do reservatório;



PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



- Operação da válvula de tomada;

OPERAÇÃO DA VÁLVULA DE TOMADA	
Vazão mínima (janeiro).....	5.0 m³/s
Vazão máxima (julho).....	15.0 m³/s

- Central hidrelétrica;

CENTRAL HIDRELÉTRICA		
Tipo de turbina		Francis
Valores nominais	Vazão nominal	50.00 m³/s
	Nível a montante nominal	98.00 m
	Nível a jusante	54.00 m
	Queda bruta nominal	44.00 m
	Perda de carga (Q _{máx})	2.00 m
	Queda útil nominal	42.00 m
	Rendimento global	0.85 -
	Potência nominal	17.5 MW
Limite máximo	Potência máxima	20.1 MW
	Rendimento	0.84 -
	Queda útil máxima	50.00 m
	Vazão	48.88 m³/s
Limite mínimo	Potência mínima	6.1 MW
	Rendimento	0.82 -
	Queda útil mínima	28.00 m
	Vazão	27.22 m³/s
Nível mínimo de exploração (central).....		84.00 m
Curva caudal-queda útil		
(Q = a H ^{1.5})		a = 0.1837

- Utilizações/necessidades de água;

UTILIZAÇÕES / NECESSIDADES DE ÁGUA			
	Abastecimento	Irrigação	Total
A montante..	279.0	186.0	465.0 hm³/ano
A jusante.....	74.0	296.0	370.0 hm³/ano
Total.....	353.0	482.0	835.0 hm³/ano
Restrição aceitável	5.0%	15.0%	do tempo
	75.0%	50.0%	do volume pedido

- Vazão ambiental;

VAZÃO AMBIENTAL			
	Ano húmido	Ano médio	Ano seco
% Deflúvio...	10%	10%	10%

- Tarifários de energia.

TARIFÁRIOS DE ENERGIA			
Período diário	1 : SEINFRA 2 : COELCE		
Horas de ponta (4 h/dia)	0.11702	0.06210	R\$/kWh
Horas cheias (10 h/dia)	0.11702	0.06210	R\$/kWh
Horas de vazio (10h/dia)	0.11702	0.06210	R\$/kWh

- Detalhamentos dos dados de entrada:
 - Série de escoamentos mensais afluentes em regime natural;
 - Precipitação e evaporação média;
 - Utilizações de água;
 - Vazão ambiental;
 - Operação do reservatório;
 - Operação da válvula de tomada.

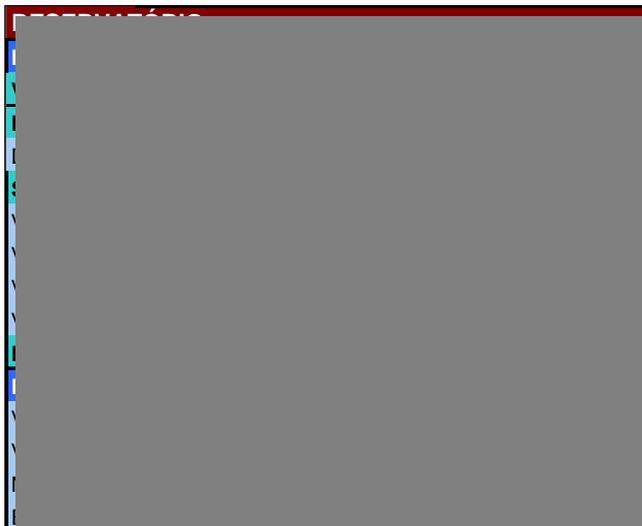
3.8. RESULTADOS DO PROGRAMA SIMPCH

Nos Anexos 1 a 5 apresenta-se os dados de entrada e os resultados completos obtidos pela utilização do programa SIMPCH (exemplo correspondente à PCH do açude Castanhão e à vazão de equipamento de 50 m³/s).

Os resultados obtidos pelo programa SIMPCH, são essencialmente os seguintes:

- Anexo 1 – Resumo dos resultados do programa SIMPCH.
 - Quadros resumo dos resultados
 - Reservatório;

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



- Fornecimento de água;

FORNECIMENTO DE ÁGUA		
Volume pedido		834.9 hm ³ /ano
Volume fornecido médio	94.4%	788.4 hm ³ /ano
Volume em falta médio		46.5 hm ³ /ano
Falha anual máxima	82.1%	685.3 hm ³
Garantia em tempo	80.7%	16 anos c/ falha

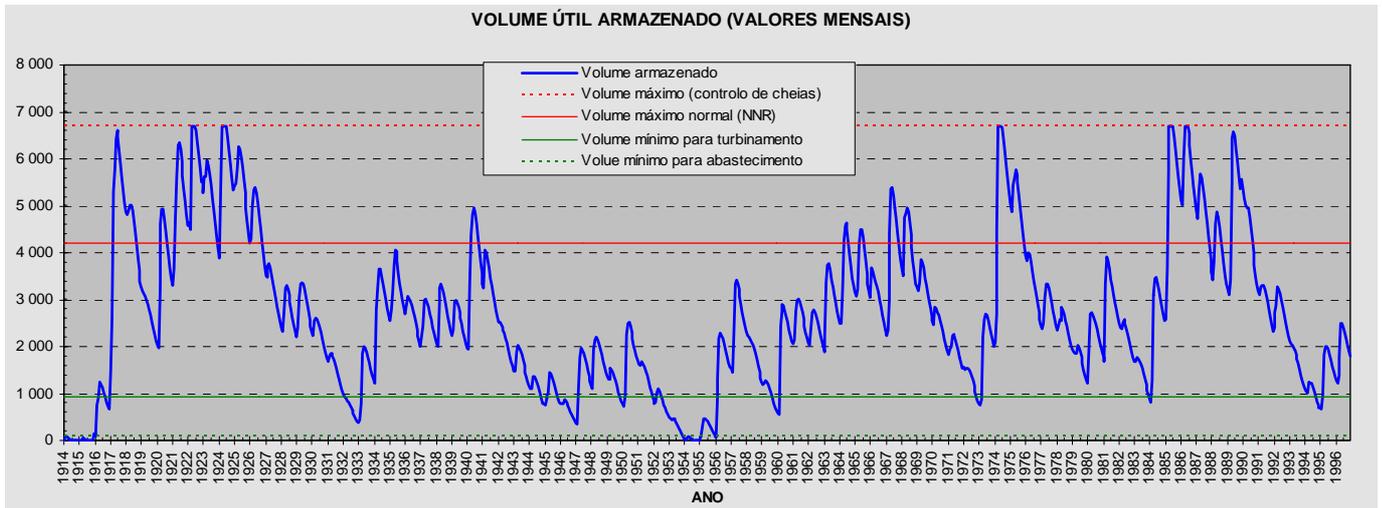
- Funcionamento da PCH e Produção de energia.

FUNCIONAMENTO DA PCH E PRODUÇÃO DE ENERGIA		
Volume turbinado		748 hm ³ /ano
Tempo de funcionamento		4 438 horas/ano
Vazão média		38.68 m ³ /s
Queda média		34.69 m
Potência média		12.87 MW
Potência média (horas de ponta)		13.54 MW
Produção de energia	Horas de ponta	18.82 GWh/ano
	Horas cheias	33.53 GWh/ano
	Horas de vazio	20.86 GWh/ano
	Energia total	73.22 GWh/ano
Potência anual garantida (90%)		5.53 MW
Energia anual garantida (90%)		16.68 GWh/ano
Valor da energia por tarifário		
H1 : SEINFRA.....		8.568 M R\$/ano
H2 : COELCE 2005.....		4.547 M R\$/ano

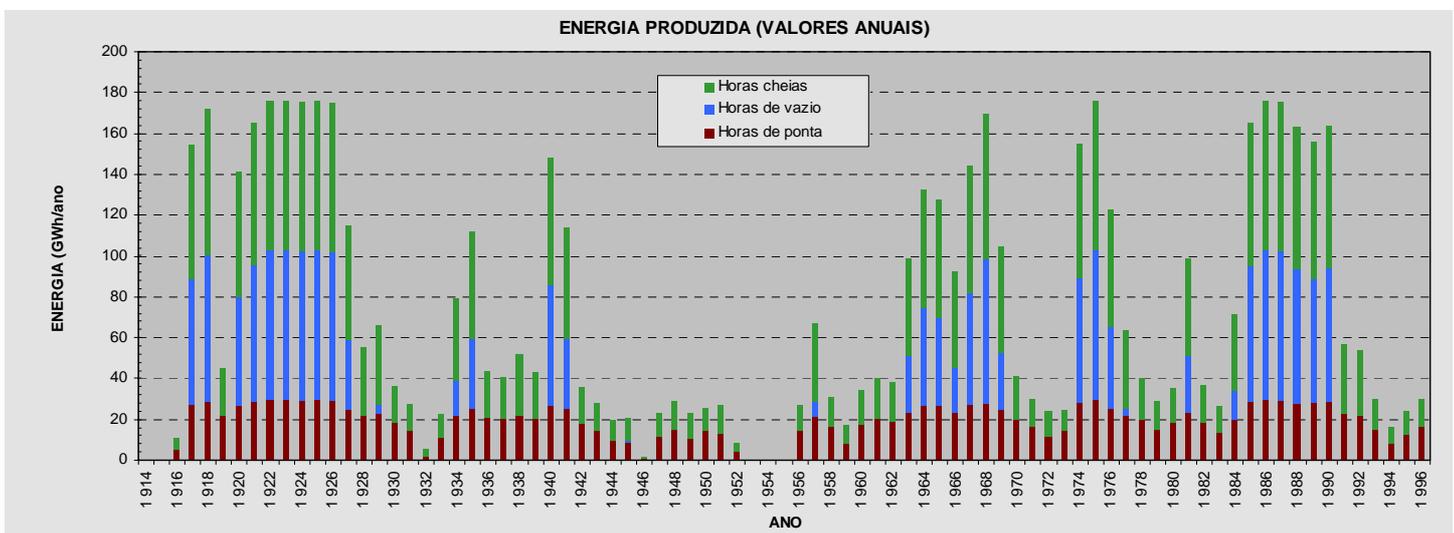
PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



- Gráficos de resumo dos resultados obtidos:
 - Valores mensais do volume útil armazenado;



- Valores anuais da energia produzida.



- Anexo 2 – Resultados do programa SIMPCH. Valores mensais.
 - Volume útil armazenado.
 - Níveis de água no reservatório.
 - Balanço no reservatório – deflúvio e volume evaporado.
 - Balanço no reservatório – volume para jusante.

- Volume fornecido e volume turbinado.
- PCH – queda útil e potência.
- PCH – Energia produzida.

- Anexo 3 – Resultados do programa SIMPCH. Valores anuais.
 - Volume útil armazenado.
 - Níveis de água no reservatório.
 - Volumes – deflúvio, volume evaporado, volume de sangria e escoamento a jusante.
 - Volume fornecido e volume turbinado.
 - PCH – queda útil
 - PCH – potência disponível.
 - PCH – horas de funcionamento.
 - PCH – Energia produzida.

- Anexo 4 – Resultados do programa SIMPCH. Valores médios mensais.
 - Balanço no reservatório.
 - Volumes pedidos e fornecidos.
 - Volume útil armazenado.
 - Nível de água no reservatório.
 - PCH – Vazão média.
 - PCH – Queda útil média.
 - PCH – Potência média.
 - PCH – Energia produzida.
 - Valorização da energia.

- Anexo 5 – Resultados do programa SIMPCH. Quadros de resultados.

4. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

4.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

No presente capítulo apresenta-se o resumo dos estudos de viabilidade técnica e econômica realizados no âmbito do presente estudo (relatório da Etapa II – Estudo de Avaliação Técnica e Econômica) e respectivas conclusões, designadamente as características de dimensionamento a adotar para as diferentes PCH.

O dimensionamento adoptado resultou essencialmente das conclusões do estudo de viabilidade técnica e econômica (relatório da Etapa II) e de reuniões de trabalho havidas a 20/01/2006 e a 20/02/2006 na SRH. Nessas reuniões estiveram também presentes representantes da COGERH, SEINFRA, entre outras entidades que acompanharam o estudo.

Na seção final deste capítulo são também apresentadas as conclusões do estudo comparativo realizado considerando as alternativas de implantação de uma PCH ou de utilização de turbobombas (relatório da Etapa III – Estudo Comparativo entre Pequenas Centrais Hidrelétricas e Turbobombas).

4.2. CONDICIONANTES DE EXPLORAÇÃO

4.2.1. Dados de exploração dos aproveitamentos

Nos parágrafos seguintes apresentam-se alguns dados de base que definem a escolha da vazão da equipamento de cada PCH.

São apresentados os seguintes quadros resumo de valores cálculos em diferentes estudos e de valores adoptados no presente estudo:

- **Quadro “Histórico operacional”** : Valores fornecidos pela COGERH, relativos à exploração dos açudes adotada nos últimos anos. Note-se que os a exploração de determinados açude (designadamente Orós, Aracoiaba e Jaburú I) é efetuada muito abaixo do potência do açude, o que implicará importantes vazões de sangria quando ocorrerem períodos de enchentes. Para estes açudes a operação poderá (e deverá) ser otimizada, sem prejuízo da garantia de fornecimento de água, para abastecimento ou irrigação, de forma a garantir a viabilidade de instalação das PCHs.

- **Quadro “Volume regularizado”** : Comparação entre os valores do volume regularizado calculados no relatório da Etapa II e os valores indicados nos estudos “Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos, Dezembro 2005”. Neste Plano foi calculado o volume regularizado com 90% de garantia e sem controlo do volume mínimo fornecido (Q90) e o volume também com 90% de garantia e fornecimento de volumes mínimos nos anos com falhas (Q90+). É este último critério de definição de garantia de fornecimento de água que corresponde à metodologia adoptada nos estudos de simulação de exploração efectuados na Etapa II do presente estudo..
- **Quadro “Características de dimensionamento da PCH”** : Comparação dos valores propostos nos estudos anteriores para as características de dimensionamento da PCH com os valores determinados no relatório da Etapa II do presente estudo.

Neste quadro consideraram-se como “vazões viáveis”: Vazão mínima correspondente ao valor máximo da TIR; Vazão máxima correspondente ao máximo aproximado do VPL para taxa de retorno de 10%.

Refira-se ainda que a vazão de equipamento das PCH deveria ser superior à vazão regularizada, dado que se determinou ser economicamente vantajoso poder turbinar as vazões afluentes aos reservatórios em períodos mais pluviosos, que de outra forma seriam descarregadas pelo vertedouro, sem qualquer utilização.

4.2.2. PCH 1 : Açude Castanhão

Os Quadros 4.1, 4.2 e 4.3 apresentam os valores históricos da operação recente do açude Castanhão, o respetivo volume regularizado e as características de dimensionamento adotadas para a PCH a instalar nesse aproveitamento.

A exploração do açude Castanhão é atualmente condicionada fundamentalmente pelas necessidades de água para abastecimento e irrigação, sendo liberado para jusante um valor de vazão (11 a 12 m³/s) inferior à capacidade total de regularização do açude, mas semelhante à capacidade de regularização após a entrada em funcionamento da derivação do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza.

Quadro 4.1 – Histórico operacional recente do açude Castanhão

ANO	Acumulação em 01/Jun.		Acumulação em 31/Dez.		Vazão definida (prevista) (1) (m³/s)	Vazão liberada (real) (1) (m³/s)
	(hm³)	(%)	(hm³)	(%)		
2002	456	6.8	273	4.1	11	8
2003	533	7.9	318	4.7	11	10.2
2004	4 912	73.3	4 432	66.1	13-18	11.5
2005 (2)	4 383	65.4	3 796	56.7	16	11.9

(1) - As vazões definidas e liberadas correspondem à média do 2º semestre (estiagem).

(2) - Neste período a derivação para o Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza apenas funcionou em situações de ensaios.

Quadro 4.2 – Volume regularizado pelo açude Castanhão

ESTUDO	Vazão Q90 (m³/s)	Vazão Q90+		
		A montante (m³/s)	A jusante (m³/s)	Total (m³/s)
Plano Estadual 2005	30.21	-	-	27.42
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	-	14.7	11.7	26.5

Quadro 4.3 – Características de dimensionamento da PCH do açude Castanhão

ESTUDO	Vazões "viáveis" (m³/s)	Características nominais adotadas			Produção de energia (GWh/ano)	
		Vazão (m³/s)	Queda útil (m)	Potência (MW)		
DNOCS - Hidroservice-Noronha, 1993	-	70	39	22.5	-	
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	25 a 55	50	42	17.5	75.4	
Valores finais propostos	1ª fase	-	15	42	5.25	41.5
	2ª fase (eventual)	-	30	42	10.50	61.1

A vazão de equipamento a instalar na PCH do Castanhão, assim como o número de grupos, é desta forma condicionada pela necessidade de turbinar praticamente em contínuo as vazões que em cada instante são liberadas para jusante destinadas a outras utilizações. Estas vazões poderão ser significativamente inferiores à vazão de equipamento total ótima.

Tendo em consideração as restrições de exploração atuais e previsíveis no futuro próximo, a solução adotada para esta PCH considera a instalação de **2 grupos iguais, para uma vazão nominal total de 30,0 m³/s (potência de 10,50 MW)**. Previu-se a instalação dos equipamentos em duas fases: a 1ª Fase condicionada pela atual exploração do açude unicamente para irrigação e abastecimento e a 2ª Fase correspondendo à otimização da exploração tendo em consideração também a componente hidrelétrica.

Com um único grupo em operação (vazão nominal de 15,0 m³/s) será desta forma possível turbinar em condições adequadas, e com funcionamento em 24 horas, a vazão média que se espera liberar para jusante em período de estiagem (da ordem de 12,0 m³/s).

Note-se que a maior vazão de equipamento em comparação com a vazão regularizada se justifica pela possibilidade de se turbinar vazões afluentes que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório em períodos mais pluviosos. Refira-se também que a vazão máxima que é possível turbinar com os equipamentos selecionados reduz-se naturalmente à medida que o nível de água no reservatório desce.

Posteriormente, numa segunda fase, caso seja possível assegurar a plena exploração do potencial do açude para fornecimento de água e em simultâneo para produção de energia (ou com a implementação da transferência do São Francisco), poderá ampliar-se a capacidade da usina para a vazão total considerada ótima de 50 m³/s (potência total de 17,5 MW).

4.2.3. PCH 2 : Açude Orós

Os Quadros 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam os valores históricos da operação recente do açude Orós, o respetivo volume regularizado e as características de dimensionamento adotadas para a PCH a instalar nesse aproveitamento.

A exploração do açude Orós é atualmente condicionada fundamentalmente pelas necessidades de água para abastecimento e irrigação, sendo liberado um valor total de vazão (4 a 6 m³/s, dos quais cerca de 60% são para jusante) muito inferior à capacidade total de regularização do açude. Até ao ano 2001, antes da entrada em exploração do açude Castanhão, este valor total era superior (11 a 20 m³/s), ultrapassando mesmo a capacidade de regularização do açude.

A vazão de equipamento a instalar na PCH do Orós, assim como o número de grupos, é desta forma condicionada pela necessidade de turbinar praticamente em contínuo as vazões que em

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



cada instante são liberadas para jusante destinadas a outras utilizações. Estas vazões poderão ser significativamente inferiores à vazão de equipamento total ótima.

Quadro 4.4 – Histórico operacional recente do açude Orós

ANO	Acumulação em 01/Jun.		Acumulação em 31/Dez.		Vazão definida (prevista) (1) (m³/s)	Vazão liberada (real) (1) (2) (m³/s)
	(hm³)	(%)	(hm³)	(%)		
1998	1 381	71.2	840	43.3	12 - 15	19.6
1999	934	48.2	541	27.9	18	16.4
2000	1 017	52.4	650	33.5	19	14.1
2001	561	28.9	260	13.4	10	11.0
2002	428	22.1	287	14.8	5 - 6	4.7
2003	619	31.9	446	23.9	5	5.0
2004	1 940	100.0	1 628	83.9	6 - 7	4.2
2005	1 517	78.2	1 208	62.0	7.5	5.5

(1) - As vazões definidas e liberadas correspondem à média do 2º semestre (estiagem).

(2) - Inclui a derivação para o açude Lima Campos (cerca de 40% das vazões).

Quadro 4.5 – Volume regularizado pelo açude Orós

ESTUDO	Vazão Q90 (m³/s)	Vazão Q90+		
		A montante (m³/s)	A jusante (m³/s)	Total (m³/s)
Plano Estadual 2005	11.56	-	-	10.32
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	-	5.2	6.6	11.7

Quadro 4.6 – Características de dimensionamento da PCH do açude Orós

ESTUDO	Vazões "viáveis" (m³/s)	Características nominais adotadas			Produção de energia (GWh/ano)	
		Vazão (m³/s)	Queda útil (m)	Potência (MW)		
DNOCS - Siemens do Brasil, 1959	-	74	45	26.6	-	
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	15 a 30	30	46	11.5	35.2	
Valores finais propostos	1ª fase	-	8	46	3.05	21.4
	2ª fase (eventual)	-	16	46	6.10	29.0

Tendo em consideração as restrições de exploração atuais e previsíveis no futuro próximo, a solução adotada para esta PCH considera assim a instalação de **2 grupos iguais, para uma vazão nominal total de 15,0 m³/s (potência de 6,10 MW)**. Previu-se a instalação dos equipamentos em duas fases: a 1ª Fase condicionada pela atual exploração do açude unicamente para irrigação e abastecimento e a 2ª Fase correspondendo à otimização da exploração tendo em consideração também a componente hidrelétrica.

Com um único grupo em operação (vazão nominal de 8,0 m³/s) será desta forma possível turbinar em condições adequadas, e com funcionamento em 24 horas, a vazão média que se espera liberar para jusante em período de estiagem (da ordem de 0,60 x 11,0 = 6,6 m³/s) – admitiu-se que no futuro próximo a vazão a liberar para jusante irá corresponder à capacidade de regularização teórica do açude, ou seja será da ordem do dobro da atual.

Note-se que a maior vazão de equipamento em comparação com a vazão regularizada se justifica pela possibilidade de se turbinar vazões afluentes que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório em períodos mais pluviosos. Refira-se também que a vazão máxima que é possível turbinar com os equipamentos selecionados reduz-se naturalmente à medida que o nível de água no reservatório desce.

Posteriormente, numa segunda fase, caso seja possível assegurar a plena exploração do potencial do açude para fornecimento de água e em simultâneo para produção de energia, poderá encarar-se a possibilidade de se ampliar a capacidade da usina para a vazão de equipamento considerada ótima.

4.2.4. PCH 3 : Açude Banabuiú

Os Quadros 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam os valores históricos da operação recente do açude Banabuiú, o respetivo volume regularizado e as características de dimensionamento adotadas para a PCH a instalar nesse aproveitamento.

A exploração do açude Banabuiú é atualmente condicionada fundamentalmente pelas necessidades de água para abastecimento e irrigação, sendo liberado um valor total de vazão (6 a 14 m³/s; totalidade para jusante), semelhante à capacidade total de regularização do açude.

Quadro 4.7 – Histórico operacional recente do açude Banabuiú

ANO	Acumulação em 01/Jun.		Acumulação em 31/Dez.		Vazão definida (prevista) (1) (m³/s)	Vazão liberada (real) (1) (m³/s)
	(hm³)	(%)	(hm³)	(%)		
1998	578	36.1	270	16.8	10	13.5
1999	266	16.6	70	4.4	9	9.0
2000	184	11.5	64	4.0	7	5.8
2001	36	2.3	9	0.6	2	1.3
2002	526	32.9	383	23.9	8	7.2
2003	533	33.3	374	23.4	8 - 9	7.5
2004	1 364	85.2	1 280	80.0	10 - 11	10.3
2005	1 254	78.3	1 005	62.8	11	8.1

(1) - As vazões definidas e liberadas correspondem à média do 2º semestre (estiagem).

Quadro 4.8 – Volume regularizado pelo açude Banabuiú

ESTUDO	Vazão Q90 (m³/s)	Vazão Q90+		
		A montante (m³/s)	A jusante (m³/s)	Total (m³/s)
Plano Estadual 2005	11.56	-	-	10.32
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	-	5.2	6.6	11.7

Quadro 4.9 – Características de dimensionamento da PCH do açude Banabuiú

ESTUDO	Vazões "viáveis" (m³/s)	Características nominais adotadas			Produção de energia (GWh/ano)
		Vazão (m³/s)	Queda útil (m)	Potência (MW)	
DNOCS - CAEL/Lahmeyer, 1971	-	46	42.5	15.0	-
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	15 a 30	30	44	11.0	57.6
Valores finais propostos	1ª fase	-	12	44	4.40
	2ª fase (eventual)	-	24	44	8.80

A vazão de equipamento a instalar na PCH do Banabuiú, assim como o número de grupos, é desta forma condicionada pela necessidade de turbinar praticamente em contínuo as vazões que em cada instante são liberadas para jusante destinadas a outras utilizações. Estas vazões poderão ser significativamente inferiores à vazão de equipamento total ótima definida para a PCH.

Tendo em consideração as restrições de exploração atuais e previsíveis no futuro próximo, a solução adotada para esta PCH considera assim a instalação de **2 grupos iguais, para uma vazão nominal total de 24,0 m³/s (potência de 8,8 MW)**. Previu-se a instalação dos equipamentos em duas fases: a 1ª Fase condicionada pela atual exploração do açude unicamente para irrigação e abastecimento e a 2ª Fase correspondendo à otimização da exploração tendo em consideração também a componente hidrelétrica.

Com um único grupo em operação (vazão nominal de 12,0 m³/s) será desta forma possível turbinar em condições adequadas, e com funcionamento em 24 horas, a vazão média que se espera liberar para jusante em período de estiagem (da ordem de 10,8 m³/s) – admitiu-se que no futuro próximo a vazão a liberar para jusante irá corresponder à capacidade de regularização teórica do açude, como sucede atualmente.

Note-se que a maior vazão de equipamento em comparação com a vazão regularizada se justifica pela possibilidade de se turbinar vazões afluentes que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório em períodos mais pluviosos. Refira-se também que a vazão máxima que é possível turbinar com os equipamentos selecionados reduz-se naturalmente à medida que o nível de água no reservatório desce.

Posteriormente, numa segunda fase, caso seja possível assegurar a plena exploração do potencial do açude para fornecimento de água e em simultâneo para produção de energia, poderá encarar-se a possibilidade de se ampliar a capacidade da usina para a vazão de equipamento considerada ótima.

4.2.5. PCH 4 : Açude Aracoiaba

Os Quadros 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam os valores históricos da operação recente do açude Aracoiaba, o respetivo volume regularizado e as características de dimensionamento adotadas para a PCH a instalar nesse aproveitamento.

Quadro 4.10 – Histórico operacional recente do açude Aracoiaba

ANO	Acumulação em 01/Jun.		Acumulação em 31/Dez.		Vazão definida (prevista) (1) (m³/s)	Vazão liberada (real) (1) (m³/s)
	(hm³)	(%)	(hm³)	(%)		
até 2005	578	36.1	270	16.8	0.20 a 0.25	0.20 a 0.25
2006	266	16.6	70	4.4	0.45	-
2007	184	11.5	64	4.0	0.45	-

(1) - As vazões definidas e liberadas correspondem à média do 2º semestre (estiagem).

Quadro 4.11 – Volume regularizado pelo açude Aracoiaba

ESTUDO	Vazão Q90 (m³/s)	Vazão Q90+		
		A montante (m³/s)	A jusante (m³/s)	Total (m³/s)
Plano Estadual 2005	11.56	-	-	10.32
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	-	5.2	6.6	11.7

Quadro 4.12 – Características de dimensionamento da PCH do açude Aracoiaba

ESTUDO	Vazões "viáveis" (m³/s)	Características nominais adotadas			Produção de energia (GWh/ano)
		Vazão (m³/s)	Queda útil (m)	Potência (MW)	
-	-	-	-	-	-
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	2 a 4 (1)	4.0	25	0.82	4.74
Valores finais propostos	-	2.0	25	0.42	2.76

(1) - Condicionado pela capacidade da tomada de água atual.

A exploração do açude Aracoiaba é atualmente condicionada fundamentalmente pelas necessidades de água para abastecimento e irrigação, sendo liberado um valor de vazão (0,3 m³/s; sendo cerca de 81% para jusante) muito inferior à capacidade total de regularização do açude.

Atualmente não existem ainda significativas utilizações de água dependentes deste açude, funcionando este como reserva estratégica de água para a alimentação da Região Metropolitana de Fortaleza (reforço do açude Pacajús), contudo espera-se que no futuro ocorra

o desenvolvimento dessas utilizações, aproximando-se do valor da capacidade de regularização do açude.

A vazão de equipamento a instalar na PCH do Aracoiaba é desta forma condicionada pela necessidade de turbinar praticamente em contínuo as vazões que em cada instante são liberadas para jusante destinadas a outras utilizações. Estas vazões poderão ser significativamente inferiores à vazão de equipamento total ótima definida para a PCH.

Tendo em consideração as restrições de exploração atuais e previsíveis no futuro próximo, a pequena vazão em causa e as condicionantes ligadas à capacidade limitada da tomada de água atual, a solução adotada para esta PCH considera assim a instalação de **um único grupo, para uma vazão nominal total de 2,0 m³/s (potência de 0,42 MW)**.

Com o único grupo em operação será possível turbinar em condições adequadas, e com funcionamento em 24 horas, a vazão média que se espera liberar para jusante em período de estiagem (da ordem de $0,81 \times 2,4 = 1,9 \text{ m}^3/\text{s}$) – admitiu-se que no futuro próximo a vazão a liberar para jusante irá aproximar-se à capacidade de regularização teórica do açude, como sucede atualmente.

Note-se que a maior vazão de equipamento em comparação com a vazão regularizada se justifica pela possibilidade de se turbinar vazões afluentes que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório em períodos mais pluviosos. Refira-se também que a vazão máxima que é possível turbinar com os equipamentos selecionados reduz-se naturalmente à medida que o nível de água no reservatório desce.

Posteriormente, numa segunda fase, caso seja possível assegurar a plena exploração do potencial do açude para fornecimento de água e em simultâneo para produção de energia, poderá encarar-se a possibilidade de se ampliar a capacidade da usina para a vazão de equipamento considerada ótima.

A existência de uma instalação com turbo-bombas a jusante do açude, embora esteja atualmente inoperacional, poderá condicionar a operação da usina impedindo a sua futura ampliação.

4.2.6. PCH 5 : Açude Jaburú I

Os Quadros 4.13, 4.14 e 4.15 apresentam os valores históricos da operação recente do açude Jaburú I, o respectivo volume regularizado e as características de dimensionamento adotadas para a PCH a instalar nesse aproveitamento.

Quadro 4.13 – Histórico operacional recente do açude Jaburú I

ANO	Acumulação em 01/Jun.		Acumulação em 31/Dez.		Vazão definida (prevista) (1) (m³/s)	Vazão liberada (real) (1) (m³/s)
	(hm³)	(%)	(hm³)	(%)		
2002	-	-	-	-	0.20 - 0.25	0.20 - 0.25
2003	-	-	-	-	0.20 - 0.25	0.20 - 0.25
2004	-	-	-	-	0.20 - 0.25	0.20 - 0.25
2005	-	-	-	-	0.20 - 0.25	0.20 - 0.25

(1) - As vazões definidas e liberadas correspondem à média do 2º semestre (estiagem).

Quadro 4.14 – Volume regularizado pelo açude Jaburú I

ESTUDO	Vazão Q90 (m³/s)	Vazão Q90+		
		A montante (m³/s)	A jusante (m³/s)	Total (m³/s)
Plano Estadual 2005	3.73	-	-	3.53
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	-	0.8	3.2	4.0

Quadro 4.15 – Características de dimensionamento da PCH do açude Jaburú I

ESTUDO	Vazões "viáveis" (m³/s)	Características nominais adotadas			Produção de energia (GWh/ano)
		Vazão (m³/s)	Queda útil (m)	Potência (MW)	
-	-	-	-	-	-
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	max. 4.0 (1)	1.6	46	0.61	3.18
Valores finais propostos	-	1.6	46	0.61	3.18

(1) - Condicionado pela capacidade da tomada de água atual.

A exploração do açude Jaburú I é atualmente condicionada fundamentalmente pelas necessidades de água para abastecimento e irrigação, sendo liberado um valor de vazão (0,20 a 0,25 m³/s; sendo cerca de 80% para jusante) muito inferior à capacidade total de regularização do açude.

Atualmente não existem significativas utilizações de água dependentes deste açude, que alimenta essencialmente o estado do Piauí, mantendo-se o nível de água no reservatório sempre muito alto. Espera-se contudo que no futuro ocorra o desenvolvimento dessas utilizações, embora não se antevêja que possam atingir a curto prazo o valor da capacidade de regularização do açude.

A vazão de equipamento a instalar na PCH do Jaburú I é desta forma condicionada pela necessidade de turbinar praticamente em contínuo as vazões que em cada instante são liberadas para jusante destinadas a outras utilizações. Estas vazões poderão ser significativamente inferiores à vazão de equipamento total ótima definida para a PCH.

Tendo em consideração as restrições de exploração atuais e previsíveis no futuro próximo, a pequena vazão em causa e as condicionantes ligadas à capacidade limitada da tomada de água atual, a solução adotada para esta PCH considera assim a instalação de **um único grupo, para uma vazão nominal total de 1,6 m³/s (potência de 0,61 MW)**.

Com o único grupo em operação será desta forma possível turbinar em condições adequadas, e com funcionamento em 24 horas, a vazão média que se espera liberar para jusante em período de estiagem (da ordem de 1 m³/s) – admitiu-se que no futuro próximo a vazão a liberar para jusante irá manter-se pouco superior à atual e portanto muito inferior à capacidade de regularização teórica do açude.

Note-se que a maior vazão de equipamento em comparação com a vazão regularizada se justifica pela possibilidade de se turbinar vazões afluentes que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório em períodos mais pluviosos. Refira-se também que a vazão máxima que é possível turbinar com os equipamentos selecionados reduz-se naturalmente à medida que o nível de água no reservatório desce.

Posteriormente, numa segunda fase, caso seja possível assegurar a plena exploração do potencial do açude para fornecimento de água e em simultâneo para produção de energia, poderá encarar-se a possibilidade de se ampliar a capacidade da usina para a vazão de equipamento considerada ótima.

A existência de uma instalação com turbo-bombas a jusante do açude, não deverá condicionar a operação da usina, dada a sua pequena capacidade.

4.2.7. PCH 6 : Queda do Trecho 1

Os Quadros 4.16 e 4.17 apresentam o volume regularizado para a Queda do Trecho 1, e as características de dimensionamento adotadas para a PCH a instalar nesse aproveitamento.

Quadro 4.16 – Volume regularizado na secção da Queda do Trecho 1

ESTUDO	Vazão Q90 (m ³ /s)	Vazão Q90+		
		A montante (m ³ /s)	A jusante (m ³ /s)	Total (m ³ /s)
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	1ª Fase	0	7.4	7.4
	2ª Fase	0	14.7	14.7

Quadro 4.17 – Características de dimensionamento da PCH da Queda do Trecho 1

ESTUDO	Vazões "viáveis" (m ³ /s)	Características nominais adotadas			Produção de energia (GWh/ano)
		Vazão (m ³ /s)	Queda útil (m)	Potência (MW)	
-	-	-	-	-	-
Relatório da Etapa II, COBA Dez. 2005	14 a 22 (1)	22.0	11	2.02	10.96
Valores finais propostos	1ª fase	-	7.0	11	0.64
	2ª fase	-	14.0	11	1.28

(1) - Máximo de 19 ou 22 m³/s.

As condições de exploração do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza condicionarão integralmente a exploração da PCH da Queda do Trecho 1.

A vazão de equipamento a instalar na PCH do Jaburú I é desta forma condicionada pela necessidade de turbinar praticamente em contínuo as vazões que em cada instante são transportadas pelo Trecho 1 do Eixo de Integração. Estas vazões poderão ser significativamente inferiores à vazão de equipamento total ótima definida para a PCH.

Tendo em consideração as restrições de exploração atuais e previsíveis no futuro próximo, a solução adotada para esta PCH considera assim a instalação de **um único grupo na primeira fase, para uma vazão nominal total de 7,0 m³/s (potência de 0,64 MW)**. Na segunda fase será instalado um segundo grupo de igual capacidade.

4.3. COMPARAÇÃO COM TURBO-BOMBAS

As alternativas com instalação de equipamentos tipo turbo-bombas foram dimensionadas considerando, para cada aproveitamento, uma solução equivalente às características de equipamento definidas para cada PCH (1ª fase), de forma a possibilitar a comparação direta entre essas duas soluções alternativas de equipamento.

Efetou-se assim uma análise técnica e econômica comparativa dessas duas soluções alternativas para a utilização da energia disponível em cada açude.

A análise da viabilidade técnica e econômica da instalação de turbo-bombas baseou-se na comparação entre os custos atualizados totais associados a uma instalação desse tipo com o custo e benefício associado à execução de uma PCH equivalente, ou seja, considerando o custo adicional de execução de uma estação de bombeamento com funcionalidade idêntica à das turbo-bombas.

No Quadro 4.18 recapitulam-se os valores dos custos totais atualizados determinados no presente estudo (relatório da Etapa IV).

Quadro 4.18
Comparação de custos totais atualizados

APROVEITAMENTO	PCH		TURBO-BOMBA		DIFERENÇA TURBO-BOMBA	
	CUSTO DE CONSTRUÇÃO (R\$)	CUSTO ATUALIZADO (R\$)	CUSTO DE CONSTRUÇÃO (R\$)	CUSTO ATUALIZADO (R\$)	CUSTO DE CONSTRUÇÃO (R\$)	CUSTO ATUALIZADO (R\$)
Castanhão	20.09	11.00	12.79	14.98	-7.30	3.98
Orós	12.39	5.99	7.95	9.34	-4.44	3.34
Banabuiú	15.73	1.86	10.29	12.09	-5.44	10.23
Aracoiaba	1.98	1.13	1.02	1.22	-0.96	0.09
Jaburú I	4.04	2.58	2.75	3.27	-1.29	0.69
Queda do Trecho 1	3.64	2.57	2.28	2.67	-1.36	0.10

Através da análise dos valores de custos atualizados calculados, verifica-se que em todas as situações é mais interessante a instalação de PCH do que a alternativa com Turbo-bombas.

Esta conclusão é válida, mesmo considerando que será necessário executar uma estação de bombeamento para atender às necessidades de irrigação em zonas altas situadas nas proximidades dos açudes.

A comparação entre custos de construção permite constatar que a solução com Turbo-bombas implicará menores custos totais de execução, para a totalidade dos diferentes aproveitamentos.

A diferença de custos atualizados da alternativa com PCH para a alternativa com Turbo-bombas é muito significativa para os três aproveitamentos de maiores dimensões – Castanhão, Orós e Banabuiú – e menor para os restantes. Para os aproveitamentos do açude Aracoiaba e da Queda do Trecho 1 a diferença entre as duas alternativas é muito pequena.

Note-se que a alternativa com Turbo-bomba apenas é válida se forem identificadas áreas com aptidão para irrigação nas zonas altas envolvidas de cada açude. Caso contrário a solução com PCH será sempre a mais interessante do ponto de vista técnico e econômico.

Seguidamente são apresentadas algumas considerações relativas à comparação entre alternativas com PCH e com turbo-bombas, para cada aproveitamento analisado.

a) Aproveitamento do açude Castanhão

A alternativa de instalação de turbo-bombas no açude Castanhão, foi objeto de estudos anteriores, designadamente do “Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para Implantação de Conjuntos Turbina-Bomba nas Galerias do Açude Castanhão para Adução de Água para Irrigação, PIVOT, Agosto 1997, Março 1998”. Nesse estudo foi considerada uma instalação autónoma com o objetivo de irrigação da Chapada do Castanhão e dos perímetros de irrigação de São Brás e Xique-xique.

Nesse estudo os resultados da análise de viabilidade técnica e econômica não foram conclusivos, verificando-se que a comparação econômica de alternativas realizada não considerou o valor da perda de produção de energia, que em outras soluções poderia ser realizada numa central hidrelétrica.

O presente estudo permite concluir que a implantação de uma instalação com turbo-bombas, embora conduza a um investimento global inferior, é menos interessante do ponto de vista

econômico do que a instalação de uma central hidrelétrica e de uma estação de bombeamento independentes.

Nestas condições não se considera viável a instalação de turbo-bombas no aproveitamento do açude Castanhão.

b) Aproveitamento do açude Orós

O açude Orós apresenta condições de exploração muito semelhantes ao açude Castanhão, pelo que os inconvenientes associados a uma instalação com turbo-bombas são idênticos.

Neste contexto não foi considerado viável, para o aproveitamento do açude Orós, a implantação de Turbo-bombas em substituição da PCH.

c) Aproveitamento do açude Banabuiú

Tal como para os açudes Castanhão e Orós, também para o açude Banabuiú não foi considerado viável a implantação de Turbo-bombas em substituição da PCH.

d) Aproveitamento do açude Aracoiaba

Neste aproveitamento foi já executada uma instalação com turbo-bombas, na época de construção do açude.

Esta instalação destina-se a alimentar zonas de irrigação na margem direita do rio Aracoiaba, contudo, de acordo com a informação disponível, nunca chegou a funcionar com excepção de períodos de testes.

Neste contexto não será de considerar a instalação de turbo-bombas para este aproveitamento, podendo admitir-se a substituição ou complementação desta instalação com a execução de uma pequena central hidrelétrica.

e) Aproveitamento do açude Jaburu I

Este aproveitamento dispõe atualmente de uma instalação com turbo-bombas, com captação direta no rio, que se encontra em funcionamento com regularidade.

Os equipamentos instalados, que se encontram ao ar livre, são já muito antigos e encontram-se deficiente estado de conservação. A vazão bombeada é muito reduzida, sendo o diâmetro das condutas elevatórias da ordem de apenas 50 mm.

Embora não sendo considerado viável a instalação de turbo-bombas, em comparação com a instalação de uma PCH, será contudo necessário garantir a operacionalidade do sistema existente após a concretização da execução da PCH. Esta operacionalidade poderá ser garantida pela instalação de uma pequena bomba (vazão de cerca de 10 l/s) com captação direta na tubulação forçada da PCH (picagem em pressão), numa seção próxima da atual turbo-bomba.

f) Aproveitamento da Queda do Trecho 1 do Eixo de Integração

A instalação de turbo-bombas na Queda do Trecho 1 não é considerada viável, atendendo a que a sua operação ficaria dependente da exploração adotada para o Eixo de Integração, não existindo assim garantia de funcionamento em contínuo.

Os períodos de inoperacionalidade do eixo de integração poderão ser longos em períodos de maior pluviosidade, caso não ocorra necessidade de transferir vazões do açude Castanhão para a Região Metropolitana de Fortaleza.

5. CARACTERÍSTICAS DAS PCH

5.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

No presente capítulo resumem-se as características previstas para os diferentes aproveitamentos em estudo, resultantes dos avaliação da viabilidade técnica e econômica realizada. É feita uma breve descrição de cada uma das PCH, sendo indicados as características previstas em estudos anteriores e as atualmente previstas como conclusão do presente estudo.

É também efetuada a recapitulação das conclusões de estudos anteriormente realizados relativamente a três das PCH: Castanhão, Orós e Banabuiú.

Nos Tomos 1 a 6 do presente relatório são definidas em maior detalhe as características de cada uma das PCH.

5.2. ANTECEDENTES

5.2.1. PCH do açude Castanhão

Os estudos realizados no âmbito do projeto da barragem, relativos à PCH do Castanhão, consideravam a execução de uma central com uma vazão de equipamento de 70 m³/s e potência de 22,5 MW, equipada com dois grupos turbina-alternador.

Atendendo a que esses estudos não previam a execução do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza, que deriva vazões significativas que não poderão ser turbinadas, pode admitir-se que a vazão nominal a adotar para a PCH do Castanhão deverá ser significativamente inferior.

Com a menor vazão da central, poderá ser utilizada apenas uma das duas tubulações de tomada de água do açude para alimentação da(s) turbina(s), libertando a tubulação existente para a captação exclusiva de água para o Eixo de Integração e/ou para as válvulas dispersoras como sucede atualmente.

5.2.2. PCH do açude Orós

No projeto do açude Orós foi considerada a construção de uma central hidrelétrica no pé-de-barragem, tendo sido reservado um local para a sua implantação, adjacente à câmara da

válvula dispersora da tomada de água, e foi deixada uma derivação cega prevista para futuro prolongamento para alimentação da usina.

A solução adotada nesse projeto para a casa de força da usina é do tipo convencional, abrigada, equipada com três grupos turbina-gerador do tipo Kaplan de eixo vertical, para uma vazão total de 74 m³/s repartida pelos três grupos. A potência instalada prevista nesse projeto era de 26,60 MW (33,2 MVA), considerando a queda útil nominal disponível de 45,0 m.

De referir que nos estudos anteriormente realizados foi sobre-estimado o valor do deflúvio médio anual, na ordem de 100%, pelo que os valores indicados para vazão de equipamento e potência instalada estarão certamente sobre avaliados (na época não se dispunha de registros de deflúvios com adequada precisão e para um período de tempo suficientemente longo).

Os estudos realizados conduziram assim a uma diminuição muito significativa da vazão de equipamento a adotar.

5.2.3. PCH do açude Banabuiú

No projeto do açude Banabuiú foi considerada a construção de uma central hidrelétrica no pé-de-barragem, tendo sido reservado um local para a sua implantação, adjacente à câmara das válvulas dispersoras. A galeria termina numa tubulação que alimenta as válvulas dispersoras e que possui uma derivação com junta cega prevista para prolongamento para a usina.

A solução adotada nesse projeto para a casa de força da usina é do tipo convencional, abrigada, equipada com um único grupo turbina-gerador do tipo Francis de dupla roda (de eixo horizontal), para uma vazão de 46 m³/s. A velocidade de rotação nominal prevista é de 1 200 rpm. A potência instalada total será de 15,0 MW (30,0 MVA), considerando a queda útil nominal disponível de 42,5 m.

Foi prevista a execução de um reservatório de re-regulação a jusante da restituição da central, permitindo o seu funcionamento intermitente ao longo do dias (em horas de ponta e em horas cheias).

Os estudos realizados conduziram assim a uma diminuição muito significativa da vazão de equipamento a adotar.

5.3. CARACTERÍSTICAS DAS PCH

Como se indicou na seção antecedente, as características de dimensionamento adotadas para as PCH resultam diretamente dos estudos de otimização econômica realizados e das restrições de exploração definidas pela COGERH, que limitam a vazão a liberar em cada açude aos interesses exclusivos das utilizações atuais da água para irrigação, não permitindo em consequência o pleno desenvolvimento do potencial hidrelétrico de cada local.

Definiu-se assim uma vazão de equipamento para cada PCH, a instalar numa **primeira fase**, limitada à vazão teórica libertada para jusante, garantida pela exploração do reservatório durante o período de irrigação, ou seja o 2º semestre, funcionando assim praticamente em contínuo nesse período. Para a definição da vazão de primeira fase utilizaram-se valores históricos dos últimos anos de exploração, disponibilizados pela COGERH.

Numa **segunda fase** de instalação de equipamentos, caso possam ser viabilizadas outras condições de operação dos açudes mais adequada à produção de energia (envolvendo também os comitês de bacia nos correspondentes benefícios), poderá instalar-se um segundo grupo, que iria operar em média num número menor de horas por ano e com maior risco no que diz respeito a energia garantida. Este sobre-equipamento seria contudo ainda economicamente muito interessante, designadamente no caso do futuro tarifário de energia valorizar a produção em horas de ponta (o que atualmente não sucede).

No Quadro 5.1 indicam-se as principais características de dimensionamento adotadas para cada uma das PCH, designadamente os valores nominais da vazão de equipamento, a queda útil e a potência instalada.

Para as PCH do Castanhão, Orós, Banabuiú e Queda do Trecho 1 foram consideradas duas fases de instalação de equipamentos. A 2ª fase será concretizada caso as condições de operação dos aproveitamentos possam ser otimizadas em relação à situação atual (em que é dada prioridade exclusiva à irrigação).

Refira-se que as conclusões do Estudo de Viabilidade elaborado demonstraram o grande interesse na realização dos três aproveitamentos de maiores dimensões – Castanhão, Orós e Banabuiú – que apresentam indicadores de rentabilidade econômica que podem ser considerados muito favoráveis. As restantes PCH de Aracoiaba e da Queda do Trecho 1, embora menos interessantes do ponto de vista econômico, são também considerados viáveis.

A PCH do Jaburú I apresentou valores de indicadores econômicos desfavoráveis, pelo que não é considerada viável, para as condições de preço da energia admitidas no presente estudo.

Quadro 5.1

Características principais das PCH

PCH	Faseamento	Características nominais			Número de grupos
		Vazão (m ³ /s)	Queda útil (m)	Potência (MW)	
1 Castanhão	1ª Fase	15	42	5,25	1
	2ª Fase (total)	30		10,50	2
2 Orós	1ª Fase	8	46	3,05	1
	2ª Fase (total)	16		6,10	2
3 Banabuiú	1ª Fase	12	44	4,40	1
	2ª Fase (total)	24		8,80	2
4 Aracoiaba	-	2.0	25	0.42	1
5 Jaburú I	-	1.6	46	0.61	1
6 Queda do Trecho 1	1ª Fase	7	11	0.64	1
	2ª Fase (total)	14		1.28	2

Finalmente poderá também mencionar-se que a eventual concretização da Transposição do São Francisco poderá alterar as condições de operação dos grandes açudes – Castanhão, Orós e Banabuiú – e em consequência o interesse de instalação de uma potência superior.

As condições de operação das PCH, numa fase inicial de exploração apenas com a execução da 1ª fase, serão as seguintes:

- No 2º semestre, ou seja no período seco, a central poderá operar praticamente em contínuo, funcionamento com uma capacidade próxima da máxima instalada (variável em função do nível no reservatório). O valor de vazão turbinável dependerá contudo do volume que for decidido liberar, pelo comité de bacia, para irrigação a jusante.
- No 1º semestre, ou seja no período húmido, o funcionamento dependerá da situação hídrica de cada reservatório, podendo ser praticamente nula em anos secos (turbinará apenas a vazão ecológica que for decidido liberar para jusante) ou funcionar em

contínuo durante largos períodos de anos húmidos, caso exista risco de descargas pelo vertedouro da barragem.

Com a execução da 2º fase a exploração no 2º semestre será idêntica, e admite-se que será possível uma maior liberdade da utilização da água no 1º semestre para produção de energia, fazendo pleno uso da capacidade de regularização de cada reservatório, ou seja antecipando-se a situações de descargas pelo vertedouro.

5.4. PCH DO AÇUDE CASTANHÃO

A PCH do açude Castanhão ficará implantada no pé-de-barragem do açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água para alimentação da usina.

Os estudos realizados permitiram definir as características a adotar para a PCH, que são as seguintes (1ª Fase):

- Vazão de equipamento 15 m³/s
- Queda bruta 44 m
- Queda útil (nominal)..... 42 m
- Potência 5,25 MW

Na 2ª Fase, cuja viabilidade deverá ser aferida em estudos a realizar posteriormente, será instalado um segundo grupo de iguais características, resultando uma vazão de equipamento total de 30 m³/s e uma potência instalada de 10,50 MW.

Será executado o edifício da central, em princípio previsto já para os dois grupos, conduta forçada, sub-estação anexa e linha de ligação à rede da COELCE. A conduta forçada terá origem na calote esférica existente na saída da estrutura de tomada de água da estação de bombeamento do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza.

O custo de execução da 1ª Fase é estimado em 10,78 MR\$, repartidos por 8,09 MR\$ para equipamentos e 2,69 MR\$ para obras civis.

Os resultados dos estudos de simulação da exploração do reservatório e da PCH permitiram a determinação dos seguintes parâmetros (1ª Fase):

- Volume regularizado (90% de garantia em tempo)..... 835 hm³/ano (26,6 m³/s)
- Energia produzida 41,5 GWh/ano
- Tempo de funcionamento médio..... 7 885 horas/ano

- Valor da energia produzida (tarifário COELCE 2005).. $2,58 \times 10^6$ R\$/ano

O regime de funcionamento, em períodos com disponibilidades hídricas, será contínuo em 24 horas. A exploração da PCH será fortemente condicionada pela necessidade de satisfação prioritária das necessidades de água para abastecimento humano e para irrigação, quer a montante do açude (volumes não turbinados) quer a jusante (volumes turbinados). São também turbinadas as vazões que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório.

Da análise econômica realizada resultaram os seguintes valores de indicadores econômicos para a 1ª Fase do aproveitamento (taxa de retorno de 10%):

- Valor Presente Líquido – VPL..... 11,9 MR\$
- Índice benefícios-custos – B/C..... 1,90
- Tempo de retorno do investimento 7 anos
- Taxa Interna de Retorno – TIR 22,4 %
- Custo atualizado do kWh produzido 32,8 R\$/MWh
- Custo da potência instalada..... 2 535 R\$/kW

A execução do aproveitamento poderá ser concretizada em cerca de 3 anos, incluindo um ano para a elaboração de estudos complementares e do Projeto Executivo e dois anos para encomenda e fabrico de equipamentos e construção.

Dos estudos efetuados conclui-se que a construção da PCH do açude Castanhão apresenta condições de viabilidade técnica e econômica que se podem considerar muito interessantes.

5.5. PCH DO AÇUDE ORÓS

A PCH do açude Orós ficará implantada no pé-de-barragem do açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água para alimentação da usina.

Os estudos realizados permitiram definir as características a adotar para a PCH, que são as seguintes (1ª Fase):

- Vazão de equipamento 8 m³/s
- Queda bruta 48 m
- Queda útil (nominal)..... 46 m
- Potência 3,05 MW

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



Na 2ª Fase, cuja viabilidade deverá ser aferida em estudos a realizar posteriormente, será instalado um segundo grupo de iguais características, resultando uma vazão de equipamento total de 16 m³/s e uma potência instalada de 6,10 MW.

Será executado o edifício da central, em princípio previsto já para os dois grupos, conduta forçada, sub-estação anexa e linha de ligação à rede da COELCE. A conduta forçada terá origem num derivante a executar na tubulação de tomada de água existente, num local imediatamente a montante da câmara da válvula dispersora.

O custo de execução da 1ª Fase é estimado em 6,35 MR\$, repartidos por 4,63 MR\$ para equipamentos e 1,72 MR\$ para obras civis.

Os resultados dos estudos de simulação da exploração do reservatório e da PCH permitiram a determinação dos seguintes parâmetros (1ª Fase):

- Volume regularizado (90% de garantia em tempo)..... 370 hm³/ano (11,7 m³/s)
- Energia produzida 21,4 GWh/ano
- Tempo de funcionamento médio..... 7 769 horas/ano
- Valor da energia produzida (tarifário COELCE 2005).. 1,33 x 10⁶ R\$/ano

O regime de funcionamento, em períodos com disponibilidades hídricas, será contínuo em 24 horas. A exploração da PCH será fortemente condicionada pela necessidade de satisfação prioritária das necessidades de água para abastecimento humano e para irrigação, quer a montante do açude (volumes não turbinados) quer a jusante (volumes turbinados). São também turbinadas as vazões que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório.

Da análise econômica realizada resultaram os seguintes valores de indicadores econômicos para a 1ª Fase do aproveitamento (taxa de retorno de 10%):

- Valor Presente Líquido – VPL..... 5,2 MR\$
- Índice benefícios-custos – B/C..... 1,67
- Tempo de retorno do investimento 8 anos
- Taxa Interna de Retorno – TIR 19,3 %
- Custo atualizado do kWh produzido 37,3 R\$/MWh
- Custo da potência instalada..... 2 557 R\$/kW

A execução do aproveitamento poderá ser concretizada em cerca de 3 anos, incluindo um ano para a elaboração de estudos complementares e do Projeto Executivo e dois anos para encomenda e fabrico de equipamentos e construção.

Os estudos efetuados concluíram que a construção da PCH do açude Orós apresenta condições de viabilidade técnica e econômica que se podem considerar muito interessantes.

5.6. PCH DO AÇUDE BANABUIÚ

A PCH do açude Banabuiú ficará implantada no pé-de-barragem do açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água para alimentação da usina.

Os estudos realizados permitiram definir as características a adotar para a PCH, que são as seguintes (1ª Fase):

- Vazão de equipamento 12 m³/s
- Queda bruta 46 m
- Queda útil (nominal)..... 44 m
- Potência 4,40 MW

Na 2ª Fase, cuja viabilidade deverá ser aferida em estudos a realizar posteriormente, será instalado um segundo grupo de iguais características, resultando uma vazão de equipamento total de 24 m³/s e uma potência instalada de 8,80 MW.

Será executado o edifício da central, em princípio previsto já para os dois grupos, conduta forçada, sub-estação anexa e linha de ligação à rede da COELCE. A conduta forçada terá origem num derivante a executar na tubulação de tomada de água existente, num local imediatamente a montante da câmara das válvulas dispersoras.

O custo de execução da 1ª Fase é estimado em 7,94 MR\$, repartidos por 5,82 MR\$ para equipamentos e 2,12 MR\$ para obras civis.

Os resultados dos estudos de simulação da exploração do reservatório e da PCH permitiram a determinação dos seguintes parâmetros (1ª Fase):

- Volume regularizado (90% de garantia em tempo).... 293,3 hm³/ano (10,8 m³/s)
- Energia produzida 40,0 GWh/ano
- Tempo de funcionamento médio..... 8 415 horas/ano
- Valor da energia produzida (tarifário COELCE 2005).. 2,48 x 10⁶ R\$/ano

O regime de funcionamento, em períodos com disponibilidades hídricas, será contínuo em 24 horas. A exploração da PCH será fortemente condicionada pela necessidade de satisfação prioritária das necessidades de água para abastecimento humano e para irrigação, quer a

montante do açude (volumes não turbinados) quer a jusante (volumes turbinados). São também turbinadas as vazões que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório.

Da análise econômica realizada resultaram os seguintes valores de indicadores econômicos para a 1ª Fase do aproveitamento (taxa de retorno de 10%):

- Valor Presente Líquido – VPL..... 14,5 MR\$
- Índice benefícios-custos – B/C..... 2,48
- Tempo de retorno do investimento 5 anos
- Taxa Interna de Retorno – TIR 29,9 %
- Custo atualizado do kWh produzido 25,0 R\$/MWh
- Custo da potência instalada..... 2 219 R\$/kW

A execução do aproveitamento poderá ser concretizada em cerca de 3 anos, incluindo um ano para a elaboração de estudos complementares e do Projeto Executivo e dois anos para encomenda e fabrico de equipamentos e construção.

Dos estudos efetuados conclui-se que a construção da PCH do açude Banabuiú apresenta condições de viabilidade técnica e econômica que se podem considerar muito interessantes.

5.7. PCH DO AÇUDE ARACOIABA

A PCH do açude Aracoiaba ficará implantada no pé-de-barragem do açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água para alimentação da usina.

Os estudos realizados permitiram definir as características a adotar para a PCH, que são as seguintes:

- Vazão de equipamento 2,0 m³/s
- Queda bruta 27 m
- Queda útil (nominal)..... 25 m
- Potência 0,42 MW

Será executado o edifício da central, conduta forçada e linha de ligação à rede da COELCE. A conduta forçada terá origem num derivante na tubulação existente de alimentação da atual instalação de turbobombas. A viabilização da PCH passará também pela desativação da instalação de turbo-bombas existente ou sua substituição por uma eletro-bomba.

O custo de execução é estimado em 0,92 MR\$, repartidos por 0,81 MR\$ para equipamentos e 0,11 MR\$ para obras civis.

Os resultados dos estudos de simulação da exploração do reservatório e da PCH permitiram a determinação dos seguintes parâmetros :

- Volume regularizado (90% de garantia em tempo)..... 85 hm³/ano (2,4 m³/s)
- Energia produzida 2,76 GWh/ano
- Tempo de funcionamento médio..... 6 680 horas/ano
- Valor da energia produzida (tarifário COELCE 2005) 0,171 x 10⁶ R\$/ano

O regime de funcionamento, em períodos com disponibilidades hídricas, será contínuo em 24 horas. A exploração da PCH será fortemente condicionada pela necessidade de satisfação prioritária das necessidades de água para abastecimento humano e para irrigação, quer a montante do açude (volumes não turbinados) quer a jusante (volumes turbinados). São também turbinadas as vazões que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório.

Da análise econômica realizada resultaram os seguintes valores de indicadores econômicos para o aproveitamento (taxa de retorno de 10%):

- Valor Presente Líquido – VPL..... 0,5 MR\$
- Índice benefícios-custos – B/C..... 1,44
- Tempo de retorno do investimento 10 anos
- Taxa Interna de Retorno – TIR 16,5 %
- Custo atualizado do kWh produzido 43,1 R\$/MWh
- Custo da potência instalada..... 2 796 R\$/kW

A execução do aproveitamento poderá ser concretizada em cerca de 2 anos, incluindo um ano para a elaboração de estudos complementares e do Projeto Executivo e dois anos para encomenda e fabrico de equipamentos e construção.

Dos estudos efetuados conclui-se que a construção da PCH do açude Aracoiaba, embora seja considerada economicamente viável, não apresenta indicadores de rentabilidade econômica que se possam considerar muito interessantes.

5.8. PCH DO AÇUDE JABURU I

A PCH do açude Jaburú I ficará implantada a jusante do pé-de-barragem do açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água para alimentação da usina.

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



Os estudos realizados permitiram definir as características a adotar para a PCH, que são as seguintes:

- Vazão de equipamento 1,6 m³/s
- Queda bruta 51 m
- Queda útil (nominal)..... 46 m
- Potência 0,61 MW

Será executado o edifício da central, conduta forçada e linha de ligação à rede da COELCE. A conduta forçada terá origem num derivante na tubulação da tomada de água existente. A instalação de turbobombas existente deverá ser substituída por uma pequena estação de bombeamento.

O custo de execução é estimado em 2,20 MR\$, repartidos por 1,51 MR\$ para equipamentos e 0,61 MR\$ para obras civis.

Os resultados dos estudos de simulação da exploração do reservatório e da PCH permitiram a determinação dos seguintes parâmetros:

- Volume regularizado (90% de garantia em tempo) 151 hm³/ano (4,0 m³/s)
- Energia produzida 3,18 GWh/ano
- Tempo de funcionamento médio..... 5 479 horas/ano
- Valor da energia produzida (tarifário COELCE 2005) 0,197 x 10⁶ R\$/ano

O regime de funcionamento, em períodos com disponibilidades hídricas, será contínuo em 24 horas. A exploração da PCH será fortemente condicionada pela necessidade de satisfação prioritária das necessidades de água para abastecimento humano e para irrigação, quer a montante do açude (volumes não turbinados) quer a jusante (volumes turbinados). São também turbinadas as vazões que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório.

Da análise econômica realizada resultaram os seguintes valores de indicadores econômicos para o aproveitamento (taxa de retorno de 10%):

- Valor Presente Líquido – VPL -0,7 MR\$
- Índice benefícios-custos – B/C..... 0,74
- Tempo de retorno do investimento..... - anos
- Taxa Interna de Retorno – TIR..... 5,9 %
- Custo atualizado do kWh produzido..... 0,084 R\$/MWh
- Custo da potência instalada 4 247 R\$/kW

A execução do aproveitamento poderá ser concretizada em cerca de 2 anos, incluindo um ano para a elaboração de estudos complementares e do Projeto Executivo e dois anos para encomenda e fabrico de equipamentos e construção.

Dos estudos efetuados conclui-se que a construção da PCH do açude Jaburú I não é economicamente viável, para as condições econômicas admitidas (designadamente a tarifa de energia), apresentado indicadores de rentabilidade desfavoráveis.

5.9. PCH DA QUEDA DO TRECHO 1

A PCH da Queda do Trecho 1 do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza ficará implantada lateralmente ao canal adutor existente, utilizando as atuais estruturas da câmara das válvulas dispersoras que dissipam a energia disponível nesse desnível existente no canal.

Os estudos realizados permitiram definir as características a adotar para a PCH, que são as seguintes (1ª Fase):

- Vazão de equipamento 7 m³/s
- Queda bruta 12,94 m
- Queda útil (nominal)..... 11 m
- Potência 0,64 MW

Na 2ª Fase, cuja viabilidade deverá ser aferida em estudos a realizar posteriormente, será instalado um segundo grupo de iguais características, resultando uma vazão de equipamento total de 14 m³/s e uma potência instalada de 1,28 MW.

Será executado o edifício da central, para um único grupo na 1ª Fase, conduta forçada e linha de ligação à rede da COELCE. A conduta forçada terá origem num derivante a executar na tubulação que antecede as válvulas dispersoras.

O custo de execução da 1ª Fase é estimado em 1,72 MR\$, repartidos por 1,30 MR\$ para equipamentos e 0,42 MR\$ para obras civis.

Os resultados dos estudos de simulação da exploração da PCH permitiram a determinação dos seguintes parâmetros (1ª Fase):

- Volume regularizado (90% de garantia em tempo) 465 hm³/ano (14,7 m³/s)
- Energia produzida 5,05 GWh/ano
- Tempo de funcionamento médio..... 7 870 horas/ano

- Valor da energia produzida (tarifário COELCE 2005) $0,313 \times 10^6$ R\$/ano

O regime de funcionamento será contínuo em 24 horas, dependendo diretamente da operação do Trecho 1 do Canal de Integração.

Da análise econômica realizada resultaram os seguintes valores de indicadores econômicos para a 1ª Fase do aproveitamento (taxa de retorno de 10%):

- Valor Presente Líquido – VPL..... 0,9 MR\$
- Índice benefícios-custos – B/C..... 1,44
- Tempo de retorno do investimento..... 10 anos
- Taxa Interna de Retorno – TIR..... 16,3 %
- Custo atualizado do kWh produzido..... 0,043 R\$/MWh
- Custo da potência instalada 3 318 R\$/kW

A execução do aproveitamento poderá ser concretizada em cerca de 2 anos, incluindo um ano para a elaboração de estudos complementares e do Projeto Executivo e dois anos para encomenda e fabrico de equipamentos e construção.

Dos estudos efetuados conclui-se que a construção da PCH da Queda do Trecho 1 é economicamente viável, apresentando indicadores de rentabilidade econômica que se podem considerar razoáveis, embora não muito elevados.

6. CONCLUSÕES

Os estudos realizados tiveram por objetivo principal a definição das características a adotar para as seis Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) em estudo, associadas a açudes ou outros aproveitamentos hidráulicos existentes no Estado do Ceará.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) em estudo integram aproveitamentos de porte significativo, da ordem de 5 a 10 MW, como é o caso das PCH dos açudes Castanhão, Orós e Banabuiú, e aproveitamentos de muito menores dimensões, inferiores a cerca de 1,5 MW, como são o caso das PCH dos açudes de Aracoiaba e Jaburu I e da Queda do Trecho 1.

Foram utilizados como base quer documentos relativos aos aproveitamentos existentes, estudos disponíveis relativos a alguns aproveitamentos e efetuou-se também uma visita de reconhecimento aos locais de implantação das PCH.

Os estudos realizados compreenderam a definição da capacidade de regularização de vazões proporcionada pelos diferentes açudes e a estimativa da capacidade de produção de energia na futura PCH. Estes estudos foram realizados com base na utilização do programa de cálculo (designada por SIMPCH) desenvolvido especificamente para o presente estudo. A exploração dos reservatórios foi condicionada pela necessidade prioritária de fornecimento de água para abastecimento humano e para irrigação.

As características principais de cada PCH foram definidas com base numa análise técnica e econômica. Efetuou-se ainda a análise técnica e econômica comparativa entre soluções alternativas de implantação de PCH ou instalação de turbobombas. Verificou-se que em todos os seis aproveitamentos é mais interessante, do ponto de vista econômico, a solução PCH.

O âmbito dos estudos realizados compreendeu também a elaboração de Termos de Referência para o prosseguimento dos estudos até ao nível de Projeto Executivo, incluindo a identificação dos trabalhos auxiliares de levantamentos topográficos e de prospeção geotécnica.

20 de Maio de 2006

Pela COBA

António Pereira da Silva

Diretor do Serviço de Recursos Naturais
e Equipamentos

**ELABORAÇÃO DA DECLARAÇÃO DE RESERVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA
E DE ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO
DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ**

**ETAPA V
RELATÓRIO FINAL**

**TOMO 0
MEMÓRIA GERAL**

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS E ÂMBITO DOS ESTUDOS	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	3
2. DADOS DE BASE.....	6
2.1. RECOLHA DE DADOS DE BASE	6
2.2. SITUAÇÃO ATUAL DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CEARÁ	6
2.3. TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA.....	8
2.4. DADOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS	8
2.5. ESTUDOS E PROJETOS	9
2.6. REGISTOS DE EXPLORAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS	10
2.7. RECURSOS HÍDRICOS E DEMANDAS HÍDRICAS.....	10
2.7.1. Considerações prévias.....	10
2.7.2. Dados hidrológicos.....	11
2.7.3. Demandas hídricas	12
2.8. OUTROS DADOS	12
2.8.1. Valorização da produção de energia	12

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



2.8.2. Legislação e outros documentos	13
3. MODELO DE SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DAS PCH (SIMPCH).....	14
3.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS	14
3.2. MODELO DE SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DAS PCH (SIMPCH).....	14
3.3. CARACTERÍSTICAS DOS APROVEITAMENTOS	17
3.3.1. Bacias hidrográficas.....	17
3.3.2. Açudes	17
3.3.3. Usinas hidrelétricas.....	19
3.3.4. Escoamentos	19
3.3.5. Evaporação.....	20
3.3.6. Demandas hídricas	20
3.4. EXPLORAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS	21
3.4.1. Garantia de fornecimento de água.....	21
3.4.2. Regras de exploração	22
3.4.3. Condições de operação das PCH.....	25
3.4.4. Operação das PCH e descargas para jusante.....	26
3.5. PRODUÇÃO DE ENERGIA	27
3.5.1. Cálculo da energia produzida	27
3.5.2. Valorização da energia produzida.....	28
3.6. PROGRAMA DE SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DAS PCH.....	29
3.7. DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA SIMPCH	30
3.8. RESULTADOS DO PROGRAMA SIMPCH.....	32
4. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.....	36
4.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS	36
4.2. CONDICIONANTES DE EXPLORAÇÃO	36
4.2.1. Dados de exploração dos aproveitamentos.....	36
4.2.2. PCH 1 : Açude Castanhão	37
4.2.3. PCH 2 : Açude Orós.....	39

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



4.2.4. PCH 3 : Açude Banabuiú	41
4.2.5. PCH 4 : Açude Aracoiaba	43
4.2.6. PCH 5 : Açude Jaburú I	46
4.2.7. PCH 6 : Queda do Trecho 1	48
4.3. COMPARAÇÃO COM TURBO-BOMBAS	49
5. CARACTERÍSTICAS DAS PCH	53
5.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS	53
5.2. ANTECEDENTES	53
5.2.1. PCH do açude Castanhão	53
5.2.2. PCH do açude Orós	53
5.2.3. PCH do açude Banabuiú.....	54
5.3. CARACTERÍSTICAS DAS PCH.....	55
5.4. PCH DO AÇUDE CASTANHÃO	57
5.5. PCH DO AÇUDE ORÓS	58
5.6. PCH DO AÇUDE BANABUIÚ	60
5.7. PCH DO AÇUDE ARACOIABA	61
5.8. PCH DO AÇUDE JABURU I	62
5.9. PCH DA QUEDA DO TRECHO 1	64
6. CONCLUSÕES	66

QUADROS

- 3.1. Características das bacias hidrográficas
- 3.2. Características dos açudes
- 3.3. Características gerais das centrais hidrelétricas (valores preliminares)
- 3.4. Demandas hídricas por aproveitamento
- 3.5. Curvas-guia de exploração dos reservatórios (exemplo)

- 4.1. Histórico operacional recente do açude Castanhão
- 4.2. Volume regularizado pelo açude Castanhão
- 4.3. Características de dimensionamento da PCH do açude Castanhão
- 4.4. Histórico operacional recente do açude Orós
- 4.5. Volume regularizado pelo açude Orós
- 4.6. Características de dimensionamento da PCH do açude Orós
- 4.7. Histórico operacional recente do açude Banabuiú
- 4.8. Volume regularizado pelo açude Banabuiú
- 4.9. Características de dimensionamento da PCH do açude Banabuiú
- 4.10. Histórico operacional recente do açude Aracoiaba
- 4.11. Volume regularizado pelo açude Aracoiaba
- 4.12. Características de dimensionamento da PCH do açude Aracoiaba
- 4.13. Histórico operacional recente do açude Jaburú I
- 4.14. Volume regularizado pelo açude Jaburú I
- 4.15. Características de dimensionamento da PCH do açude Jaburú I
- 4.16. Características de dimensionamento da PCH da Queda do Trecho 1
- 4.17. Volume regularizado na secção da Queda do Trecho 1
- 4.18. Comparação de custos totais atualizados

FIGURAS

- 3.1. Modelo de Simulação da Exploração das PCH (SIMPCH)
- 3.2. Curvas-guia de exploração dos reservatórios (exemplo)

ANEXOS

- ANEXO 1 – RESUMO DOS DADOS E RESULTADOS DO PROGRAMA SIMPCH
- ANEXO 2 – RESULTADOS DO PROGRAMA SIMPCH. VALORES MENSAIS
- ANEXO 3 – RESULTADOS DO PROGRAMA SIMPCH. VALORES ANUAIS
- ANEXO 4 – RESULTADOS DO PROGRAMA SIMPCH. VALORES MÉDIOS MENSAIS
- ANEXO 5 – RESULTADOS DO PROGRAMA SIMPCH. QUADROS DE RESULTADOS