

BARRAGEM POÇO COMPRIDO

Volume 1 – Estudo de Impacto Ambiental – EIA

Tomo 1 – Relatório dos Estudos Básicos

Maio/2021

SUMÁRIO

Sumário Geral

	Páginas
SUMÁRIO	2
APRESENTAÇÃO	9
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR E DO CONSÓRCIO RESPONSÁVEL PELO EIA/RIMA	
15	
1.1.1. <i>Identificação do Empreendedor.....</i>	<i>15</i>
1.1.2. <i>Identificação do Consórcio Responsável pelo EIA/RIMA.....</i>	<i>15</i>
2. INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO.....	16
2.1. HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO	17
2.2. LOCALIZAÇÃO E ABRANGÊNCIA DA ÁREA DO ESTUDO	18
2.3. OBJETIVOS DO EMPREENDIMENTO	20
2.4. JUSTIFICATIVAS SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL.....	20
2.5. ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E TECNOLÓGICAS PRECONIZADAS	22
3. ESTUDOS BÁSICOS.....	31
3.1. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS.....	32
3.2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS.....	32
3.3. ESTUDOS HIDROLÓGICOS	36
3.3.1. <i>Generalidades.....</i>	<i>36</i>
3.3.2. <i>Caracterização da Bacia Hidrográfica</i>	<i>36</i>
3.3.3. <i>Caracterização Climatológica.....</i>	<i>39</i>
3.3.4. <i>Vazão de Regularização do Reservatório</i>	<i>43</i>
3.3.5. <i>Estudo de cheias e do Vertedouro</i>	<i>46</i>
3.3.6. <i>Estudos Adicionais.....</i>	<i>48</i>
3.4. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS.....	50
3.4.1. <i>Geologia Regional.....</i>	<i>50</i>
3.4.2. <i>Geologia Local</i>	<i>54</i>
3.4.3. <i>Geotecnia.....</i>	<i>60</i>
3.4.3.1. <i>Estudos Geotécnicos do Eixo do Barramento</i>	<i>61</i>
3.4.3.2. <i>Estudos Geotécnicos do Vertedouro</i>	<i>69</i>
3.4.4. <i>Materiais de Empréstimos.....</i>	<i>70</i>

4. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO PROJETO.....	76
4.1. ARRANJO GERAL DAS OBRAS	77
4.2. BARRAGEM PRINCIPAL	77
4.3. VERTEDOURO.....	80
4.4. TOMADA D'ÁGUA E EQUIPAMENTOS HIDROME CÂNICOS	80
4.5. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DAS ESTRUTURAS DA BARRAGEM	81
4.6. FICHA TÉCNICA.....	82
4.7. INTERFERÊNCIA COM INFRAESTRUTURA EXISTENTE	83
4.8. CUSTOS E CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO	83
4.9. VIABILIDADE FINANCEIRA E ECONÔMICA DO PROJETO.....	86
4.9.1. <i>Viabilidade Financeira</i>	86
4.9.2. <i>Viabilidade Econômica</i>	88
4.10. CANTEIRO DE OBRAS.....	91
4.11. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS OBRAS	92
4.12. ORIGEM E QUANTIFICAÇÃO DA MÃO DE OBRA EMPREGADA.....	93
5. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PERTINENTE.....	95
5.1. COMPATIBILIZAÇÃO DO PROJETO COM A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL VIGENTE	96
5.2. COMPATIBILIZAÇÃO DO PROJETO COM PLANOS E PROGRAMAS CO-LOCALIZADOS	115
5.3. INSTITUIÇÕES INTEGRANTES DA MATRIZ INSTITUCIONAL DO PROJETO.....	116
6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	118

SUMÁRIO DE QUADROS

	Páginas
Quadro 2.1 – Características Físicas das Alternativas	24
Quadro 2.2 – Comparação dos Custos.....	26
Quadro 2.3 – Ponderação dos Fatores Locacionais Positivos e Negativos.....	27
Quadro 2.4 - Consolidação da Avaliação Ambiental Empreendida para as Alternativas de Barramento	28
Quadro 3.1 - Dados Físicos da Bacia Hidrográfica da Barragem Poço Comprido	39
Quadro 3.2 – Dados Climatológicos – Estação de Sobral	40
Quadro 3.3 – Precipitações máximas intensas com duração de 6 minutos, 1 hora e de 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.....	41
Quadro 3.4 – Distribuição acumulada da chuva sobre a bacia da Barragem Poço Comprido.....	42
Quadro 3.5 – Vazões Regularizadas para diferentes garantias na simulação da série histórica.....	44
Quadro 3.6 – Cálculo do volume anual regularizado para uma garantia de 90% considerando o reservatório a montante (Carmina)	45
Quadro 3.7 – Resultados dos Estudos de Cheia $Tr=1.000$ anos considerando o reservatório Carmina a montante	47
Quadro 3.8 – Resultados dos Estudos de Cheia $Tr=10.000$ anos considerando o reservatório Carmina a montante	48
Quadro 3.9 – Dados Gerais das Sondagens a Percussão no Eixo do Barramento ...	61
Quadro 3.10 – Dados Gerais das Sondagens Mistas no Eixo do Barramento	63
Quadro 3.11 – Ensaios de Perda d'Água sob Pressão (Lugeon) no Eixo do Barramento	67
Quadro 3.12 – Ensaio de Infiltração no Eixo do Barramento.....	69

Quadro 3.13 – Características das Sondagens Rotativas no Vertedouro	70
Quadro 3.14 - Características das Sondagens Percussivas no Vertedouro	70
Quadro 3.15 – Características das Jazidas de Solos	71
Quadro 3.16 – Características das Pedreiras	72
Quadro 3.17 – Localização, Volumes e Distâncias dos Areais.....	73
Quadro 4.1 - Custos das Obras do Reservatório	84
Quadro 4.2 – Resultados da Avaliação Econômica e Análise de Sensibilidade dos Fluxos Básicos de Custos e benefícios dos Usos Múltiplos da Barragem Poço Comprido.....	90
Quadro 4.3 – Edificações Mínimas no Canteiro de Obras	91
Quadro 4.4 – Quantidade Mínima de Equipamentos Necessários	92
Quadro 4.5 – Quantificação da Mão de Obra Empregada	94

SUMÁRIO DE FIGURAS

	Páginas
Figura 2.1 - Mapa de Localização e Acessos do Projeto.....	19
Figura 2.2- Localização das Alternativas de Eixos Barráveis.....	25
Figura 3.1 - Mapa Planialtimétrico da Bacia Hidráulica.....	35
Figura 3.2 - Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem	37
Figura 3.3 - Mapa Hipsométrico	38
Figura 3.4 - Chuvas intensas espaciais	41
Figura 3.5 - Hietograma para $T_r = 1.000$ anos	43
Figura 3.6 - Hietograma para $T_r = 10.000$ anos	43
Figura 3.7 - Volume anual regularizado para uma garantia de 90% considerando o reservatório Carmina a montante	45
Figura 3.8 - Curva de Probabilidade de Enchimento	49
Figura 3.9 - Mapa Geológico.....	52
Figura 3.10 - A) Granito homogêneo textura equigranular com foliação insipiente na horizontal; B) Fácies um pouco mais porfirítica com fenocristais de k-f, sem foliação.	55
Figura 3.11 - Estereograma da foliação S_n que mostra predomínio de planos subhorizontais no granito equigranular e planos verticais nos gnaisses migmatíticos.	59
Figura 3.12- Estereograma das famílias de fraturas presentes nas rochas do eixo e vertedouro.....	59
Figura 3.13 - Perfil Geológico/Geotécnico do Eixo do Barramento	64
Figura 3.14 – Localização das Áreas de Empréstimo	75
Figura 4.1 – Arranjo Geral das Obras	78
Figura 4.2 – Cronograma Físico-Financeiro de Implantação das Obras	85

SUMÁRIO DE FOTOS

Páginas

Foto 3.1- Caixa de amostragem de solo, evidenciando pouca espessura de regolito na região do eixo (F-34) (E= 354.551,913; N= 9.529.546,728), novembro/2019.....	56
Foto 3.2 - Lajedos de granito maciço próximos à estaca 170. Relevo com blocos e matacões, solo raso por vezes com cascalheira (E=356.824,93; N=9.528.530,097), novembro/2019.	57
Foto 3.3 - Lajedos de granito estaca 165 - rocha maciça exibindo fraturas nas direções 300az e 270az. (E=356.750,143; N=9.528.596,482), novembro/2019.	57
Foto 3.4- Vertedouro: Granito aflorante na forma de lajedos escalonados exibindo foliação subhorizontal Sn 270az/5. Estaca 7 do vertedouro. Rocha sã (E=353.822,942; N=9.530.005,628), novembro/2019.....	60

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O Consórcio IBI/TPF, com sede à Rua Silva Jatahy, 15 – 7º andar, na cidade de Fortaleza-Ceará, contratado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, através do Contrato Nº 009/2019/COGERH/CE, que tem por finalidade a “Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA-RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido, no Município de Santa Quitéria, no Estado do Ceará”.

O objetivo principal consiste na criação de um reservatório no riacho dos Macacos com o intuito de promover o atendimento das demandas de água da região, bem como integrar o sistema de perenização de água da Bacia do Acaraú e combater os efeitos das enchentes em Sobral. Proporcionará ainda, um aproveitamento racional da água acumulada tendo como finalidades o reforço ao abastecimento humano dos núcleos urbanos da região, a perenização de um trecho do riacho dos Macacos, o abastecimento d’água da população ribeirinha e o desenvolvimento da irrigação difusa ao longo do trecho perenizado deste curso d’água, bem como a implementação da piscicultura no lago a ser formado.

As fases para o desenvolvimento do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido são as seguintes:

FASE A – ESTUDOS DE VIABILIDADE, ESTUDOS BÁSICOS E ANTEPROJETO.

ETAPA A1 – ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA A LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM E VIABILIDADE AMBIENTAL

- ✓ Volume 1 - Relatório de Identificação de Obras – RIO
 - Tomo 1 – Estudos de Alternativas de Localização da Barragem
 - Tomo 1A – Desenhos
 - Tomo 2 – Estudos de Viabilidade Ambiental – EVA

ETAPA A2 – ESTUDOS BÁSICOS E ANTEPROJETO DA BARRAGEM

- ✓ Volume 1 – Estudos Básicos
 - Tomo 1 – Relatório Geral
 - Tomo 2 – Cartografia – Textos

- Tomo 2A – Cartografia – Desenhos
- Tomo 2B – Cartografia – Memória de Cálculo
- Tomo 2C – Cartografia – Cadernetas de Campo
- Tomo 3 – Hidrologia – Textos
- Tomo 3A – Hidrologia – Anexos
- Tomo 4 – Geologia e Geotecnia – Textos
- Tomo 4A – Geologia e Geotecnia Anexos
- ✓ Volume 2 – Anteprojeto da Barragem
 - Tomo 1 – Relatório do Anteprojeto da Barragem
 - Tomo 1A – Desenhos e Plantas
 - Tomo 1B – Memória de Cálculos
 - Tomo 1C – Anexos

ETAPA A3 – RELATÓRIO FINAL VIABILIDADE TÉCNICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL.

- ✓ Volume 1 – Relatório Final de Viabilidade

FASE B – ESTUDOS AMBIENTAIS, LEVANTAMENTO CADASTRAL E PLANO DE REASSENTAMENTO.

ETAPA B1 – ESTUDOS DE IMPACTO NO MEIO AMBIENTE EIA/RIMA

- ✓ Volume 1 – Estudo de Impacto Ambiental – EIA
 - **Tomo 1 – Relatório dos Estudos Básicos**
 - Tomo 2 – Relatório do Diagnóstico Ambiental
 - Tomo 3 – Relatório da Identificação, Avaliação e Medidas de Controle e Monitoramento dos Impactos Ambientais
 - Tomo 4 – Relatório do Estudo de Impacto Ambiental - EIA
 - Tomo 5 – Relatório de Impacto no Meio Ambiente - RIMA

- Tomo 6 – Plano de Desmatamento Racional da Bacia Hidráulica

ETAPA B2 – LEVANTAMENTO CADASTRAL E PLANO DE REASSENTAMENTO

- ✓ Volume 1 – Levantamento Cadastral
 - Tomo 1 – Relatório Geral
 - Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação
 - Tomo 3 – Levantamentos Topográficos
- ✓ Volume 2 – Plano de Reassentamento
 - Tomo 1 – Diagnóstico
 - Tomo 2 – Relatório contendo a identificação e seleção de áreas destinadas a relocação da população e levantamento das infraestruturas atingidas
 - Tomo 3 – Relatório do Projeto Básico das Infraestruturas a ser relocadas – Plano de Relocação
 - Tomo 4 – Relatório Final da Relocação, Remanejamento da População e Infraestruturas

FASE C – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

ETAPA C1 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

- Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto
- Tomo 2 – Desenhos
- Tomo 3 – Memória de Cálculo
- Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medição e Pagamento
- Tomo 5 – Quantitativos e Orçamento
- Tomo 6 – Relatório Síntese

ETAPA C2 – INSTRUIR A ELABORAÇÃO DO CERTIFICADO DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE OBRA HÍDRICA – CERTOH

O presente relatório, denominado **Volume I – Estudo de Impacto Ambiental - EIA – Tomo 1 – Relatório dos Estudos Básicos** é parte integrante da **Etapa B1 dos Estudos de Impactos no Meio Ambiente (EIA/RIMA)** do Projeto da Barragem Poço Comprido.

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR E DO CONSÓRCIO RESPONSÁVEL PELO EIA/RIMA

1.1.1. Identificação do Empreendedor

O órgão empreendedor do Projeto da Barragem Poço Comprido é a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, órgão público, inscrito no CGC/MF sob o nº 74.075.938/0001-07, estabelecido à Rua Adualdo Batista, 1550 - Parque Iracema, CEP 60.824-140, no município de Fortaleza, Estado do Ceará, com telefone para contato (85) 3195.0757. Tem como presidente o sociólogo João Lúcio Farias Oliveira.

Os contatos relativos às questões pertinentes ao presente EIA/RIMA junto ao órgão empreendedor deverão ser estabelecidos através da Coordenadoria de Infraestrutura de Recursos Hídricos da SRH/Célula de Controle Socioambiental/Núcleo de Controle Ambiental.

1.1.2. Identificação do Consórcio Responsável pelo EIA/RIMA

O consórcio responsável pela elaboração do presente Estudo de Impacto Ambiental – EIA/RIMA é o IBI-TPF, inscrita no CNPJ sob o nº 32.760.246/0001-58, prestador de serviços na área de recursos hídricos e meio ambiente, com sede à Rua Silva Jatahy, 15 – 7º andar, na cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, com telefone para contato (85) 3198.5010. Tem como responsável legal o Engº. Civil Iuri José Alves de Macedo (CREA nº 13.572/D-CE) e o Eng.º Civil Adonai de Souza Porto (CREA nº 5297/D-CE).

O registro da empresa IBI Engenharia no Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia do Estado do Ceará é o CREA nº 24.288/CE. A empresa TPF Engenharia Ltda é registrada no Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia do Estado de Pernambuco sob o CREA nº 2220488658/2019.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal junto ao IBAMA da IBI Engenharia é a de nº 28.299. Já o Cadastro Técnico desta empresa junto à SEMACE encontra-se com o processo em andamento. Os cadastros técnicos federal e estadual da TPF Engenharia, por sua vez, estão ambos com o processo em andamento junto a estes órgãos.

2. INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO

2. INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO

2.1. HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO

O projeto da Barragem Poço Comprido teve seus primeiros estudos registrados em 1977, estando incluso no escopo dos estudos Elaboração do Plano Diretor Viabilidade Econômica Projeto Básico de Irrigação Detalhamento e Acompanhamento do Vale do Acaraú (DNOCS, 1977), constando em um programa de novos barramentos destinados a complementar as disponibilidades hídricas do sistema do Vale do Acaraú. Estes estudos foram elaborados pela extinta empresa de consultoria SEEBLA – Serviços de Engenharia Emílio Baumgart Engenharia de Projetos para o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS.

A Barragem Poço Comprido consta ainda no Estudo de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba (2000) e Plano Estadual de Recursos Hídricos – PLANERH (2005), os quais apontam a necessidade da construção de um barramento no riacho dos Macacos que permitirá ampliar a capacidade de acumulação da bacia do Acaraú. No PLANERH/2005 o açude Poço Comprido consta dentre a lista de reservatórios planejados com capacidade superior a 10 hm³, tendo como objetivo contribuir para a diminuição das regiões com “vazios hídricos” no Vale do Acaraú.

A bacia hidrográfica do riacho dos Macacos está inserida no sistema de bacia do vale do Acaraú, região que apresenta grande potencial agrícola, mas a escassez de água se constitui fator restritivo na economia local. O governo do Estado, ciente da necessidade de viabilizar sem restrições o desenvolvimento de polo agrícola, tem tratado do tema relativo à oferta d’água para as sedes municipais e áreas rurais.

No médio curso do rio Acaraú, mais especificamente a montante da cidade de Sobral, a confluência dos rios Groaíras, dos Macacos e Jacurutu com o Acaraú, resulta em enchentes que atingem a área urbanizada de Sobral. Como os rios Jacurutu e dos Macacos não são controlados por barramentos, especificamente este último, por ser bastante caudaloso, contribui consideravelmente para o evento acima referido. Daí a importância da Barragem Poço Comprido, que além de controlar as vazões do riacho dos Macacos, ampliará a reserva hídrica de perenização do médio e baixo Acaraú permitindo um fortalecimento da agricultura irrigada na região do projeto de irrigação do Araras e do Baixo Acaraú.

2.2. LOCALIZAÇÃO E ABRANGÊNCIA DA ÁREA DO ESTUDO

A Barragem Poço Comprido será implantada no território da Região Hidrográfica do Acaraú e será formada pelo barramento do riacho dos Macacos, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Santa Quitéria e Hidrolândia.

Partindo de Fortaleza o acesso rodoviário à área do empreendimento é feito através da BR-020, percorrendo-se nesta cerca de 118,0 km até a interseção com a CE-257 na cidade de Canindé. A partir daí toma-se a direção da cidade de Santa Quitéria, seguindo posteriormente pela CE-366, percorrendo cerca de 17,0 km até uma estrada de terra à esquerda, logo após a ponte sobre o riacho dos Macacos. Seguindo esta estrada, percorre-se cerca de 1,0 km para chegar ao local do eixo da barragem.

O acesso aéreo à área do empreendimento pode ser feito através dos aeródromos de Sobral e Tamboril. Partindo de Sobral, o acesso até a cidade de Santa Quitéria pode ser feito por trechos da BR-222, CE-362 e CE-176. Enquanto de Tamboril, o acesso é feito através da CE-176.

O mapa de localização e acessos da área do empreendimento encontra-se apresentado na **Figura 2.1**.

Figura 2.1 - Mapa de Localização e Acessos do Projeto

2.3. OBJETIVOS DO EMPREENDIMENTO

A implantação do Projeto da Barragem Poço Comprido tem como objetivo servir para múltiplos usos, trazendo benefícios a pelo menos três diferentes setores. Primeiramente garantirá o reforço ao abastecimento d'água humano dos núcleos urbanos de Santa Quitéria e Hidrolândia. Será garantido, ainda, o suprimento hídrico da população rural residente ao longo do trecho perenizado do riacho dos Macacos.

A segunda função do reservatório é o desenvolvimento do setor primário, uma vez que será garantido o suprimento hídrico para a exploração com irrigação difusa das áreas ribeirinhas ao longo do trecho perenizado do riacho dos Macacos, atingindo cerca de 200 hectares.

Também será beneficiado o setor da piscicultura extensiva, visto que esta atividade deverá ser implantada no lago formado pelo barramento, resultando no incremento da produção de pescado, ampliando assim as oportunidades de ocupação, renda e oferta de alimentos na região.

Além disto, têm-se como benefícios adicionais para a região o controle dos efeitos das enchentes a jusante, principalmente na cidade de Sobral, e a dessedentação animal.

2.4. JUSTIFICATIVAS SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL

Ao longo dos anos tem-se observado nos núcleos urbanos de Santa Quitéria e Hidrolândia acelerado crescimento populacional, decorrente não só do aumento vegetativo da população como do êxodo rural, contribuindo para acentuar problemas relacionados às deficiências de saneamento básico, que evoluirão para um quadro de degradação socioambiental comparável ao que ocorre noutras localidades do país. Pode-se afirmar que, à medida que ocorre o crescimento destes núcleos urbanos e de alguns distritos, concomitantemente se verifica o sobrecarregamento de suas infraestruturas básicas e o aumento significativo do número de fontes potencialmente poluidoras dos recursos hídricos e de casos de doenças de veiculação hídrica.

Com efeito, o quadro de urbanização que se configura remete ao aumento da demanda por água potável, com conseqüente sobrecarga sobre o sistema de abastecimento de água em operação. Faz-se necessário, portanto, a execução de investimentos na implementação de

obras de ampliação e melhorias do sistema de abastecimento d'água destes núcleos urbanos, o que contribuirá para o aumento da demanda por recursos hídricos e, conseqüentemente, por uma fonte hídrica segura, que garanta o suprimento mesmo durante os períodos de estiagens prolongadas. A Barragem Poço Comprido certamente sanará, em parte, o problema de saneamento básico vigente já que será fornecida à população água em quantidade e qualidade adequadas.

Com relação aos aspectos sociais, a ausência ou deficiência de suprimento de água potável tem reflexos negativos sobre saúde pública contribuindo para a disseminação de doenças de veiculação hídrica, dado o contato ou consumo de água poluída. Contribui, ainda, para o aumento das taxas de mortalidade, principalmente a infantil, e do número de crianças com retardo de crescimento.

A garantia de oferta d'água tem, ainda, um forte impacto positivo sobre o desenvolvimento econômico dos núcleos urbanos possibilitando a ampliação do sistema de abastecimento d'água. Com efeito, o fornecimento de água regularizado é condição imprescindível para a implantação de determinados tipos de empreendimento. Tal impacto tem reflexos positivos sobre a geração de empregos e renda, bem como sobre a arrecadação tributária.

A zona rural da região, conta com solos propícios para o cultivo agrícola, todavia padece com os graves efeitos socioeconômicos decorrentes das estiagens prolongadas que assolam o seu território. Constata-se que o suprimento hídrico de muitas áreas vem se apresentando deficitário, com os cursos e mananciais d'água vulneráveis às estiagens, havendo riscos de colapsos parciais ou integrais de seus mananciais hídricos. Além disso, a escassez de recursos hídricos trava o desenvolvimento econômico, contribuindo para o crescente êxodo rural que assola a região.

Neste contexto, o projeto da Barragem Poço Comprido tem como objetivo geral garantir a oferta de água nesta região do território estadual. Mais especificamente a implementação da referida barragem visa:

- Garantir o suprimento hídrico das cidades de Santa Quitéria e Hidrolândia, através da implantação de adutoras;
- Garantir o suprimento hídrico de uma parcela representativa das populações difusas do meio rural e de pequenos aglomerados urbanos, que atualmente são

abastecidos com carros-pipas ou fazem uso de fontes hídricas de qualidade duvidosa;

- Permitir, a liberação de vazões regularizadas para o trecho do riacho dos Macacos posicionado a jusante deste manancial hídrico, permitindo o suprimento hídrico da população ribeirinha de jusante, a dessedentação animal, o desenvolvimento da irrigação difusa e o desenvolvimento da pesca no lago formado, contribuindo para a geração de empregos e rendas estáveis e para fixação do homem no campo;
- Contribuir para amenizar as cheias no rio Acaraú, principalmente as que assolam a cidade de Sobral.

Em termos ambientais será criado um novo habitat para a fauna aquática e será garantido o fornecimento d'água para a fauna durante os períodos de estiagens. As perdas resultantes das degradações impostas pela implantação do empreendimento também poderão ser parcialmente compensadas pela criação e/ou apoio a unidades de conservação existentes na região. As medidas mitigadoras e de controle ambiental a serem previstas no presente estudo, também, contribuirão com diversos mecanismos de proteção do meio natural, tais como o desmatamento racional/manejo da fauna das áreas das obras e da bacia hidráulica do reservatório, a execução da recuperação das áreas degradadas (canteiro de obras e jazidas de empréstimo), o reflorestamento da faixa de preservação do futuro reservatório, o monitoramento da qualidade da água represada e o programa de educação ambiental, dentre outros.

Diante do exposto nos parágrafos anteriores, pode-se afirmar que a implantação da Barragem Poço Comprido é condição imprescindível não só para a manutenção da qualidade de vida da população da região, como também para o desenvolvimento das atividades econômicas garantindo a fixação do homem no campo e reduzindo o êxodo rural.

2.5. ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E TECNOLÓGICAS PRECONIZADAS

Para realizar a escolha das alternativas locacionais dos eixos da barragem Poço Comprido, a ser construída no riacho dos Macacos, foram utilizadas as cartas da EMBRAPA/IBGE SRAM/CEARA- SB-24V-B e SB-14V-D na escala de 1:250.000, com curvas de nível a cada metro.

Além disto, foram efetuadas visitas de campo ao longo do riacho dos Macacos, com o objetivo de examinar o entorno da região onde será feito o barramento. Com as visitas técnicas realizadas identificou-se o eixo que foi objeto de estudos do DNOCS (1977), correspondente ao Eixo I. Também foram identificados dois outros possíveis locais de barramento, denominados de Eixo II e Eixo III, sendo os mesmos implantados em campo, através da topografia clássica. As três alternativas de eixos barráveis são descritas a seguir:

- Alternativa Eixo I – Este eixo apresenta comprimento da ordem de 3.422 m. Se inicia pela ombreira esquerda com cotas em torno de 190 m, percorre 1.000 m até chegar ao leito do riacho dos Macacos, e prossegue por mais 2.400 m com suave inclinação até alcançar, já próximo à rodovia CE-366, a cota de 187 m em sua ombreira direita. Possui uma bacia hidráulica com aproximadamente 25.470.564 m² e uma capacidade de acumulação de 186 hm³;
- Alternativa Eixo II – Com uma bacia hidráulica de área de 20.640.904 m² e uma capacidade de acumulação de 188 hm³, este eixo está posicionado a montante da confluência do riacho dos Macacos com o riacho da Carnaúba, medindo em torno de 2.700 m de extensão. Esse eixo é bastante semelhante ao eixo I, principalmente nas suas ombreiras de características idênticas, como também no seu leito, onde além de ocorrerem afloramentos rochosos com a mesma litologia, também, encontram-se aluviões significativos compostos por areia;
- Alternativa Eixo III – Este eixo está situado a cerca de 13.500 m a montante do eixo I e margeando a CE-257, que liga a cidade de Santa Quitéria a Hidrolândia, tem uma extensão em torno de 3.190 m. Do ponto de vista geológico e relevo, o mesmo possui características semelhantes aos eixos I e II. Tem uma capacidade de acumulação de 239 hm³ e uma bacia hidráulica de cerca de 30.141.923 m².

A **Figura 2.2** exhibe as localizações das alternativas de barramento do riacho dos Macacos e o **Quadro 2.1** apresenta as principais características das alternativas de barramentos estudadas.

Quadro 2.1 – Características Físicas das Alternativas

Características Gerais	Eixo I	Eixo II	Eixo III
Rio Barrado	Riacho dos Macacos	Riacho dos Macacos	Riacho dos Macacos
Capacidade de Acumulação: (cota da soleira)	186,083hm ³	188,120hm ³	239,32hm ³
Volume de Regularização	54,4 hm ³ /ano	47,5 hm ³ /ano	45,9 hm ³ /ano
Área da Bacia Hidráulica	25.470.564 m ²	20.640.904m ²	30.141.923m ²
Área da Bacia Hidrográfica	1469,27Km ²	1283,11Km ²	1235,69Km ²
Características do Maciço			
Tipo	solo	solo	solo
Cota do coroamento (m)	187	192	216
Cota da sangria (m)	181	187	211
Largura do coroamento (m)	8	8	8
Altura máxima (m)	31	28	35
Talude de Montante	3(H):1 (V)	3(H):1 (V)	3(H):1 (V)
Talude de Jusante	2,5(H):1 (V)	2,5(H):1 (V)	2,5(H):1 (V)
Características do Vertedouro			
Tipo	Creager	Creager	Creager
Localização	Central, entre as estacas 230 a 242	Central, entre as estacas 88 a 100	Central, entre as estacas 293 a 305
Comprimento (m)	240	240	240
Descarga Total de Projeto (Milenar):	1.200m ³ /s	1.200m ³ /s	1.200m ³ /s
Lâmina Máxima Adotada hidráulicamente (m)	1,84m	1,84m	1,84m
Cota da soleira do vertedouro (m)	181	187	211
Tipo de canal de restituição	Rápido em degraus em concreto estrutural	Rápido em degraus concreto estrutural	Rápido em degraus em concreto estrutural
Tipo de dissipação	Bacia de dissipação	Bacia de dissipação	Bacia de dissipação
Características da Tomada d'Água			
Tipo	galeria	galeria	galeria
Diâmetro	2*1500mm	2*1500mm	2*1500mm
Comprimento (m)	185	179	202
Descarga regularização média:	9,20m ³ /s	9,20m ³ /s	9,20m ³ /s
Cota de assentamento (m)	164m	169m	189m
Quantidades da Obra			
Volume de terra compactada(m ³)	4.661.759,07	2.182.295,89	5.947.476,14
Volume de escavação vetedouro(m ³)	1.164.000,00	582.000,00	1.047.600,00

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Volume 1 – Relatório de Identificação de Obras – RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA. TOMO 1 – Estudos de Alternativas de Localização da Barragem. Fortaleza, IBI/TPF, 2019.

Figura 2.2- Localização das Alternativas de Eixos Barráveis

Os custos de implantação das três alternativas se apresentam similares, com variações não maiores do que 10%, com referência ao custo do volume d'água represado e do volume afluente da regularização (**Quadro 2.2**).

Quadro 2.2 – Comparação dos Custos

Discriminação	Eixo I	Eixo II	Eixo III
Custo Total da Barragem (R\$)	205.431.741,94	193.135.479,03	268.253.108,46
Volume de Acumulação (m ³)	186.083.000	188.120.000	239.320.000
Custo do m ³ de água armazenada (R\$)	1,10	1,03	1,12
Custo da Regularização (R\$/m ³ /ano)	3,78	4,07	5,84

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Volume 1 – Relatório de Identificação de Obras – RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA. TOMO 1 – Estudos de Alternativas de Localização da Barragem. Fortaleza, IBI/TPF, 2019.

Com relação às adutoras para abastecimento hídrico dos núcleos urbanos de Santa Quitéria e Hidrolândia, uma análise comparativa entre as alternativas indica o Eixo III como mais vantajoso, tendo o traçado das adutoras margeando a CE-257 por uma distância de 16 e 12 km, respectivamente. Para as alternativas I e II do barramento, as extensões das adutoras partindo destes eixos serão de 23 km, para Hidrolândia, e de 19 km para Santa Quitéria.

Visando a seleção da melhor alternativa para o barramento do Açude Poço Comprido foi efetuada uma análise dos fatores técnicos, ambientais e locais positivos e negativos referentes às alternativas de barramento, tendo-se avaliado preliminarmente, à luz das informações atualmente disponíveis, qual delas seria a mais viável para elaboração do projeto (**Quadro 2.3**).

Quadro 2.3 – Ponderação dos Fatores Locacionais Positivos e Negativos

DESCRIÇÃO	EIXO I	EIXO II	EIXO III
Fatores Positivos			
Proximidade do centro consumidor	3	3	3
População beneficiada	3	3	3
Facilidades de adução	2	2	3
Possibilidade de irrigação	3	3	3
Condições geológicas e geotécnicas do local do barramento	3	3	3
Morfologia do boqueirão	2	3	2
Existência de jazidas de materiais para construção	3	3	2
Escore Positivo Total	19	20	19
Fatores Negativos			
População atingida com a formação do lago	-1	-1	-1
Benfeitorias e terras a serem indenizadas	-2	-2	-3
Infraestruturas públicas a serem realocadas	-1	-4	-1
Qualidade das terras a serem cobertas	-1	-1	-1
Condições geológicas e geotécnicas do local do barramento	-1	-2	-2
Dificuldade de exploração das jazidas	-1	-1	-2
Custo das obras	-1	-1	-2
Escore Negativo Total	-8	-12	-12
Escore Total	11	8	7

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Volume 1 – Relatório de Identificação de Obras – RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA. TOMO 1 – Estudos de Alternativas de Localização da Barragem. Fortaleza, IBI/TPF, 2019.

Tal análise abrangue a ponderação de alguns fatores, de forma qualitativa, com a criação de pesos proporcionais para cada condição dos eixos, para avaliação de cada fator, de forma a permitir a quantificação final, possibilitando a escolha da melhor alternativa. Conforme o resultado da ponderação entre fatores positivos e negativos, o Eixo I apresenta-se como o local mais adequado para abrigar o eixo da Barragem Poço Comprido.

Em termos ambientais, o Estudo de Viabilidade Ambiental – EVA elaborado para o projeto selecionou como fatores relevantes na avaliação das alternativas de eixos barráveis da Barragem Poço Comprido, aqueles relativos aos danos à flora e à fauna das áreas das

bacias hidráulicas, interferências em estruturas de uso público, contingente populacional desalojado e áreas de mineração requeridas junto à ANM associados a cada alternativa proposta.

Como conclusão, a avaliação ambiental empreendida para as três alternativas de barramento propostas para a Barragem Poço Comprido indica que a Alternativa I foi a que ficou melhor situada, tendo atingido apenas 17 pontos. A Alternativa II obteve 19 pontos ficando na segunda colocação, enquanto a Alternativa III apresentou o pior escore, tendo atingido 21 pontos. O **Quadro 2.4** apresenta a consolidação da pontuação atribuída às alternativas de barramento estudadas.

Quadro 2.4 - Consolidação da Avaliação Ambiental Empreendida para as Alternativas de Barramento

Alternativas	Critérios de Avaliação					Total
	Danos à Flora e à Fauna	Interferência em Infraestruturas de Uso Público	Contingente Populacional a ser Desalojado	Áreas de Mineração Requeridas	Risco Sísmico/Custos de Implantação da Obra	
Eixo I	3	5	3	1	5	17
Eixo II	3	7	3	1	5	19
Eixo III	5	1	1	6	8	21

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Volume 1 – Relatório de Identificação de Obras – RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA. TOMO 2 – Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA. Fortaleza, IBI/TPF, 2019.

A Alternativa Eixo III apresentou como principais fatores negativos a sua implantação, o requerimento de desmatamento de extensas áreas, com consequentes danos a flora e a fauna; a submersão de maiores extensões de áreas requeridas para mineração, com o agravante de parte destas serem relativas a um metal pesado de elevado potencial poluidor – no caso o chumbo e o posicionamento de epicentros de sismos muito próximos do eixo do barramento nesta alternativa contribuindo sobremaneira para elevação dos custos de implantação das obras.

Por fim, foram estudadas alternativas técnicas para capacidade do reservatório e de seção tipo para o maciço, tendo como condicionantes mais relevantes os aspectos topográficos e

hidrológicos da região. Mediante a comparação entre estas alternativas foi determinada a solução ótima de barramento do rio no ponto escolhido para a construção da barragem.

Para efeito de análise comparativa, foram avaliadas duas opções do tipo de barragem: – Opção 1: barragem do tipo terra zoneada com sangradouro escavado em rocha e soleira tipo Creager; – Opção 2: barragem do tipo mista, ou seja, parte a ser construída em terra zoneada e uma segunda parte em concreto compactado a rolo, onde também ficaria localizado o vertedouro. Para a primeira opção em terra zoneada foram definidas três condições de capacidade de acumulação do reservatório: 201,19, 260,61 e 329,59 hm³. Para a opção da barragem mista foi definida a condição apenas para a capacidade de 329,59 hm³. Para o trecho em CCR, foram adotadas dimensões compatíveis com o porte da obra tomando como base a experiência de obras similares.

Portanto, com base nas duas opções de barragens avaliadas cruzadas com as possíveis capacidades de reservatórios elencadas anteriormente, foram apontadas possíveis alternativas para estudo e escolha da solução ótima, a saber:

- Alternativa 1: barragem do tipo terra zoneada e com sangradouro escavado em rocha e soleira tipo Creager, cota de sangria = 182,0m e cota de coroamento = 189,0m;
- Alternativa 2: barragem do tipo terra zoneada e com sangradouro escavado em rocha e soleira tipo Creager, cota de sangria = 180,0m e cota de coroamento = 187,00m;
- Alternativa 3: barragem do tipo terra zoneada e com sangradouro escavado em rocha e soleira tipo Creager, cota de sangria = 178,0m e cota de coroamento = 185,00m;
- Alternativa 4: barragem do tipo mista, ou seja, parte a ser construída em terra zoneada e uma segunda parte em CCR, cota de sangria = 182,0m e cota de coroamento = 189,0m.

Para efeito comparativo entre as alternativas foram avaliados os seguintes elementos: tamanho e forma do boqueirão, acumulação de água, disponibilidade dos materiais

construtivos, características do subsolo e facilidades construtivas, interferências regionais e orçamentos.

A seção alternativa que se mostrou mais apropriada técnica e economicamente foi a Alternativa 1, a qual consiste em uma barragem do tipo terra zoneada com sangradouro escavado em rocha e soleira tipo Creager, cota de sangria = 182,0m e cota de coroamento = 187,0m. Neste caso, a capacidade do reservatório é da ordem de 186,08 hm³, inundando uma área de 2.547,05 ha. A obra necessitará de recursos da ordem de R\$ 205.431.741,94.

3. ESTUDOS BÁSICOS

3. ESTUDOS BÁSICOS

3.1. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS

Os serviços realizados na área de implantação do empreendimento constaram de levantamentos aerofotogramétricos e topográficos, visando a obtenção de plantas em escala compatível com o grau de detalhamento desejado, e a execução de levantamentos planialtimétricos.

O levantamento cartográfico da bacia hidráulica do reservatório abrangeu uma área de 141 km² e foi executado mediante imageamento por satélite de alta resolução, geração de Modelo Digital de Terreno (MDT), e extração de curvas de nível com equidistância de 2 (dois) metros, com precisão cartográfica compatível com escala 1:5.000 segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Classe “A”.

Constam ainda, entre os produtos gerados a partir do processo de imageamento por satélite destinado à delimitação da bacia hidráulica, uma coleção das imagens de satélite com as curvas de nível (equidistância de 2 metros) e pontos cotados, com a altimetria devidamente identificada e rotulada, sobrepostos às imagens, na escala de 1:5.000; uma coleção de cartas planialtimétricas com curvas de nível com equidistância de 2 metros na escala de 1:5.000; Modelo Digital de Terreno (MDT) em formato GeoTIFF, em projeção UTM datum SIRGAS2000; Plantas e mapas em meio digital no formato AUTOCAD e ESRI ARCGIS; Pontos de controle levantados em campo, arquivos RINEX, acompanhado de relatório incluindo croqui e foto de cada ponto.

Por fim, o trabalho consistiu, basicamente, em 07 (sete) etapas distintas: 1) Recebimento dos dados; 2) Planejamento do Levantamento de Campo; 3) Levantamento de Campo; 4) Processamento das Imagens (Geração do Modelo Digital de Superfície - MDS, Ortorectificação e Geração de Mosaico); 5) Conversão de MDS para MDT (Modelo Digital de Terreno); 6) Extração e Correção Topológica das Curvas de Nível e 7) Controle de Qualidade dos Dados.

3.2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os estudos topográficos levantados na região do eixo da barragem, das alternativas de vertedouro e localização das jazidas indicadas para o projeto compreendem as seguintes etapas: Transporte de coordenadas; Transporte das cotas geográficas; Levantamento das

seções do eixo a ser barrado; Levantamento das seções do eixo das opções de vertedouro; Levantamento das jazidas indicadas para o projeto.

A metodologia utilizada para o transporte de coordenadas, do eixo da barragem Poço Comprido foi a IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso ou Posicionamento Absoluto Preciso), que é um serviço on-line gratuito para o pósprocessamento de dados GPS (Global Positioning System). Ele permite aos usuários de GPS, obterem coordenadas de boa precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e no International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

Para o Levantamento de campo foi utilizado equipamento tipo GPS RTK (REAL TIME CENTIMETRO), tendo sido corrigida a coordenada e cota da Base pelo PPP (Posicionamento por Ponto Preciso, do IBGE). O equipamento utilizado foi GPS TOPOMAP. T.10, com precisões Horizontal de 5 mm e Vertical de 10 mm.

Os levantamentos topográficos do eixo barrável, do sangradouro e das jazidas foram executados através de processos convencionais, constando dos serviços abaixo discriminados:

Levantamento da Área do Eixo e Sangradouro

O levantamento da área da barragem teve como base o levantamento de dois eixos, o primeiro a ser levantado foi o eixo da barragem. O estaqueamento iniciou na ombreira esquerda na estaca 0 e terminou na estaca 191+18,53, perfazendo um total de 3.838,53m.

O segundo eixo levantado foi da primeira alternativa de sangradouro, que foi dividido em dois trechos montante e jusante, o montante com extensão de 860,0m e o de jusante 980,0m. A segunda alternativa do sangradouro faz parte do levantamento do seccionamento do eixo da barragem, não sendo assim necessário seu levantamento em duplicidade.

Ao longo de todo eixo da barragem, os pontos no eixo barrável foram estaqueados, numerados e cotados a cada 20 metros, tendo sido implantadas estacas intermediárias indicando elementos importantes como talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc.

O levantamento das seções transversais do eixo barrável, abrangeu uma faixa de domínio de 150 metros a montante e a jusante do referido eixo. Tendo sido levantadas seções

transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada. Os pontos foram estaqueados, numerados e cotados a cada 20 metros, tendo sido implantadas estacas intermediárias indicando elementos importantes.

Para o eixo da barragem foram executadas 191 seções de levantamento, com total levantado de 57.300 m.

O levantamento dos eixos longitudinal e transversal do vertedouro obedeceu à sistemática descrita anteriormente, sendo que as seções foram prolongadas a montante, até a cota fixada para soleira, e a jusante. O levantamento até o leito do rio foi feito acompanhando o canal de sangria, através de poligonais seccionadas a cada 20 metros, com 150 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros.

Para o eixo do vertedouro foram executadas 100 seções de levantamento, com total levantado de 30.000 m.

Levantamento das Áreas de Jazidas

O levantamento planimétrico das jazidas, foi realizado nas áreas de ocorrências de materiais identificadas pela equipe de geotécnica, materiais estes que serão utilizados na construção da barragem. Através do transporte de coordenada todos os furos foram levantados e a poligonal de cada jazida foi amarrada ao eixo da barragem. Todos os poços escavados na investigação das jazidas foram locados, nivelados, numerados e referenciados topograficamente. Foram locadas 14 jazidas de material areno-argiloso, 4 areais no leito do riacho dos Macacos, uma jazida de cascalho e 3 pedreiras.

Para o caso específico da jazida de areia, foram levantados topograficamente todos os 61 pontos de prospecção feito ao longo do riacho dos Macacos. Tendo sido realizado levantamento de 28 km ao longo do rio, sendo feito furos a cada 500m.

Os estudos topográficos desenvolvidos permitiram a geração das plantas baixas do boqueirão e do sangradouro, bem como de seus perfis longitudinais e do mapa planialtimétrico da bacia hidráulica do reservatório, podendo este último ser visualizado na **Figura 3.1.**

Figura 3.1 - Mapa Planialtimétrico da Bacia Hidráulica

3.3. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

3.3.1. Generalidades

Os estudos hidrológicos realizados objetivaram fornecer informações e elementos relativos aos aspectos fisiográficos e hidroclimatológicos da bacia de contribuição da Barragem Poço Comprido, necessários ao desenvolvimento do projeto de engenharia, com vistas ao dimensionamento do reservatório a ser implantado e das estruturas hidráulicas de descarga. Os estudos hidrológicos desenvolvidos permitiram:

- Estimar as cheias afluentes e efluentes à barragem, com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, caracterizadas por suas grandes magnitudes, sendo de especial importância a sua determinação para a segurança das obras;
- Estimar a capacidade de regularização da barragem para uma garantia anual de 90%.

3.3.2. Caracterização da Bacia Hidrográfica

Por definição, uma bacia hidrográfica é determinada espacialmente por divisores topográficos (cotas elevadas), de forma que a água, precipitada internamente nesses divisores, obrigatoriamente irá escoar através da sua seção exutória. Para a delimitação da bacia, se faz necessário o conhecimento prévio do relevo ou topografia da região.

Para esta avaliação morfológica do local de estudo, utilizou-se a imagem de um modelo digital de elevação (MDE) derivado da imagem SRTM, em escala 1:250.000, com curvas de nível a cada 30 metros.

Na **Figura 3.2** são apresentados o traçado da bacia e a rede de drenagem classificada segundo o critério de Strahler (1952). Na **Figura 3.3** tem-se ilustrado o mapa hipsométrico da área de estudo em conformidade com os limites hidrográficos estabelecidos.

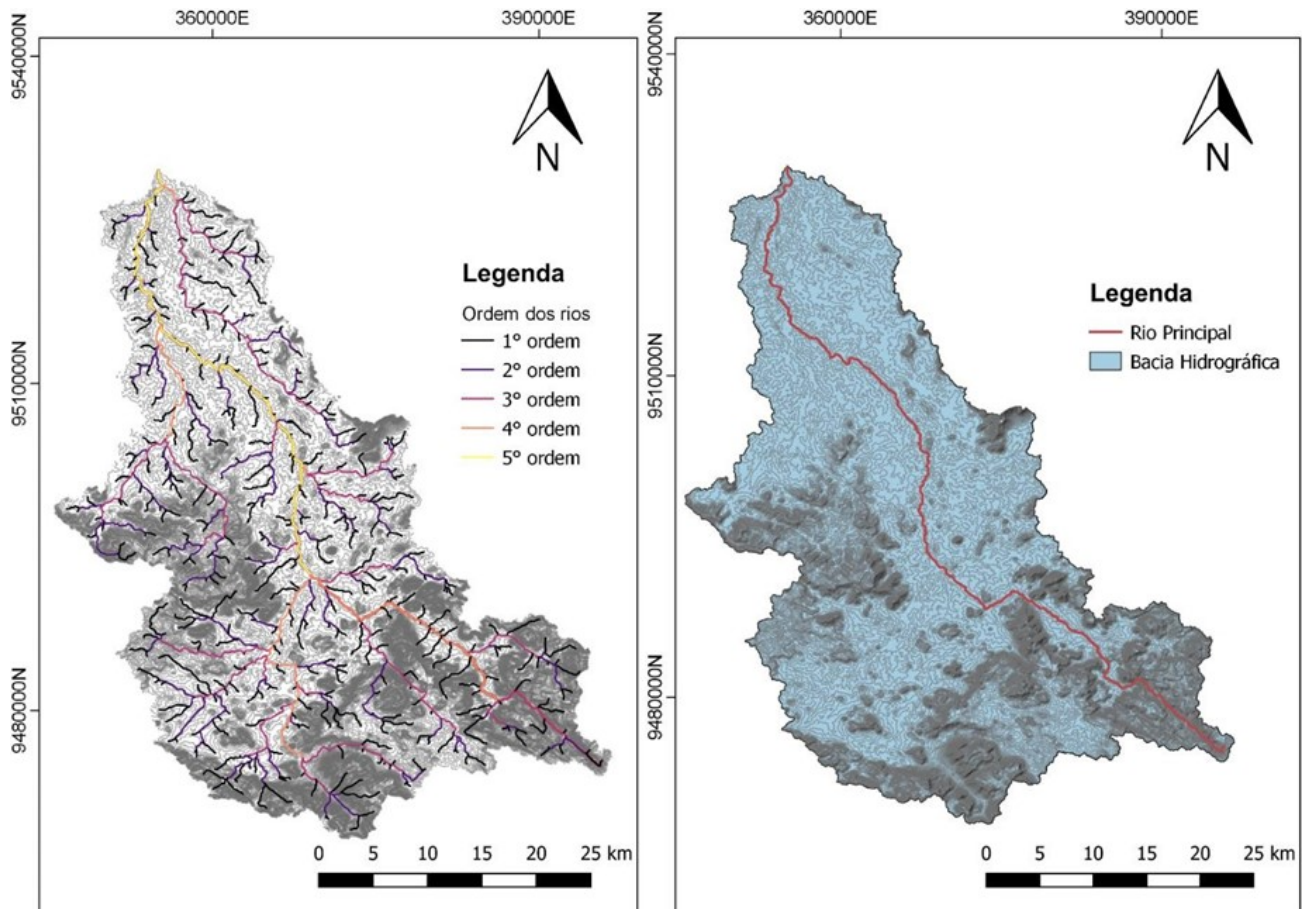


Figura 3.2 - Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem

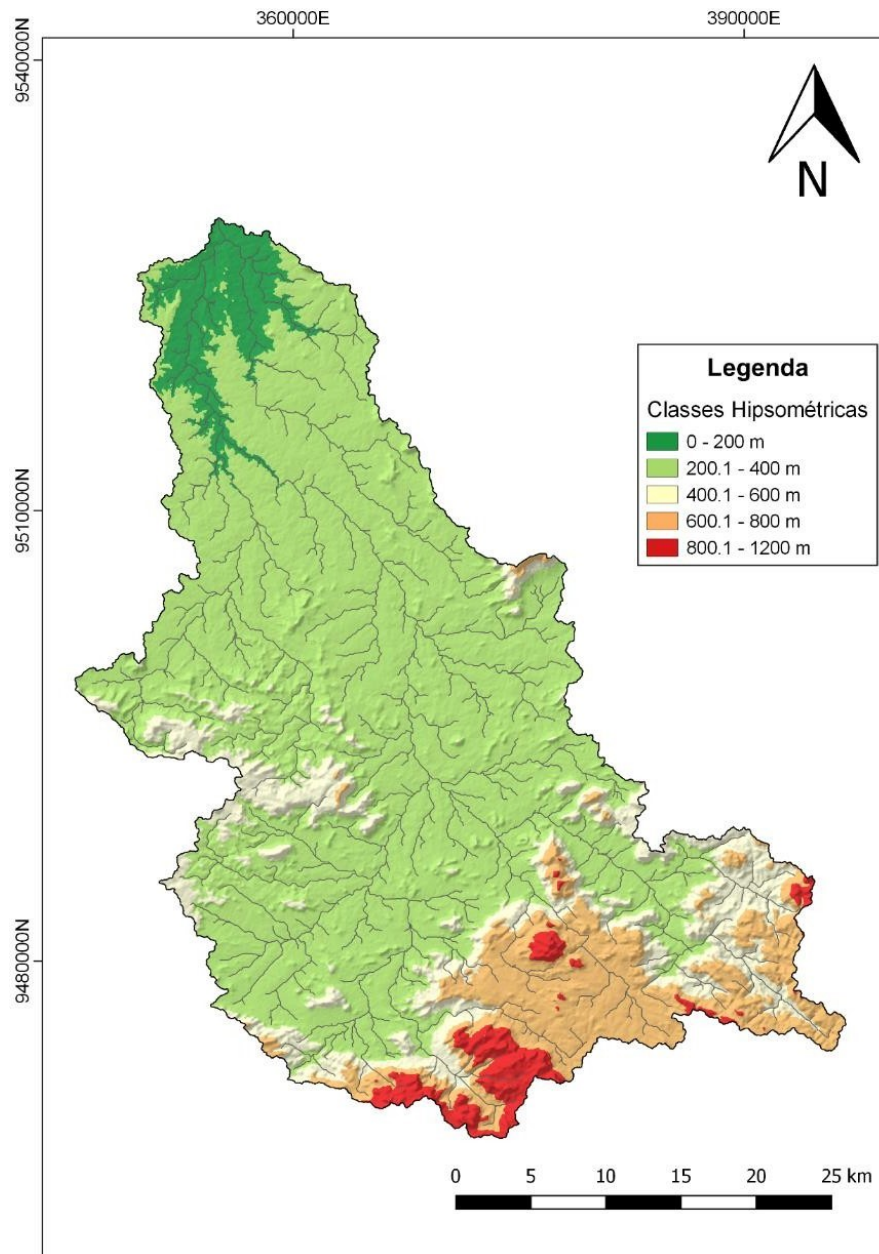


Figura 3.3 - Mapa Hipsométrico

A bacia de contribuição traçada para a Barragem Poço Comprido apresenta uma área de abrangência de 1.461,20 km² e um perímetro de 283,95 km. Possui ainda um comprimento do curso principal de 91,88 km, para um desnível de 530 metros, resultando numa declividade média de 6,0 m/km. No **Quadro 3.1** é apresentado o resumo das características físicas da bacia.

Quadro 3.1 - Dados Físicos da Bacia Hidrográfica da Barragem Poço Comprido

Área da bacia Hidrográfica (Km ²)	Perímetro da bacia Hidrográfica (Km)	Comprimento do Rio (km)	Cota do Talvegue à montante (m)	Cota do Talvegue à jusante (m)	Diferença de Nível (m)	Declividade Média (m/km)
1.461,20	283,95	91,88	690	160	530	6

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 3 – Hidrologia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

As características físicas e morfológicas de uma bacia hidrográfica têm grande importância em seu comportamento hidrológico, existindo uma correlação entre o regime hidrológico e estes elementos que permitem conhecer a variação no espaço do regime hidrológico.

Estas características podem afetar variáveis como o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua no seu exutório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia.

Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando-a relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto que o fator de forma com o retângulo. Para a Barragem Poço Comprido foram obtidos os seguintes dados: Fator de Compacidade – 2,08; Fator de Forma – 0,33; e Tempo de Concentração – 23,48 horas.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica mostra-se pouco suscetível à enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, pelo fato de o coeficiente de compacidade apresentar o valor afastado da unidade. O fator de forma apresentou um valor baixo, caracterizando a bacia com uma forma mais alongada.

3.3.3. Caracterização Climatológica

A abordagem da climatologia visa caracterizar a área de estudo nos seus mais variados elementos hidro-meteorológicos. Para caracterizar a hidroclimatologia da região, foi considerada representativa a estação de Sobral - 82392 (estação disponível mais próxima da área de estudo).

A caracterização hidroclimatológica da zona é feita utilizando-se as normais climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2018), as quais foram obtidas a partir do monitoramento das variáveis de interesse durante os anos de 1981 a 2010, em conjunto com os dados obtidos na plataforma de coleta de dados supracitada no período de janeiro de 1961 a abril de 2019, empregados no cálculo da evapotranspiração pelo método do Penman-Monteith-FAO56 e pela equação de Hargreaves.

No **Quadro 3.2** são apresentados os valores médios de temperatura, umidade relativa, insolação total, nebulosidade e evaporação total da região da bacia hidrográfica.

Quadro 3.2 – Dados Climatológicos – Estação de Sobral

INDICADOR	MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura	MÁXIMA	34,0	32,6	31,8	31,3	31,7	32,6	33,9	35,4	36,4	36,6	36,5	35,9
	MÍNIMA	23,2	22,8	22,7	22,7	22,2	21,2	21,1	21,3	22,1	22,5	22,8	23,2
Umidade Relativa	(%)	71,3	79,0	84,9	85,9	82,0	73,9	67,0	59,3	56,8	56,2	58,0	63,7
Insolação total	Horas	191,9	169,8	171,3	177,6	206,8	218,1	243,8	277,8	273,5	280,7	253,7	242,4
Nebulosidade	Décimos	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,50	0,40	0,40	0,30	0,40	0,40	0,40
Evaporação total	mm	193,3	114,4	87,7	69,9	91,5	142,5	203,2	268,5	297,9	309,0	293,8	272,0

FONTE: INMET (2018).

No estudo de chuvas intensas na região do projeto com vistas ao fornecimento de elementos indispensáveis para o dimensionamento do vertedouro e para determinar a disponibilidade hídrica do reservatório, foi adotado o Método das Isozonas (Taborga Torrico, 1975). O método tem por base o uso de "Isozonas", nas quais as relações entre as alturas de chuva de 1 hora e 24 horas e 6 minutos e 24 horas são constantes para um dado período de retorno.

A fim de obter as precipitações máximas de 24h e de 1h de duração sobre a bacia, foram utilizadas as áreas dos polígonos de Thiessen. Assim, foram calculadas as chuvas de 24h e de 1h de duração ponderadas pelas áreas de influência de cada posto para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos. Os resultados estão dispostos no **Quadro 3.3**.

Quadro 3.3 – Precipitações máximas intensas com duração de 6 minutos, 1 hora e de 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos

Tr (anos)	Precipitação máxima (mm)		
	P24h	P1h	6min
1 000	219,91	89,94	24,63
10 000	266,25	105,43	29,82

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 3 – Hidrologia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas para a bacia da Barragem Poço Comprido podem ser observada na **Figura 3.4**.

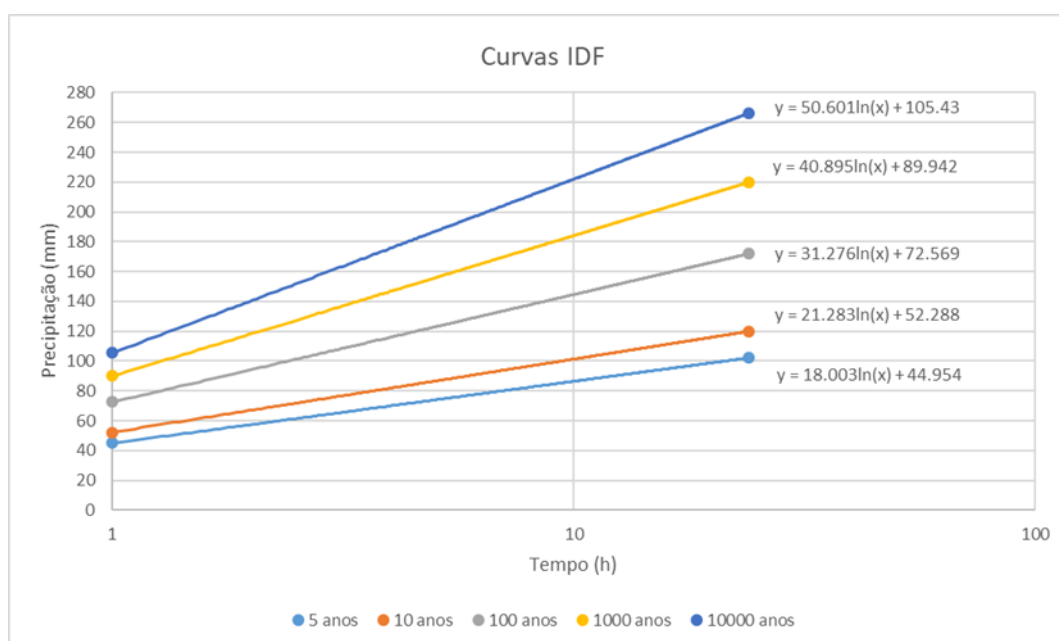


Figura 3.4 - Chuvas intensas espaciais

Para o desenvolvimento da cheia de projeto, dois parâmetros devem ser estimados: a duração da chuva e o intervalo de tempo para cada incremento de chuva. A duração da chuva deve ser, no mínimo, igual ao tempo de concentração da bacia. O tempo de concentração da bacia da Barragem Poço Comprido é igual a 23,5 horas, valor assumido equivalente à duração da chuva de projeto. O **Quadro 3.4** exibe a distribuição acumulada da precipitação máxima sobre a área da bacia da Barragem Poço Comprido, obtida através da interpolação logarítmica entre os valores da chuva de 24h e de 1h de duração exibidos anteriormente no Quadro 3.3.

Quadro 3.4 – Distribuição acumulada da chuva sobre a bacia da Barragem Poço Comprido

Duração da chuva	Precipitação(mm)	
	Tr = 1.000	Tr = 10.000
1	89,94	105,43
2	118,29	140,51
3	134,87	161,02
4	146,63	175,58
5	155,76	186,87
6	163,22	196,10
7	169,52	203,90
8	174,98	210,66
9	179,80	216,62
10	184,11	221,95
11	188,00	226,77
12	191,56	231,17
13	194,83	235,22
14	197,87	238,97
15	200,69	242,46
16	203,33	245,73
17	205,80	248,80
18	208,14	251,69
19	210,35	254,43
20	212,45	257,02
21	214,45	259,49
22	216,35	261,84
23	218,17	264,09
23.5	219,04	265,17
24	219,91	266,25

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 3 – Hidrologia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Para a Barragem Poço Comprido, a duração da chuva em função do tempo de concentração da bacia foi calculada em aproximadamente 23,5 horas, sendo a chuva

milenar de 219,04 mm e a decamilenar de 265,17 mm. As **Figuras 3.5 e 3.6** mostram a chuva balanceada milenar e decamilenar.

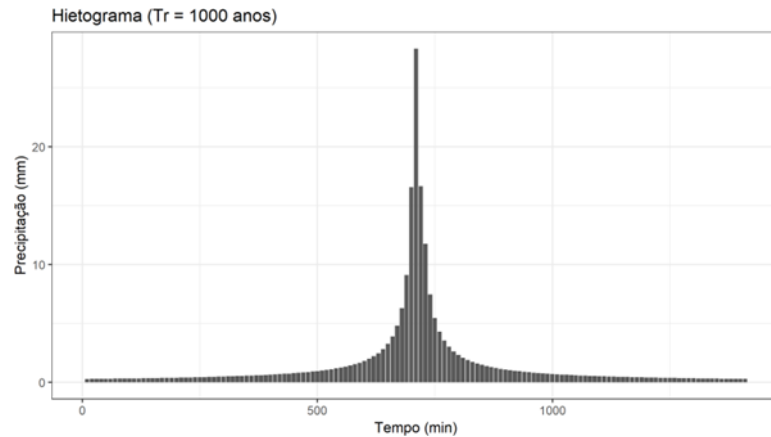


Figura 3.5 - Hietograma para Tr = 1.000 anos

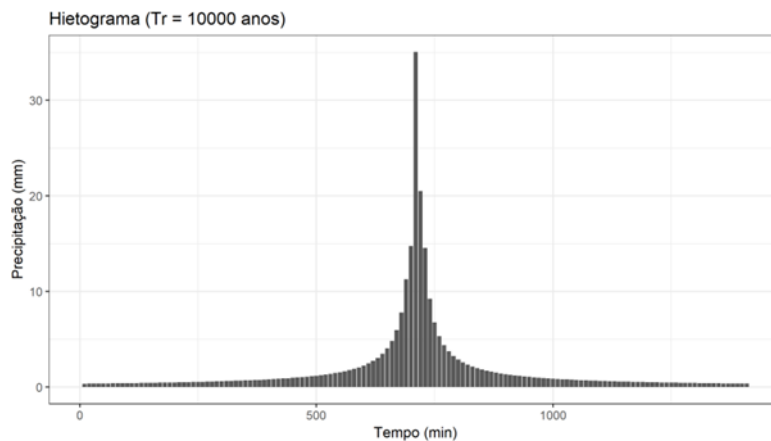


Figura 3.6 - Hietograma para Tr = 10.000 anos

Com relação ao estudo do regime fluvial do rio na Barragem Poço Comprido foi utilizado como fonte de dados fluviométricos o Banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas. Nessa base de dados foram identificados diversos postos próximos à bacia hidrológica, sendo selecionado para continuidade dos estudos o posto Trápia (35240000), devido a sua localização à jusante do exutório da bacia. A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação da operação e, conseqüentemente, o dimensionamento do reservatório.

3.3.4. Vazão de Regularização do Reservatório

Para o cálculo das vazões, adotou-se o método do diagrama triangular de regularização de Campos (1987). Este método consiste num modelo gráfico para dimensionamento hidrológico de reservatórios de águas superficiais situados em regiões com rios intermitentes sujeitos a altas

taxas de evaporação. O cálculo da vazão regularizada é feito para diversas alturas e capacidades de acumulação.

O reservatório foi simulado para cada uma das séries geradas considerando volume inicial de 100hm³ e retiradas operacionais fixas determinadas pelo nível de garantia. As retiradas operacionais médias, resultantes deste procedimento, com garantias de 85 a 99% estão apresentadas no **Quadro 3.5**. O estudo aqui apresentado leva em consideração a interferência da Barragem Carmina localizada a montante, no município de Catunda.

Quadro 3.5 – Vazões Regularizadas para diferentes garantias na simulação da série histórica

Cota (m)	Capacidade (hm ³)	Q85 (hm ³ /mês)	Q90 (hm ³ /mês)	Q95 (hm ³ /mês)	Q99 (hm ³ /mês)
178	201.19	7.30	6.39	5.13	3.40
179	229.66	7.73	6.72	5.40	3.61
180	260.61	8.07	7.11	5.75	4.05
181	293.95	8.61	7.50	6.00	4.24
182	329.59	8.93	7.89	6.30	4.64
183	367.67	9.13	8.01	6.67	5.03
184	408.36	9.33	8.25	6.93	5.29
185	451.81	9.52	8.50	7.08	5.46
186	498.18	9.72	8.62	7.24	5.71

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 3 – Hidrologia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Em seguida, são determinados os percentuais médios regularizado, evaporado e vertido do volume total afluente para diferentes tamanhos de reservatórios e considerando garantia de 90% conforme o **Quadro 3.6** e **Figura 3.7**.

Quadro 3.6 – Cálculo do volume anual regularizado para uma garantia de 90% considerando o reservatório a montante (Carmina)

Cota (m)	Capacidade (hm ³)	Percentual Regularizado	Percentual Evaporado	Percentual Vertido	Volume Regularizado (hm ³ /ano)	Volume Regularizado (m ³ /s)	Volume Evaporado (hm ³ /ano)	Volume Vertido (hm ³ /ano)
178	201.19	52.63	21.90	25.46	72.55	2,33	30.19	35.10
179	229.66	54.83	23.22	21.95	75.50	2,43	31.98	30.22
180	260.61	57.02	24.40	18.58	78.43	2,52	33.56	25.56
181	293.95	58.95	25.53	15.52	81.00	2,60	35.08	21.32
182	329.59	60.61	26.56	12.83	83.19	2,67	36.46	17.61
183	367.67	62.00	27.52	10.48	85.01	2,73	37.73	14.37
184	408.36	63.20	28.41	8.39	86.57	2,78	38.91	11.49
185	451.81	64.23	29.21	6.56	87.89	2,83	39.98	8.98
186	498.18	65.12	29.86	5.02	89.05	2,86	40.83	6.87

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 3 – Hidrologia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

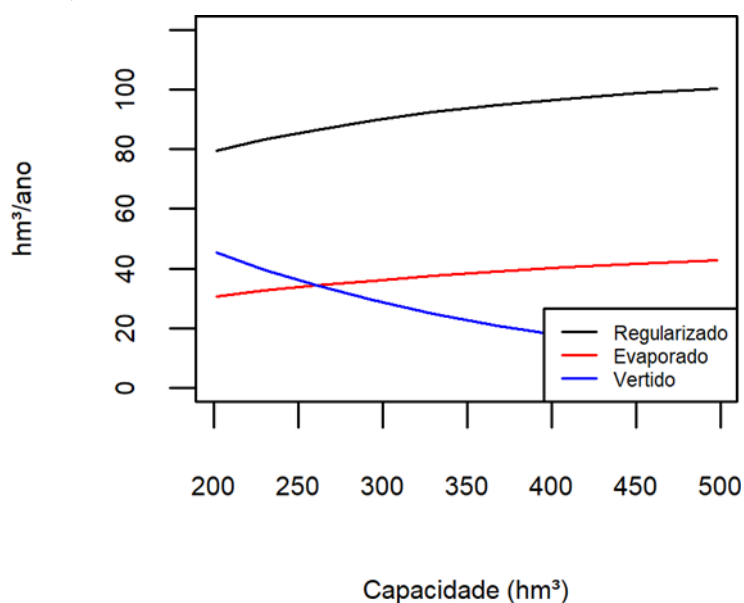


Figura 3.7 - Volume anual regularizado para uma garantia de 90% considerando o reservatório Carmina a montante

3.3.5. Estudo de cheias e do Vertedouro

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de cheia sintética, é frequentemente utilizada na análise, planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas. As cheias de projeto com período de retorno de 1.000 e 10.000 anos são utilizadas na análise do comportamento hidráulico do vertedouro da Barragem Poço Comprido, no sentido de verificação da capacidade atual de regularização da estrutura vertente. O programa utilizado foi o HEC-HMS, desenvolvido pelo Hydrologic Engineer Center, do U.S. Army Corps of Engineers (EUA).

Tal programa dispõe de várias metodologias para a transformação de precipitação em escoamento superficial. A metodologia adotada neste estudo foi a do Método do Hidrograma Unitário Triangular, desenvolvido pelo U. S. Soil Conservation Service (1972). Este método, largamente utilizado em estudos desta natureza no Nordeste, se baseia em um hidrograma adimensional, resultado da análise de um grande número de hidrogramas unitários naturais de bacias de variadas extensões e localizações geográficas nos Estados Unidos. De simples aplicação, depende basicamente do tempo de concentração da bacia e nas relações geométricas.

A aplicabilidade do Método do Hidrograma Unitário se dá somente em bacias hidrográficas com áreas até 2.500 km² estando a área da bacia hidrográfica da Barragem Poço Comprido enquadrada dentro deste limite.

Para o dimensionamento do vertedouro foi adotado um cenário de cheia do reservatório para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, de acordo com informações obtidas no Estudo de Cheias, considerando três opções para a largura do vertedouro tipo creager – 150, 200 e 250 m para três tamanhos de reservatório – 201,19, 260,61 e 329,59 hm³ (Cotas 178, 180 e 182 m respectivamente). Nos resultados da simulação da propagação do modelo esquematizado foi verificado o reservatório Carnina à montante. Os resultados obtidos estão apresentados nos **Quadros 3.7** e **3.8**, para lâmina de sangria, vazões afluentes e efluentes.

Quadro 3.7 – Resultados dos Estudos de Cheia Tr=1.000 anos considerando o reservatório Carmina a montante

Tr = 1.000 anos	V = 201,19 hm ³ H = 178m			V = 260,61 hm ³ H = 180m		
	L=150m	L=200m	L=250m	L=150m	L=200m	L=250m
Cheia Afluente	2475 m ³ /s					
Cheia Efluente	1561 m ³ /s	1754 m ³ /s	1888 m ³ /s	1435 m ³ /s	1628 m ³ /s	1765 m ³ /s
Cota Operacional	180.8 m	180.5 m	180.3 m	182.6 m	182.4 m	182.2 m
Lâmina	2.8 m	2.5 m	2.3 m	2.6 m	2.4 m	2.2 m
Amortecimento	36.93%	29.13%	23.72%	42.02%	34.22%	28.69%

Tr = 1.000 anos	V = 329,59 hm ³ H = 182m		
	L=150m	L=200m	L=250m
Cheia Afluente	2475 m ³ /s		
Cheia Efluente	1314 m ³ /s	1504 m ³ /s	1640 m ³ /s
Cota Operacional	184.5 m	184.2 m	184.1 m
Lâmina	2.5 m	2.2 m	2.1 m
Amortecimento	46.91%	39.23%	33.74%

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 3 – Hidrologia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Quadro 3.8 – Resultados dos Estudos de Cheia Tr=10.000 anos considerando o reservatório Carmina a montante

Tr = 10.000 anos	V = 201,19 hm ³ H = 178m			V = 260,61 hm ³ H = 180m		
	L=150m	L=200m	L=250m	L=150m	L=200m	L=250m
Cheia Afluente	3284 m ³ /s					
Cheia Efluente	2147 m ³ /s	2386 m ³ /s	2562 m ³ /s	1982 m ³ /s	2228 m ³ /s	2421 m ³ /s
Cota Operacional	181.4 m	181.1 m	180.8 m	183.3 m	182.9 m	182.7 m
Lâmina	3.4 m	3.1 m	2.8 m	3.3 m	2.9 m	2.7 m
Amortecimento	34.62%	27.34%	21.99%	39.65%	32.16%	26.28%

Tr = 10.000 anos	V = 329,59 hm ³ H = 182m		
	L=150m	L=200m	L=250m
Cheia Afluente	3284 m ³ /s		
Cheia Efluente	1819 m ³ /s	2077 m ³ /s	2277 m ³ /s
Cota Operacional	185.1 m	184.8 m	184.5 m
Lâmina	3.1 m	2.8 m	2.5 m
Amortecimento	44.61%	36.75%	30.66%

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 3 – Hidrologia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Observa-se que a cheia milenar atinge valores de 2.475 m³/s e a decamilenar de 3.284 m³/s. O amortecimento da cheia para os vertedouros simulados também foi significativo, variando aproximadamente entre 22% a 47%. Este estudo do amortecimento de cheias para várias seções de vertedouro irá nortear a escolha da dimensão econômica do vertedouro.

3.3.6. Estudos Adicionais

Os estudos complementares tiveram como objetivo analisar e indicar a intensidade de problemas inerentes à construção da barragem, dentre estes se encontram a viabilidade hidrológica e o assoreamento do reservatório.

A viabilidade hidrológica, ou seja, se o regime de vazões naturais é suficiente para abastecer o reservatório com a dimensão e a retirada determinadas, foi verificada por meio de um estudo de probabilidade de enchimento.

Este estudo apresenta, mediante a simulação de conjunto de anos da série histórica de vazões afluentes, as probabilidades do reservatório partir da situação de volume zero para a de volume completo em função do número de anos seguintes, o que equivale também à probabilidade do reservatório encher nos primeiros anos após a construção.

A **Figura 3.8** mostra que o reservatório possui baixa probabilidade de enchimento para 1 ano (cerca de 25% em média para os três tamanhos) e já apresenta probabilidade considerável para os conjuntos de 5 anos (75% em média para as três capacidades).

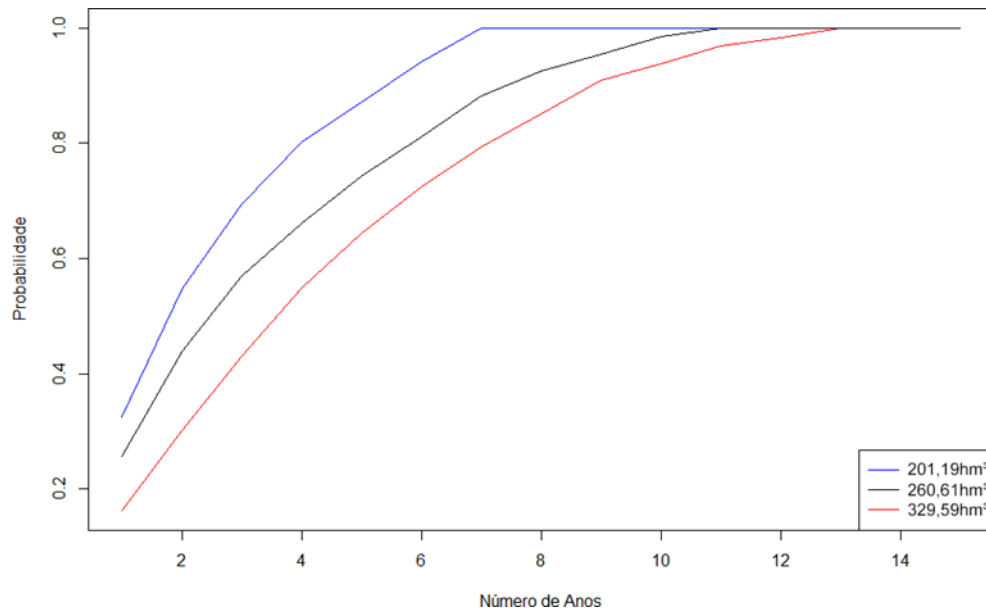


Figura 3.8 - Curva de Probabilidade de Enchimento

Também se verifica que a partir de 7, 11 e 13 anos, respectivamente para as capacidades 201,19, 260,61 e 329,59 hm³, a probabilidade de enchimento do reservatório se torna 100%. Esta probabilidade de 100% significa que o reservatório encheu para todas as sequências desse número de anos ou mais da série histórica.

Quanto ao assoreamento, a formação de um reservatório por meio da construção de uma barragem altera as condições naturais do curso d'água, o que resulta na redução das velocidades da corrente e provoca a deposição dos sedimentos conduzidos pelo curso d'água. O assoreamento diminui gradativamente a capacidade de armazenamento e de regularização do reservatório e limita a sua vida útil.

Desta forma, foi realizado um estudo de análise da possibilidade de assoreamento que buscou determinar a taxa de assoreamento do reservatório projetado, com a utilização do método simplificado proposto para os reservatórios cearenses por Negreiros e Lima Neto (2014). A taxa de assoreamento (ϕ) encontrada para a Barragem Poço Comprido foi de 0,05% ao ano ou de 1% a cada 20 anos, mostrando a redução percentual da capacidade de armazenamento em relação à capacidade inicial e indicando que seriam necessários, pelo menos, 2.000 anos para que o reservatório, após a construção, assoreasse completamente.

3.4. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

3.4.1. Geologia Regional

A Bacia Hidrográfica do Acaraú, onde se encontra posicionada a área do estudo, é formada por uma grande variedade de formações litológicas, que podem ser agrupadas em dois grandes domínios geológicos, sendo estes:

- Embasamento Sedimentar (rochas sedimentares) – representado pelos depósitos eólicos litorâneos (dunas, paleodunas e sedimentos de praia); sedimentos arenosiltosos do Grupo Barreiras; depósitos aluviais e fluviomarinhos; conglomerados e arenitos do Grupo Serra Grande; arenitos, grauvacas, arcóseos, ardósias, metacalcários e quartzitos conglomeráticos do Grupo Ubajara (Formações Coreaú, Frecheirinha, Caiçaras e Trapiá) e arenitos, ortoconglomerados, folhelhos e siltitos do Grupo Jaibaras (Formação Parapuí, Formação Aprazível, Formação Pacujá e Formação Massapê);
- Embasamento Cristalino – representados por rochas metamórficas e ígneas pertencentes ao Grupo Martinópole (Formações Covão e São Joaquim); Complexo Granja; Complexo Tamboril-Santa Quitéria; Complexo Ceará (Unidade Canindé e Unidade Independência); Suíte Intrusiva Umarizal e Suíte Intrusiva Meruoca, esta última representada pelos plutons Mucambo e Serra da Barriga.

O embasamento cristalino apresenta-se predominante no território desta bacia hidrográfica, ocupando cerca de 90,0% da sua área, ocorrendo principalmente nas porções central e sul. Apresenta, em geral, comportamento mais resistente, favorecendo o escoamento superficial das águas. As coberturas sedimentares, por sua vez, ocorrem notadamente na porção norte da bacia, em toda extensão da faixa litorânea. Apresentam baixa resistência mecânica, porém quando cimentadas passam a apresentar maior coerência e resistência.

Sobressaem-se no território da Bacia do Acaraú extensas zonas de cisalhamento (ZC Sobral-Pedro II, ZC Humberto Monte, ZC Forquilha, ZC Cariré, ZC Groaíras, ZC Rio Groaíras e ZC Tauá) e falhamentos de importância regional (Falha Café-Ipueiras e Falha de Massapê). A Falha Café-Ipueiras e o Lineamento Sobral – Pedro II, se constituem nos mais importantes falhamentos da Zona Sísmica de Acaraú, estando, também, vinculados ao domínio do graben Bambuí-Jaibaras.

A área do estudo encontra-se posicionada na região de alto curso da Bacia do Acaraú, no domínio do embasamento cristalino formado principalmente por rochas ígneas e metamórficas, com destaque para as litologias pertencentes ao Complexo Tamboril-Santa Quitéria. Este complexo ocorre de forma predominante nos territórios dos municípios de Hidrolândia, Santa Quitéria e Catunda, integrantes da bacia de contribuição do futuro reservatório. Observa-se, ainda, nesta região, associados ao Complexo Tamboril-Santa Quitéria, corpos granitóides distribuídos de forma esparsa. Nas porções nordeste e leste do município de Santa Quitéria, fora da área de influência do futuro reservatório, observa-se a ocorrência de litologias pertencentes às unidades Canindé e/ou Independência do Complexo Ceará. O mapa geológico da área do estudo pode ser visualizado na **Figura 3.9**.

O Complexo Tamboril-Santa Quitéria é afetado por deformação compressiva, apresentando uma estrutura gnáissica e/ou migmática. Constitui-se num complexo granítico formado por uma associação de granitos e migmatitos, com enclaves de rochas calcissilicáticas, paragnaisses e anfibolitos. Foi alojada em regime compressivo, em um provável ambiente magmático continental, há cerca de 622 Ma (idade U-Pb). Os granitóides associados a este complexo encontram-se representados na área do estudo pelos Plútons: Tamboril (t1), Boa Esperança (t3) e Serra do Pajé (t5), formados por granitos, monzogranitos e granodioritos.

O Complexo Ceará é formado por complexos de rochas metassedimentares proterozóicas. É composto, em geral, por associações de rochas do tipo QPC, típicas de ambiente plataformal de margem passiva, constituídas por metaconglomerado, quartzito, xisto, paragnaisse aluminoso, mármore e, subordinadamente, por anfibolito e ortognaisse granítico, constituindo exceção apenas a Unidade Canindé. Apresenta metamorfismo da fácies anfibolito alto, zona da silimanita, e atinge, localmente, o estágio de fusão parcial e migmatização. São encontradas na região do estudo duas unidades deste complexo: i) Unidade Independência - formada por xistos, quartzitos e mármore e ii) Unidade Canindé - formada por paragnaisses migmatizados, quartzitos, anfibolitos e ortognaisses.

Figura 3.9 - Mapa Geológico

Os depósitos flúvio-aluvionares são representados, essencialmente, por areias, cascalhos, siltes e argilas, compreendendo os sedimentos fluviais. Sobre os terrenos cristalinos, os cursos d'água mostram-se frequentemente controlados por fraturas e falhas, exibindo longos trechos retilinizados. Nestas áreas, os depósitos constituem faixas estreitas, mormente formadas por sedimentos de granulometria grossa, ao longo dos canais ativos, enquanto, nas planícies de inundação, apresentam uma constituição mais fina.

Com relação ao panorama sismotectônico, a área do estudo encontra-se posicionada na região Noroeste do Ceará, a qual possui importantes estruturas tectônicas mapeadas, destacando-se o Lineamento Transbrasiliano (cujas secções na área de estudo é conhecida como Lineamento Sobral-Pedro II), uma gigantesca faixa milonítica que se estende para Nordeste, na África Ocidental (falha de Kandi), e para Sudoeste, até a região central do Brasil (CABY, 1989; CABY et al., 1995). A extensão deste lineamento implica em um rejeito substancial (transcorrente dextral), dificultando a correlação entre as unidades lito-tectônicas de cada lado desta zona milonítica (JARDIM DE SÁ, 1994).

Nos dados obtidos pela rede sismográfica instalada em Sobral, foi possível obter uma estimativa da zona sísmica ativa, com profundidade variando entre 1 e 8 km e com aproximadamente 6 km de extensão, no plano horizontal, orientada na direção aproximada E-W. As estações SBBO e SBSL estão localizadas praticamente sobre os epicentros, o que possibilitou encontrar erros mínimos verticais e horizontais nas localizações dos sismos. Os resultados obtidos pelos estudos realizados até o momento indicam que nem sempre é possível obter correlação entre sismicidade e falhas mapeadas.

Em suma, apesar da proximidade da área do estudo com as megaestruturas tectônicas, anteriormente referidas, nos estudos desenvolvidos até o presente momento, a sismicidade no Noroeste do Ceará não foi correlacionada diretamente ao Lineamento Sobral-Pedro II. Para se estabelecer uma correlação confiável entre atividade sísmica e as estruturas geológicas, seria necessário dispor de um conjunto mais abrangente de dados sismológicos, geológicos e geofísicos. Mesmo assim, a sismicidade regional está longe de poder ser tida como desprezível, devendo ser levada em consideração, em função de sua magnitude histórica, no estudo e dimensionamento da Barragem Poço Comprido.

3.4.2. Geologia Local

O conjunto litoestratigráfico onde a barragem e o vertedouro serão implantados, bem como seu entorno é pertencente ao denominado Arco Magmático de Santa Quitéria (Fetter, 1999) ou Complexo Tamboril Santa Quitéria (CPRM, 2006). São rochas de idade Neoproterozóica que variam desde gnaisses migmatíticos diversos a granitos diferenciados como alkaligranitos ou sienitos, além dos sedimentos inconsolidados (areia de aluvião e solo terroso). Tais litologias e estruturas são descritas a seguir:

Gnaisses Migmatíticos, Anfibolitos e Calcissilicáticas (Npmig)

Os gnaisses migmatíticos diversos são representados pela variação de três tipos de rochas formando um conjunto de Gnaisses Migmatíticos (80%), Anfibolitos (10%) e Calcissilicáticas (10%). Os gnaisses migmatíticos comportam-se como hospedeiros dos anfibolitos e calcissilicáticas. Possuem coloração cinza apresentando microbandamento com leucossomas e melanossomas centimétricos, boudins de enclaves de metassedimentos e xenólitos de anfibolitos.

Os anfibolitos por vezes ocorrem em maior quantidade e normalmente apresentam injeções de quartzo indicando hidrotermalismo durante a orogênese formando rochas calcissilicáticas de coloração verde escura, sendo que este processo é acompanhado de injeção de veios de quartzo sempre presentes nestes locais.

Estruturalmente onde ocorrem os gnaisses migmatíticos, os planos de foliação (planos formados devido a deformação na rocha) tendem a ser verticais devido à presença de zonas de cisalhamento pretéritas da orogênese Brasileira (600 Ma). Esta verticalização ocorre em alguns trechos do eixo, e estes locais podem estar mais fraturados localmente, devido a injeções de quartzo e/ou granitos quase sempre associadas ao processo tectônico.

Os migmatitos ocorrem na parte central do eixo, ocupando a zona do riacho dos Macacos e do rio secundário, e em uma parte da ombreira direita. Nos dois locais estão associados a anfibolitos e calcissilicáticas.

Granito Alkalino (Np1)

Este granito ocorre nas partes superiores das duas ombreiras e no vertedouro. É um granito de coloração branca (**Figura 3.10**) a creme, com textura equigranular a porfirítica. Esta última quando ocorre, está associada à presença de fenocristais de k-feldspatos.



Figura 3.10 - A) Granito homogêneo textura equigranular com foliação insipiente na horizontal; B) Fácies um pouco mais porfirítica com fenocristais de k-f, sem foliação.

Apresentam-se intercalados com os gnaisses migmatíticos, porém com estrutura sub-horizontal, onde a foliação magmática possui um mergulho suave para W. Grandes veios e diques ocorrem no local podendo chegar na ordem de 3 m de largura e 30 m de comprimento. São rochas intrusivas nos gnaisses migmatíticos.

A rocha possui, ainda, grande quantidade de diques de granitos finos equigranulares que intercortam em diversas gerações os gnaisses. São fraturas preenchidas e sem qualquer risco geotécnico.

Sedimentos e Solos (Qa)

Recobrando as rochas gnáissicas e graníticas tem-se três tipos de sedimentos inconsolidados, a saber:

a) sedimentos arenosos de calha de rios, preferencialmente, ocorrendo no riacho dos Macacos e na drenagem secundária, formando depósitos com profundidades métricas de grande área e conseqüentemente de grande volume. Em alguns pontos ocorrem no leito do rio em meios a lajedos, blocos e matacões;

b) solos variando de terrosos a terrosos com blocos e seixos. A rocha alterada encontra-se rasa e através dos poços de inspeção pode-se ver que principalmente nas ombreiras o regolito não ultrapassa 2 m (**Foto 3.1**).



Foto 3.1- Caixa de amostragem de solo, evidenciando pouca espessura de regolito na região do eixo (F-34) (E= 354.551,913; N= 9.529.546,728), novembro/2019.

c) Seixos de quartzo que ocorrem em maior quantidade próximos às rochas calcissílicas, devido à maior presença de veios de quartzo, formando assim cascalheiras de quartzo, os quais são comuns em todo o eixo, porém, de pouca espessura.

O levantamento geológico dos eixos da barragem e do vertedouro engloba a descrição do sítio desde a Estaca 190, na ombreira direita, até a Estaca 0/0, na ombreira esquerda. Da estaca 190 até a estaca 154 há um predomínio do granito de composição k-feldspática que varia de porfirítico a equigranular. A composição mineralógica é formada por k-feldpsatos (35%), plagioclásio (15%), quartzo (15%) e sendo os demais minerais como muscovia, titanita, opacos, apatitas, biotita, microclina, compondo secundariamente. Ocorre na forma de lajedos decamétricos maciços (**Foto 3.2**), ou mesmo subaflorante, possuindo foliação subhorizontal pouco penetrativa com caimento de 5 a 10 graus para oeste (Sn 260az/05 até 300az). Além da foliação apresenta duas famílias de fraturas nas direções variando 250az/50 a 90 e 300az/90 (**Foto 3.3**).



Foto 3.2 - Lajedos de granito maciço próximos à estaca 170. Relevo com blocos e matacões, solo raso por vezes com cascalheira (E=356.824,93; N=9.528.530,097), novembro/2019.



Foto 3.3 - Lajedos de granito estaca 165 - rocha maciça exibindo fraturas nas direções 300az e 270az. (E=356.750,143; N=9.528.596,482), novembro/2019.

Entre as estacas 154 e 125 ocorrem blocos métricos de rochas calcissilicáticas e veios de quartzo associados aos gnaisses migmatíticos. Estes locais mostram um hidrotermalismo onde fluidos foram injetados, formando uma reação entre os anfibolitos e injeções de quartzo. É comum encontrar mais cascalheira de quartzo uma vez há mais veios nestes locais. A foliação Sn neste trecho estaca 135 é 245az/10 e fraturas NW-SE.

Entre as estacas 125 até 63 ocorre o mesmo granito com k-feldspato variando de porfirítico a equigranular, possuindo foliação subhorizontal, Sn - 310az/5. Neste trecho predominam lajedos intercalando com manchas de solo mais arenoso.

Nas estacas 83-82 ocorre uma falha milonítica com espessura de 2,00m, que também marca o contato com os gnaisses migmatíticos. Ocorre uma quebra no terreno, um desnível de até 10,00m sendo detectado nas sondagens (Furo SM-12). Esta zona de falha pode requerer maior escavação de terra e possível tratamento de injeção conforme o teste de perda d'água. Da estaca 82 até a estaca 5 ocorrem gnaisses migmatíticos, com rochas anfibolíticas e clacissilicáticas que se intercalam, principalmente neste trecho e entre as estacas 42 e 25.

No trecho mais profundo, onde ocorre as duas calhas principais de drenagem, o riacho dos Macacos (Estaca 61) e uma drenagem secundária (Estaca 41), tem-se diversas quebras de terrenos que se refletem em degraus ou mesmo patamares. No ponto 65, estaca 73,

ocorre pequeno patamar de sedimentos com espessura acima de 2m. Talvez um maior volume de escavação nesta região onde os sedimentos sustentam uma área plana bem marcada por presença de carnaúbas e compõem um solo arenoso.

No riacho dos Macacos ocorrem lajedos, matacões e blocos de gnaisses migmatítico entrecortados por granitos na forma de diques e veios. Sedimentos arenosos com profundidade de até 10,00m, profundidade esta confirmada pela sondagem executada na região, ocorrem no leito e em toda sua lateralidade. O rio instalou-se em cima de uma falha de direção N-S a qual também condiciona a drenagem secundária que ocorre paralela ao riacho dos Macacos.

Entre as estacas 8 e 5 ocorre o contato litológico entre os gnaisses migmatíticos e o granito equigranular homogêneo. No fim do eixo, entre as estacas 5 e 0/0, volta a ocorrer o granito equigranular homogêneo por vezes porfirítico com fenocristais de k-feldspatos, portanto o mesmo granito da ombreira direita.

Estruturalmente, a área do barramento apresenta planos de foliação tectônica que ocorrem associadas aos gnaisses migmatíticos, principalmente no riacho dos Macacos, são planos de foliação verticais Sn 270az/90. Nesta rocha, a deformação foi mais intensa e está paralela às zonas de cisalhamento regionais, que provocaram juntamente com a deformação da rocha, um bandamento migmatítico e a verticalização dos planos de foliação. A **Figura 3.11** mostra os planos de foliação no estereograma, onde predominam as medidas de caimento suave para oeste (Sn = 270az/5 10), e os planos verticais N-S. O fraturamento da área ocorreu posterior à formação da foliação. As famílias de fraturas mostram como principais direções NW-SE, W-E e N-S (**Figura 3.12**).

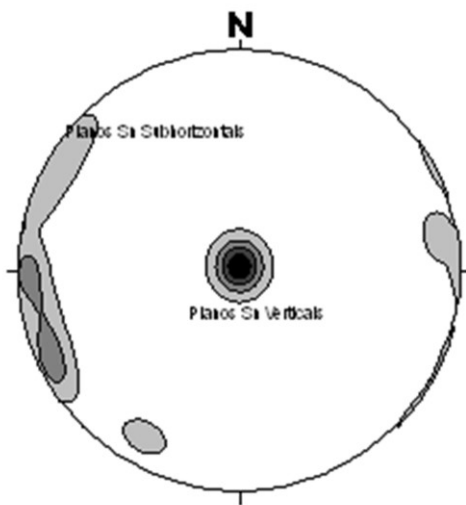


Figura 3.11 - Estereograma da foliação S_n que mostra predomínio de planos subhorizontais no granito equigranular e planos verticais nos gnaisses migmatíticos.

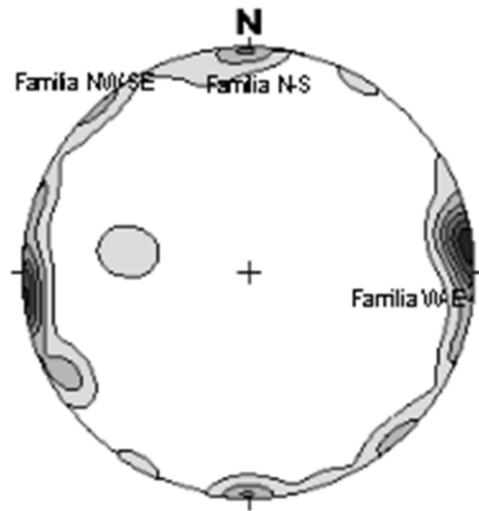


Figura 3.12- Estereograma das famílias de fraturas presentes nas rochas do eixo e vertedouro.

A parte central da barragem é formada por gnaisses migmatíticos com enclaves de anfibólitos, metassedimentos calcissilicáticas e veios de quartzo que também são injetados em inúmeros locais. Estes veios formam cascalheiras de quartzo com blocos angulares em inúmeros locais do eixo. Algumas fraturas/falhas ocorrem na parte central do eixo (zona dos rios). Neste trecho ocorrem depósitos aluvionares e perfis de solo mais espessos que as ombreiras. Este comportamento com mais cobertura reflete as atividades tectônicas das falhas que movimentaram verticalmente formando rejeitos que podem chegar até 15,0m.

Estas falhas formaram as próprias drenagens de maior porte (riacho dos Macacos e drenagem secundária). Fraturas secundárias também formaram drenagens de menor porte onde várias delas coincidem com as famílias de fraturas levantadas. Sete locais apresentam lajedos que devem sofrer desmonte para nivelamento - são locais com desnível que variam de 1,00m até acima de 5,00m, como no riacho dos Macacos. No início do vertedouro também apresentam rocha aflorante (granito) e desníveis que variam de 1,00m até acima de 5,00m. Na estaca 0 do eixo, também há rocha aflorante que pode necessitar de desmonte.

O vertedouro da barragem situa-se na ombreira esquerda, sendo apoiado em uma elevação rochosa, composta de rocha granítica de composição quartzo feldspática, homogêneo a equigranular com variações de porções porfíricas. Apresenta foliação magmática Sn subhorizontal com orientação 270az/5, 280az/7, 240az/6.

Entre as estacas 0 e 10 ocorre um escalonamento natural do terreno onde o granito aflora com foliação subhorizontal (**Foto 3.4**), com fraturas com orientação 320az/90, 360az/90, 80az/90, 90az/80. São fraturas de alívio de pressão e ocorrem superficialmente devido a denudação do terreno.



Foto 3.4- Vertedouro: Granito aflorante na forma de lajedos escalonados exibindo foliação subhorizontal Sn 270az/5. Estaca 7 do vertedouro. Rocha são (E=353.822,942; N=9.530.005,628), novembro/2019.

Este escalonamento termina num vale a jusante do eixo, o qual constitui um vertedouro natural, uma vez que ocorrem grandes lajedos e rocha aflorante em todo o percurso até a estaca 58. Pouco solo reside sobre o vertedouro e ocorrem rocha aflorante e lajedos do granito equigranular a porfírico. Esta drenagem natural deverá ser aproveitada como via de escoamento do próprio vertedouro.

3.4.3. Geotecnia

Os estudos geotécnicos executados para a Barragem Poço Comprido contemplaram a realização de prospecções mecânicas de superfície no local do barramento e do vertedouro, e ensaios in situ executados nestas prospecções.

Foram realizados 21 furos de sondagens mistas, 2 furos de sondagens rotativas e 26 furos de sondagens a percussão. Cada tipo de sondagem foi distribuída ao longo do eixo da barragem e na região do vertedouro, conforme se segue: na região do eixo da barragem foram realizadas 17 sondagens mistas, perfazendo um total de 219,33 m perfurados (04 não foram executadas); e 24 sondagens a percussão, totalizando 14,77 m perfurados; na região do vertedouro, foram executadas duas sondagens rotativas, totalizando 40,45 m perfurados e duas sondagens a percussão num total de 0,89 m sondados.

3.4.3.1. Estudos Geotécnicos do Eixo do Barramento

Ao longo do eixo da barragem, foram executados 24 furos perfazendo um total de 14,77 m de sondagens a percussão e 17 furos de sondagem mista, sendo 205,45 m do tipo rotativa e 13,88 m percussiva.

Os **Quadros 3.9** e **3.10** mostram os dados técnicos das sondagens efetuadas no eixo do barramento, enquanto que a **Figura 3.13** apresenta o perfil geológico/geotécnico do eixo do barramento.

Quadro 3.9 – Dados Gerais das Sondagens a Percussão no Eixo do Barramento

Furo	Estaca (m)	Cota (m)	Extensão (m)	SPT Mínimo	Descrição do Material
SP-01	9	171,51	0,67	51	Areia fina, siltosa, argilosa, muito compacta, com pedregulhos, amarela clara.
SP-02	26+10	160,4	0,72	29	Areia fina, siltosa, argilosa, com pedregulhos, compacta, amarela clara.
SP-03	36+10	153,53	0,92	21	Areia siltosa, argilosa, compacta, cinza escura.
SP-04	42	155,74	0,51	32	Silte arenoso, argiloso, muito compacta, amarelo claro.
SP-05	46+10	161,39	0,6	33	Areia siltosa, argilosa, compacta, com pedregulho, amarela escura
SP-06	54	167,77	0,52	49	Pedregulho arenoso, argiloso, siltoso, amarelo escuro
SP-07	56+10	156,6	0,2	38/05	Impenetrável a Percussão
SP-08	61+10	151,02	3	12	Areia fina, siltosa, argilosa, amarelo claro
SP-09	67+10	156,75	0,61	40	Pedregulho arenoso, argiloso, muito compacto, amarelo claro.
SP-10	71+10	159,91	0,93	25	Areia média, argilosa, siltosa, compacta, amarela clara com pedregulhos

Furo	Estaca (m)	Cota (m)	Extensão (m)	SPT Mínimo	Descrição do Material
SP-11	76+10	160,07	0	-	Afloramento de rocha
SP-12	84	169,4	0,61	18	Silte arenoso, argiloso, compacto amarelo claro com pedregulho
SP-13	89	177,03	0,52	28	Silte arenoso, argiloso, compacto, amarelo claro
SP-14	99	176,24	0,51	31	Silte arenoso, argiloso, compacto, amarelo claro com pedregulho
SP-15	109	179,01	0,68	22	Argila siltosa, arenoso, dura, cinza clara com pedregulho
SP-16	119	177,44	0,41	31	Areia siltosa, amarela clara com pedregulho
SP-17	134	183,14	0,54	30	Silte arenoso, argiloso, compacto, amarelo claro com pedregulho
SP-18	149	181,68	0,71	26	Silte arenoso, argiloso, amarelo claro com pedregulho
SP-19	164	181,5	0	-	Afloramento de rocha
SP-20	174	182,63	0,48	23	Silte arenoso, argiloso, compacto, amarelo claro com pedregulhos e mica
SP-23	44-j60m	154,4	0,59	44	Pedregulho, arenoso, siltoso, argiloso, muito compacto, amarelo claro
SP-24	59-j70m	150,15	0	-	Afloramento de rocha
SP-25	74-M70m	161,92	0,52	5/0	Pedregulho siltoso, argiloso, amarelo escuro
SP-26	74-j70m	156,92	0,52	30	Pedregulho, arenoso, siltoso, argiloso, muito compacto, amarelo claro
TOTAL	-	-	14,77	-	-

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4 – Geologia e Geotecnia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Quadro 3.10 – Dados Gerais das Sondagens Mistas no Eixo do Barramento

Furo	Estaca	Cota (m)	Extensão (m)		SPT Mínimo (m)
			Percussiva	Rotativa	
SM-02	24	160,61	0,6	12	33
SM-03	29	160,24	0,86	12	32
SM-04	34	155,47	0,7	12,5	33
SM-05	40	151,18	2,6	12	17
SM-06	44	157,8	0,79	12	32
SM-07	49	166,72	0,9	12	39
SM-08	54	160,77	1,1	11,65	50
SM-09	59	152,85	0,45	12,4	45
SM-10	64	154,63	0,95	12,1	26
SM-11	69	159,23	0,59	12	39
SM-12	74	159,97	-	13,1	45
SM-13	79	161,69	0,71	12,5	39
SM-17	59-M70m	151,4	0,8	12,3	30
SM-18	69-M70m	159,26	0,65	11,5	40
SM-19	64-M67m	154,59	0,9	12,1	26
SM-20	69-j70m	157,4	0,6	11,9	39
SM-21	81	164,103	0,68	11,4	-
TOTAL			13,88	205,45	-

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4 – Geologia e Geotecnia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Figura 3.13 - Perfil Geológico/Geotécnico do Eixo do Barramento

Prancha 1/3

Prancha 2/3

Prancha 3/3

Para as sondagens mistas no eixo da barragem foram realizados 67 ensaios de perda d'água específica. De forma geral, a perda d'água em praticamente todos os ensaios foi muito baixa, entretanto, no furo SM-07, localizado na estaca 49 entre as profundidades 9,90 a 11,80 e no furo SM-11, localizado na estaca 69 entre as profundidades 9,50 a 12,50m, o ensaio apresentou uma perda total de água, situação está isolada, devendo ser previsto tratamento adequado na fase de projeto. O **Quadro 3.11** apresenta os dados técnicos gerais dos ensaios de perda d'água sobre pressão.

Quadro 3.11 – Ensaios de Perda d'Água sob Pressão (Lugeon) no Eixo do Barramento

Sondagem	Quant.	Trechos Ensaiaados (m)	Perda d'Água Específica (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
SM-2	4	0,60 - 3,6	2,355	2,46E-04
		3,6 - 6,6	1,525	1,59E-04
		6,6 - 9,6	1,756	1,83E-04
		9,6 - 12,6	1,48	1,54E-04
SM-3	4	0,86 - 3,86	0,158	1,65E-05
		3,86 - 6,96	0,1	1,04E-05
		6,86 - 9,86	0,077	8,06E-06
		9,86 - 12,86	0,064	6,72E-06
SM-4	4	0,70 - 3,7	2,521	2,63E-04
		3,7 - 6,7	1,365	1,42E-04
		6,7 - 9,7	0,686	7,16E-05
		9,7 - 12,7	0,732	7,65E-05
SM-5	4	2,60 - 5,6	6,431	6,71E-04
		5,6 - 8,6	2,87	3,00E-04
		8,6 - 11,6	2,13	2,22E-04
		11,6 - 14,6	6,296	6,57E-04
SM-6	4	1,70 - 4,7	3,496	3,65E-04
		4,70 - 7,70	0,068	7,09E-06
		7,70 - 10,7	0,008	8,81E-07
		10,7 - 13,7	0,007	7,43E-07
SM-7	5	0,90 - 3,9	9,883	1,03E-03
		3,9 - 6,9	9,545	9,97E-04
		6,9 - 9,9	7,652	7,99E-04
		9,9 - 12,9	0	perda total
		11,80 - 12,9	15,868	1,66E-03

Sondagem	Quant.	Trechos Ensaiaados (m)	Perda d'Água Específica (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
SM-8	4	0,70 - 3,7	4	4,18E-04
		3,7 - 6,7	1,671	1,74E-04
		6,7 - 9,7	0,379	3,95E-05
		9,7 - 12,7	0,101	1,06E-05
SM-9	3	2,50 - 5,5	0,867	9,05E-05
		5,5 - 8,5	0,85	8,87E-05
		8,5 - 11,5	0,261	2,73E-05
SM-10	4	0,95 - 3,95	5,223	5,45E-04
		3,95 - 6,95	1,85	1,93E-04
		6,95 - 9,95	1,148	1,20E-04
		9,95 - 12,95	0,74	7,73E-05
SM-11	3	3,50 - 6,5	3,524	3,68E-04
		6,5 - 9,5	1,333	1,39E-04
		9,5 - 12,5	0	perda total
SM-12	4	1,0 - 4,0	3,104	3,24E-04
		4,0 - 7,0	1,93	2,01E-04
		7,0 - 10,0	0,61	6,37E-05
		10,0 - 13,0	0,6	6,26E-05
SM-13	4	1,0 - 4,0	8,252	8,61E-04
		4,0 - 7,0	1,333	1,39E-04
		7,0 - 10,0	0,667	6,96E-05
		10,0 - 13,0	1,16	1,21E-04
SM-17	4	1,0 - 4,0	2,53	2,64E-04
		4,0 - 7,0	1,733	1,81E-04
		7,0 - 10,0	1,019	1,06E-04
		10,0 - 13,0	0,518	5,41E-05
SM-18	4	1,0 - 4,0	2,667	2,78E-04
		4,0 - 7,0	0,711	7,42E-05
		7,0 - 10,0	0,508	5,31E-05
		10,0 - 13,0	0,276	2,62E-05
SM-19	4	1,0 - 4,0	2,222	2,32E-04
		4,0 - 7,0	2,107	2,20E-04
		7,0 - 10,0	0,13	1,36E-05
		10,0 - 13,0	0,716	7,48E-05
SM-20	4	1,0 - 4,0	0,321	3,36E-05
		4,0 - 7,0	0,12	1,25E-05
		7,0 - 10,0	0,048	4,98E-06
		10,0 - 13,0	0,038	3,95E-06
SM-21	4	1,0 - 4,0	2,783	2,91E-04

Sondagem	Quant.	Trechos Ensaiaados (m)	Perda d'Água Específica (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
		4,0 - 7,0	0,063	6,53E-06
		7,0 - 10,0	0,037	3,85E-06
		10,0 - 13,0	0,053	5,49E-06

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4 – Geologia e Geotecnia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Nas sondagens da barragem não foram realizados ensaios de infiltração, conforme definido com a fiscalização, a pequena espessura do solo (média de 0,70 m) existente sobre o maciço rochoso impossibilitava sua execução e seus resultados poderiam ser duvidosos. Entretanto, foram realizados ensaios de infiltração tipo “Le Franc”, apenas no furo SM-08, onde foi encontrado um solo com 3,0m de profundidade, o **Quadro 3.12** apresenta os coeficientes de permeabilidade determinados.

Quadro 3.12 – Ensaio de Infiltração no Eixo do Barramento

Sondagem	Quant.	Trechos Ensaiaados (m)	Coef. Permeabilidade (cm/s)
SM-8	2	1,0 - 2,0	2,59E-03
		2,0 - 3,0	1,03E-03

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4 – Geologia e Geotecnia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

3.4.3.2. Estudos Geotécnicos do Vertedouro

Os estudos geotécnicos nos locais estudados para a localização do vertedouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo.

Ao longo dos eixos alternativos, estudados para avaliação do melhor local da implantação do sistema vertedouro, foram realizadas 2 sondagens rotativas totalizando 40,45 m perfurados. No **Quadro 3.13** são apresentados os dados técnicos gerais das sondagens rotativas realizadas.

Quadro 3.13 – Características das Sondagens Rotativas no Vertedouro

Furo	Estaca	Coordenadas		Cota (m)	Prof. Rocha (m)
		Eixo (x)	Eixo (y)		
SR-01	SAN-EIXO-0	9.529.876,82	353.768,76	190,8	20,2
SR-02	SAN-EIXO-	9.529.968,98	353.807,57	178,46	20,25
	e5JUS100				
TOTAL					40,45

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4 – Geologia e Geotecnia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Foram realizadas 2 sondagens percussivas, na região a montante do eixo do vertedouro, num total de 0,89 m perfurados. No **Quadro 3.14** são apresentados os dados técnicos gerais das sondagens percussivas realizadas.

Quadro 3.14 - Características das Sondagens Percussivas no Vertedouro

Furo	Estaca	Coordenadas		Cota (m)	Prof.Solo (m)	SPT Mínimo	Descrição do material
		Eixo (x)	Eixo (y)				
SP-21	SAN-EIXO-	9.529.692,64	353.690,80	183,13	0	-	Afloramento de rocha
	10MOM200						
SP-22	SAN-EIXO-	9.529.784,73	353.729,78	192,75	0,89	45	Areia fina, siltosa, com pedregulho, cinza claro
	15MOM101						

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4 – Geologia e Geotecnia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

3.4.4. Materiais de Empréstimos

Os estudos das ocorrências dos materiais de empréstimos terrosos, granulares e rochosos, para a utilização na construção da Barragem Poço Comprido, foram elaborados através do reconhecimento de área em volta do eixo do barramento, de modo que fossem selecionadas as ocorrências potencialmente aproveitáveis, levando-se em conta a qualidade do material e os volumes disponíveis, preferencialmente aquelas localizadas em áreas dentro da bacia de inundação ou com distância economicamente viável.

Ao longo da campanha de prospecção do material, foram identificadas 14 jazidas de solos e de material similar. Também foram prospectadas 3 jazidas de materiais pétreos, substanciais depósitos de areia ao longo do riacho dos Macacos, o correspondente a 4 areais, e uma jazida de cascalho para revestimento de estradas. A jazida de cascalho (J-

15b) dista cerca de 2,4 km do eixo do barramento possuindo uma área útil de quase 259.000 m² e volume de 238.021 m³.

As jazidas de material terroso apresentam as características discriminadas no **Quadro 3.15**, tendo sido estudadas através de malhas quadráticas de sondagens a pá e picareta. O volume total de solo identificado para utilização no maciço da barragem é de 7.251.171,60m³. O volume passível de exploração de cada jazida foi estimado com base na área útil de cada jazida, medida topograficamente, e na profundidade útil de exploração, sendo considerado apenas a profundidade que será explorada, após eliminar expurgo e material não recomendado para este fim.

Quadro 3.15 – Características das Jazidas de Solos

Jazida	Distância (m)	Área Útil (m ²)	Esp. Média Prospectada (m)	Esp. Média Útil (m)	Vol. Disp. (m ³)
J-1	250	697.354,22	1,13	0,87	606.000,00
J-2	2.500	758.226,93	1,22	1,08	815.850,00
J-3	1.300	671.166,07	1,19	0,98	656.100,00
J-4	1.500	290.270,74	1,34	1,13	327.250,00
J-5	3.100	596.680,96	1,08	0,98	584.747,34
J-6	3.100	576.838,10	1,18	1,08	624.750,00
J-7	1.400	322.888,61	1,09	0,99	319.659,72
J-8	1.300	461.443,47	1,19	1,06	490.500,00
J-14	1.900	475.692,78	1,62	1,34	639.065,00
J-15A	2.300	237.619,53	1,21	0,99	235.200,00
J-16	2.100	333.287,25	1,22	1,12	373.281,72
J-17	3.000	442.510,00	1,13	0,98	432.600,00
J-18	4.100	497.415,86	1,2	1,08	539.000,00
J-19	4.900	557.034,69	1,19	1,09	607.167,81
Totais	-	6.918.429,21	-	-	7.251.171,59

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4.1 – Estudo dos Materiais Construtivos. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

As amostras coletadas foram submetidas a ensaios normais de caracterização, constando de determinação de granulometria por peneiramento e sedimentação, limites de consistência de Atterberg (LL e LP), compactação Proctor normal, Umidade, Densidade natural, Ensaio de expansibilidade, Índice de suporte Califórnia – CBR, Cisalhamento direto lento, triaxial (UU) não consolidado não drenado, triaxial (CU) consolidado - não drenado, Permeabilidade (carga variável) e expansividade.

Os resultados dos ensaios indicaram que as jazidas apresentam, na maioria dos casos, areia argilosa ou areia siltosa em quantidades adequadas à exploração e uso na construção da barragem. Não foi identificado problema de expansividade do material, uma vez que os resultados específicos apresentaram valores inexpressivos para expansibilidade. Com relação à permeabilidade, as amostras apresentam valores em torno de $k = 10^{-6}$ cm/s, valores estes adequados para ser utilizado na construção do corpo da barragem.

Como fonte de material pétreo foram identificadas e estudadas três pedreiras com distâncias variando de 200 a 500 m do eixo da barragem. O volume total aflorante foi estimado em 250.500 m³ (**Quadro 3.16**).

Quadro 3.16 – Características das Pedreiras

Jazida	Distância (m)	Área Útil (m ²)	Esp. Média Útil(m)	Vol. Disp. (m ³)
JP-01	200	28.320,60	1,34	38.000
JP-02	300	39.606,77	1,77	70.000
JP-03	500	69.922,40	2,04	142.500
Totais	-	137.849,77	-	250.500

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4.1 – Estudo dos Materiais Construtivos. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

Foram coletadas amostras aflorantes e submetidas a ensaios de Desgaste à Abrasão Los Angeles (DNER - ME 35-64). Os resultados indicaram valores de 18% a 24%, o que traduz uma boa resistência mecânica do material para uso como agregado, estando em conformidade com o preconizado nas normas da NBR. Esta parametriza que o agregado deve ser constituído por partículas limpas, duras, resistentes, isentas de torrões de argila e

substâncias nocivas, devendo apresentar como características tecnológicas valores de desgaste Los Angeles menor ou igual a 40%.

Os bancos de areia que ocorrem no leito do riacho dos Macacos, a montante e a jusante do eixo da Barragem Poço Comprido, apresentam-se com uma granulometria fina a média mal graduada. Os trabalhos de campo, que foram realizados com a escavação de poços de inspeção a pá e picareta, identificaram e localizaram quatro areais para suprir os volumes necessários para construção das obras, cuja estimativa das quantidades necessárias para utilização na construção da barragem (filtros) e confecção dos concretos somam, aproximadamente, 1.185.284 m³.

Com base no estudo de identificação dos areais, os trechos JA-1.2 e JA-1.3, deverão ser aproveitadas inicialmente para os filtros da barragem, assim como na confecção dos concretos da obra. Os trechos da jazida JA-1.1 e JA-1.4, ficaram como reserva técnica na utilização na barragem devido a distância de transporte menos favorável.

O **Quadro 3.17** apresenta as características dos quatro areais estudados, bem como os volumes e as distâncias destes para o eixo da Barragem Poço Comprido.

Quadro 3.17 – Localização, Volumes e Distâncias dos Areais

Jazida	Distância (m)	Área Útil (m ²)	Esp. Média prospectada (m)	Esp. Média Útil (m)	Vol. Disp. (m ³)
JA-1.1	14.500	269.071,28	1,73	1,3	349.792,67
JA-1.2	3.500	207.429,77	1,73	1,3	269.658,70
JA-1.3	3.500	185.178,40	1,73	1,3	240.731,92
JA-1.4	14.500	250.077,53	1,73	1,3	325.100,79
Totais	-	911.756,98	-	-	1.185.284,08

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4.1 – Estudo dos Materiais Construtivos. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

As amostras coletadas dos areais identificados foram submetidas aos ensaios de granulometria por peneiramento, teor de matéria orgânica e Permeabilidade (carga constante).

A **Figura 3.14** mostra a localização das áreas de empréstimos a serem exploradas durante a implantação das obras da Barragem Poço Comprido, bem como a indicação dos locais onde foram realizados os furos de inspeção e coleta de material.

Figura 3.14 – Localização das Áreas de Empréstimo

4. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

4. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

4.1. ARRANJO GERAL DAS OBRAS

O arranjo geral das obras é composto por uma estrutura em solo compactado (maciço principal), um vertedouro escavado em rocha na ombreira esquerda do riacho dos Macacos, com soleira tipo Creager e canal de restituição que tem início em bacia de dissipação e uma tomada de água com galeria envelopada na ombreira direita (Estaca E-136), conforme podem ser visualizadas na **Figura 4.1**.

As principais características técnicas das obras e das estruturas que compõem o Anteprojeto da Barragem Poço Comprido são: barragem principal, vertedouro e tomada d'água.

4.2. BARRAGEM PRINCIPAL

A Barragem Poço Comprido consta de um maciço em terra zoneada, a ser constituída de material do tipo SM/SC (segundo classificação USC) no espaldar de montante e jusante, com pseudo-núcleo do mesmo material, diferindo somente a procedência das jazidas. Os materiais provindos das escavações obrigatórias das fundações poderão ser utilizados, desde que devidamente selecionados e avaliados em laboratório. A barragem será assentada diretamente sobre solo residual, com uma trincheira parcial tipo cut-off complementada por um sistema de tratamento por injeção de cimento.

A capacidade da Barragem Poço Comprido foi definida em 329,59 hm³. A soleira do sangradouro foi fixada na cota 182,00m e a solução adotada para o desenvolvimento do projeto será de vertedouro do tipo soleira delgada com perfil tipo Creager. Com todos os cálculos elaborados adotou-se para o projeto a cota 187,00m para o coroamento da barragem e por conseguinte, a altura máxima da barragem ficou limitada em 38,00m, com largura de crista de 8,00 metros.

Para a fundação da barragem foi previsto um cut-off com taludes de 1,5(H) :1(V), a partir do encontro do filtro inclinado com o tapete horizontal. A largura da base do cut-off foi determinada em 7,00m de acordo com cálculos referentes à esta estrutura, não podendo, no entanto, ser inferior a 4,00m, permitindo área mínima de trabalho para os equipamentos para compactação.

Figura 4.1 – Arranjo Geral das Obras

Complementando a função do cut-off, está previsto tratamento superficial em toda área de implantação da barragem, consistindo na remoção de todo o solo de recobrimento com espessura média de 3,00 a 6,00 metros, desde que se atinja camadas com SPT médio de 15 golpes, e um tratamento mais intenso em profundidade através de injeção de calda de cimento.

Foi previsto tratamento profundo das fundações através de uma linha de injeções de impermeabilização, com furos primários, secundários e se necessário for, terciários. Este tratamento deverá ser aferido em campo, uma vez que o comportamento do maciço desenhará quando do avanço do tratamento através dos boletins de campo.

Sendo a barragem homogênea, os taludes de montante e de jusante deverão receber proteção contra erosão causada pela ação das ondas que se formarão no lago e pelas águas pluviais. Adotou-se, portanto, para proteção do talude de montante, uma camada de enrocamento (rip-rap) de 0,40m de espessura e outra camada de transição produzida em obra de 0,30 m, resultando uma espessura total de 0,70m.

O talude de jusante será protegido da ação das águas de chuva por uma camada de brita tipo bica corrida, com uma espessura de 30,0 cm, cujo talude interno será de 2,0(H): 1(V). Na proteção do talude de jusante com material granular, deverá ser usado material resistente à percolação de água de chuva, com granulometria de cascalho ou brita, em camada única executada diretamente sobre o talude compactado.

O sistema de drenagem interna da barragem será constituído por um dreno de pé situado na extremidade do talude de jusante, ligado a um filtro inclinado para montante face à altura da barragem, reduzindo assim, as tensões nesta área. O dreno-de-pé ou rock-fill, em configuração trapezoidal com pedras compactadas com topo na cota 153,00m tem a finalidade de facilitar a drenagem das águas freática e pluviais, além de aumentar a estabilidade do talude de jusante.

Entre o dreno-de-pé e o maciço compactado está previsto um filtro de transição composto de duas camadas, sendo uma com 0,50 m de espessura horizontal de brita com granulometria variável (tamanhos 1 a 3) e a outra de 0,50 m de espessura horizontal de areia com granulometria para filtro. Esta camada de areia é prolongada no tapete drenante, com espessura de 1,00 m, até atingir o filtro inclinado, projetado com a mesma espessura,

garantindo uma distância vertical ao talude, suficiente para evitar surgências na região do talude de jusante, devidas à capilaridade, além de infiltrações de águas pluviais diretamente no filtro, fissuras indesejáveis que comprometam a estabilidade.

O filtro inclinado tem a função de ser um dispositivo de proteção contra o carreamento do material fino do maciço argiloso, pela água em percolação, completando a função de coletar eventuais fluxos pela fundação, após o cut-off, com um tapete drenante que deságua num enrocamento de pé.

4.3. VERTEDOURO

O vertedouro da Barragem Poço Comprido ficará localizado em uma sela topográfica na ombreira esquerda do riacho dos Macacos. O mesmo será composto por um canal de aproximação, uma soleira e um canal de restituição.

Mediante avaliação das alternativas de vertedouro estudadas foi adotado o vertedouro com largura de 150,0 metros do tipo soleira delgada com perfil Creager, dimensionado com base nos moldes do U.S.B.R, com perfil que se aproxima o máximo possível da lâmina d'água caindo de um vertedouro de parede delgada. A cota da soleira foi definida como sendo 182,0m e.

Para a restituição da água vertente ao leito do riacho dos Macacos, está previsto um canal de restituição, que tem seu início na bacia de dissipação e termina no leito da drenagem natural existente. Para que atenda a vazão efluente máxima para chuva de 1.000 anos, foi projetada uma bacia de dissipação do tipo “piscina”, estudada em laboratório por Forster e Skrinde, utilizada na barragem de Monksville, nos EUA. e de Upper Stillwater, do US. Bureau of Reclamation. A bacia de dissipação encontra-se à cota 176,50m, possui uma largura de 150,00 m e um comprimento de 25,00 m.

4.4. TOMADA D'ÁGUA E EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS

A tomada d'água será implantada na ombreira direita, locada na estaca E136+0m, sendo composta por duas tubulações em aço com diâmetro de 1.500 mm e 173 m de comprimento envelopadas em concreto armado. Será posicionada formando um ângulo de 90° com o eixo da barragem, tendo os eixos de entrada e saída à cota 158,50m.

Será composta por uma obra de controle de montante, corpo da tomada e uma caixa de jusante de controle e equipamentos. Cada tubulação possuirá em sua entrada, uma grade de proteção, seguida mais para jusante de uma comporta acionada por meio de dispositivo hidromecânico.

O controle das vazões é feito através de uma válvula dispersora do tipo Howell-Bunger, colocada na extremidade de jusante, a fim de permitir uma descarga dissipada na área a jusante do maciço da barragem. Uma casa de comando abrigará o dispositivo de acionamento da válvula.

A obra de controle de montante será composta por uma caixa na entrada da tomada, que deverá ser assente em rocha e uma torre de operação dos equipamentos, em seu topo será instalado um sistema de elevação para a comporta e a grade. A caixa de montante será construída em concreto armado onde será instalada uma grade de limpeza (2,00 x 2,50m) e uma comporta tipo vagão com dimensão de 2,0 x 2,5m, cuja elevação será feita por uma talha de 15 toneladas a ser instalada na laje da torre. Acima da caixa de montante será elevada uma torre de controle de equipamento, o que permitirá a operação dos equipamentos a serem instalados na caixa de montante e servirá de acesso ao interior da galeria da tomada d'água, e em seu topo será instalado um sistema de elevação para a comporta e grade.

4.5. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DAS ESTRUTURAS DA BARRAGEM

Os cálculos da estabilidade dos taludes do maciço foram efetuados utilizando-se a análise estática, a qual foi executada com base no método de equilíbrio limite, utilizando a metodologia proposta por Bishop e também a metodologia de Janbu, implementados automaticamente através do programa de cálculos SLOPE/W, utilizando interface com o programa SEEP/W para dados de percolação e pressões neutras.

A seção escolhida para os cálculos foi a seção máxima, situada na estaca E-127 e tem 38,0 m de altura, uma vez que esta detém as condições mais desfavoráveis. Os estudos se desenvolveram através da comparação entre os fatores de segurança (FS) calculados, com os admissíveis para o projeto.

Para a seção da barragem, como hipótese simplificadora, não foram consideradas as camadas no coroamento, rip-rap e proteção superficial de jusante. Essas simplificações

influem pouco nas análises e ainda assim são a favor da segurança, já que os materiais destas camadas foram substituídos por outros com parâmetros de resistências inferiores.

Portanto, nesta fase de projeto foram analisadas as seguintes situações: Final de Construção – análise feita para os taludes de montante e jusante; – Regime Permanente (Operação) – análise feita no talude de jusante; – Rebaixamento Rápido – análise feita no talude de montante.

4.6. FICHA TÉCNICA

As principais características das obras da Barragem Poço Comprido podem ser resumidas em:

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM POÇO COMPRIDO	
1 - IDENTIFICAÇÃO	
Denominação	Barragem Poço Comprido
Município	Santa Quitéria
Sistema	Rio Acaraú
Rio Barrado	Riacho dos Macacos
2 - CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO	
Área da Bacia Hidrográfica	1.469,27 km ²
Área da Bacia Hidráulica (cota 182,00 m)	3.677,83 ha
Volume Acumulado (cota 182,00 m)	329,59 hm ³
Volume Morto do Reservatório	2,00 hm ³
Vazão Máxima Milenar Afluente	2.475 m ³ /s
Vazão Máxima Decamilenar Afluente	3.284 m ³ /s
3 - BARRAGEM	
Tipo	Terra Zoneada
Cota do Coroamento	187,00 m
Largura do Coroamento	8,0 m
Comprimento da Barragem	3.660,74 m
Altura Máxima	38,0 m
Volume Total do Maciço	108.434.232,78 m ³
Talude de Montante	3,0 (H):1,0 (V)
Talude de Jusante	2,0 (H):1,0 (V)
4 - VERTEDOURO	
Tipo	Soleira delgada escavada em rocha (Creager e bacia)
Largura	150,00 m
Cota da Soleira	182,00 m
Lâmina máxima vertente (TR = 1.000 anos)	2,536 m

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM POÇO COMPRIDO	
Descarga de projeto (TR = 1.000 anos)	1.295,0 m³/s
Lâmina máxima vertente (TR = 10.000 anos)	3,143 m
Descarga de projeto (TR = 10.000 anos)	1.787,0 m³/s
Nível d'Água Max. Normal	185,143
5 - TOMADA D'ÁGUA	
Tipo	Galeria
Diâmetro da Tubulação	2 x 1500 mm
Comprimento da Tubulação	173,0 m
Vazão Média de Regularização	2,675 m³/s
Cota do Eixo Assentamento	158,50 m

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 2 – Anteprojeto da Barragem. TOMO 1 – Relatório do Anteprojeto da Barragem, IBI/TPF, 2020.

4.7. INTERFERÊNCIA COM INFRAESTRUTURA EXISTENTE

Com a formação do reservatório proposto algumas infraestruturas de uso público serão submersas fazendo-se necessário suas relocações, estando estas representadas principalmente, por estradas vicinais que permitem o acesso às propriedades rurais da região, rede elétrica de baixa tensão, linhas de alta tensão da ENEL e trechos de estradas estaduais.

Foi identificada a presença de duas linhas de alta tensão da ENEL bordejando a área da bacia hidráulica do futuro reservatório, com uma destas se desenvolvendo paralela ao traçado da rodovia CE-366 e a outra tangenciando a área da bacia hidráulica do reservatório a oeste, totalizando 2,7 km de extensão de linha de transmissão a ser relocada. Além disto, faz-se necessária a relocação de dois trechos rodovias estaduais, cerca de 1,9 km da rodovia CE-366 e 3,3 km da rodovia CE-257, além da construção de uma ponte de 150 m de extensão sobre o riacho dos Macacos, também na CE-257.

4.8. CUSTOS E CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

As obras pertinentes à construção da Barragem Poço Comprido foram orçadas em R\$ 250.460.442,95 (Duzentos e cinquenta milhões, quatrocentos e sessenta mil, quatrocentos e quarenta e dois reais e noventa e cinco centavos), conforme pode ser visualizado no **Quadro 4.1**.

Quadro 4.1 - Custos das Obras do Reservatório

Discriminação	Valor (R\$) (*)
Serviços Preliminares	22.937.972,38
Rede Viária Interna	3.253.735,95
Barragem em Solo	128.621.658,46
Instrumentação	297.511,24
Vertedouro	29.406.668,80
Tomada d'Água	12.717.366,53
Instalação Elétrica	156.325,87
Plano Básico de Ações Ambientais	37.383.086,84
Interferências com o Lago Formado	15.686.116,88
Total	250.460.442,95

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 2 – Anteprojeto da Barragem. TOMO 1 – Relatório do Anteprojeto da Barragem, IBI/TPF, 2020.

(*) Tabelas de preço SICRO/JAN/2020, SINAPI/FEV/2020.

O cronograma físico-financeiro de construção das obras da Barragem Poço Comprido foi elaborado com o objetivo de orientar a empreiteira quanto à sequência de execução de cada serviço, tendo sido previsto um prazo de 36 meses para a sua implantação, conforme pode ser visualizado na **Figura 4.2**.

Figura 4.2 – Cronograma Físico-Financeiro de Implantação das Obras

4.9. VIABILIDADE FINANCEIRA E ECONÔMICA DO PROJETO

4.9.1. Viabilidade Financeira

A metodologia de avaliação financeira de projetos de Obras Hidráulicas tem por objetivo investigar a sustentabilidade financeira dos investimentos, tendo por base a valoração dos custos e benefícios a preços de mercado, os quais incluem impostos e subsídios. Busca, portanto, avaliar se os recursos serão aplicados de forma eficaz e se os ganhos privados e públicos são suficientes para remunerarem os investimentos propostos.

Vista pela ótica da alocação dos recursos a avaliação financeira busca mensurar o impacto direto provocado pelo aumento da oferta d'água no fluxo de caixa atual dos financiadores do projeto através da ótica incremental. Assim, como o objetivo é de mensurar o retorno aos investimentos do projeto, será formado um fluxo de caixa incremental, cuja elaboração exigirá a quantificação de diversas variáveis para as situações “sem projeto” e “com projeto”.

De acordo com a projeção populacional calculada para as sedes municipais de Hidrolândia e Santa Quitéria, no ano de 2050, a população atendida resultará em 73.559 habitantes no total e uma demanda atendida projetada de 1.273.861 m³/ano, no caso da situação sem projeto. Atualmente, 99,70% e 98,36% das populações urbanas de Hidrolândia e Santa Quitéria, respectivamente, são abastecidas pela CAGECE – Companhia de Água e Esgotos do Ceará. Adotou-se para consumo de água per capita residencial e comercial (q) de 150 L/hab/dia, por se tratar de valor usualmente utilizando em projetos similares. Foi admitido que este consumo *per capita* permanecerá constante ao longo do alcance do projeto.

Na projeção da oferta foi considerada a demanda com projeto, adicionando-se as perdas do sistema resultando, no ano de 2050, uma oferta total de 5.046.376 m³/ano. Nesse cálculo, as perdas físicas dos sistemas de Hidrolândia e Santa Quitéria vão decrescendo, respectivamente, de 37,5% e 42,8% (perda no ano 2020), até 20,5% e 20,8% no horizonte projetado (ano 2050). Para a situação sem projeto, a oferta foi calculada considerando-se as populações ligadas e não ligadas à rede. Para a primeira, a oferta é igual à demanda adicionando-se as perdas físicas no ano de 2020, mantida constante durante todo o horizonte de análise, totalizando 2.166.152 m³/ano. Para os não ligados, considerou-se a oferta igual à demanda.

No cálculo total das receitas, para a situação sem projeto, a demanda anual sem projeto da população ligada à rede foi multiplicada pela tarifa média de R\$ 3,18/m³, deduzido o percentual de perdas financeiras, estimado em 20,6%, em Hidrolândia, e 15,8% em Santa Quitéria, resultando no ano 2050 um total de R\$ 4.011.048. Para a situação com projeto, as receitas calculadas para o ano de horizonte atingiram o valor de R\$ 15.244.243.

Os custos de implantação da barragem, juntamente com os custos da adutora totalizaram R\$ 313.199.845,72. Os custos operacionais da situação sem projeto foram estabelecidos com base no valor de R\$ 3,54/ m³, sendo estimados proporcionalmente aos níveis de produção. Para cálculo desses custos operacionais da situação sem projeto foram considerados os valores das despesas com manutenção da rede de distribuição e despesas de energia por m³, obtidos a partir dos dados do sistema atual fornecidos pela CAGECE, sendo estimados, respectivamente, em R\$ 1,19/m³ e R\$ 0,46/m³ para Hidrolândia, e R\$ 1,43/m³ e R\$ 0,46/m³ para Santa Quitéria. Para a situação com projeto, os custos operacionais foram estabelecidos a partir da evolução do número de economias, da vazão do sistema, a potência das bombas e os custos de energia de consumo - R\$0,63882/kWh e energia de demanda - R\$ 63,88/kWh.

O cálculo dos fluxos financeiros do projeto, constando dos valores relativos às receitas, aos investimentos, aos custos operacionais e aos benefícios líquidos incrementais, resultantes das situações com e sem projeto, resultou uma TIR financeira de 1,48%, que pode ser considerada baixa, mas situa-se dentro dos critérios de elegibilidade dos estudos de viabilidade dos projetos da Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), que admite uma TIR financeira de até – 5%. Observa-se, ainda, que deveria ser necessário cobrar uma tarifa média de R\$ 20,81/m³ para que a TIR financeira fosse igual a 12%. Sem a cobrança deste nível tarifário, o volume de subsídio líquido é de R\$ 17,00/m³.

O impacto fiscal do projeto foi calculado através da diferença entre a situação com projeto e a situação sem projeto dos fluxos financeiros de investimentos, custos de operação e manutenção e de receitas. O montante de impactos fiscais incrementais gerados pelo projeto, em termos de valor presente, correspondem a um montante de R\$ 75.685.618,00 (R\$ de janeiro de 2021). Este valor, apesar de representativo em termos de impacto direto na geração de impostos, pode ser considerado como conservador, pois se limita apenas aos gastos de investimentos e de O&M e receitas pela venda de água e, portanto, não

considera o impacto fiscal adicional a ser gerado com o incremento das atividades econômicas proporcionadas pelo projeto nas localidades beneficiadas (efeitos "para traz" e "para frente").

Como consequência ainda dos benefícios indiretos pela implantação do projeto, o setor público reduzirá, naturalmente, suas despesas com obras e serviços de assistência social, principalmente para oferecer fontes alternativas de abastecimento humano e pela redução dos atendimentos médicos provocados pela melhoria da qualidade da água. Desta forma, pode-se concluir que o projeto é financeiramente viável, desde que sejam incluídos nos fluxos de benefícios líquidos, como consequência do projeto, todos os impactos fiscais diretos e indiretos.

4.9.2. Viabilidade Econômica

A avaliação econômica objetiva averiguar se os recursos serão aplicados de forma eficaz e se os ganhos privados e públicos são suficientes para remunerarem os investimentos propostos. Assim, como o objetivo é mensurar o retorno dos investimentos do projeto, formou-se um fluxo de caixa incremental, cuja elaboração exigiu a quantificação de custos de investimentos e de operação, administração e manutenção, medidas ambientais e dos benefícios incrementais oriundos do projeto de abastecimento humano, do aproveitamento agrícola e dos benefícios líquidos econômicos associados à piscicultura.

Os benefícios sociais decorrentes da implantação de um projeto de abastecimento de água potável tornam o processo decisório de natureza social, pois, em geral, espera-se que esses projetos possam proporcionar os seguintes benefícios:

- Redução das taxas de morbidade e mortalidade provocada por enfermidades de origem hídrica;
- Melhorias dos hábitos e atitudes da população beneficiária, com respeito ao uso da água e disposição final;
- Promoção do desenvolvimento econômico, social e intelectual das comunidades através de melhorias das condições sanitárias.

No entanto, em face ao reconhecido *problema econômico* de escassez de recursos frente às necessidades ilimitadas, a decisão sobre a implantação desses projetos exige a

aplicação de critérios econômicos, tendo em vista os objetivos de alocação eficiente dos recursos, de crescimento econômico e de distribuição de renda.

É dentro desse contexto do problema econômico que se insere a avaliação econômica de projetos, com o intuito de demonstrar para a sociedade em quanto a implantação de um projeto aumenta o seu bem-estar. Em um país em desenvolvimento, uma boa medida dessa variação de bem-estar coletivo é o incremento de riqueza gerado pelo projeto.

A mensuração dessa variação pode ser efetuada através de uma Análise de Custo-Benefício (ACB). Uma técnica de estimar monetariamente os custos e benefícios decorrentes de um projeto sobre todos os agentes afetados, em uma mesma medida (reais, dólares, etc) e para diferentes momentos. Em outras palavras, o objetivo da ACB é formar um fluxo de caixa de custos e benefícios que atualizados por uma dada taxa social de desconto resultem em um Valor Presente Líquido (VPL). Se o valor presente desse fluxo for positivo, deve-se aceitar o projeto, pois neste caso ele agregará riqueza à sociedade, mas se VPL for negativo, deve-se rejeitá-lo, mesmo que privadamente represente um bom negócio para os donos do projeto, pois nesta situação, o ganho proporcionado aos donos será, pelo menos, igual à perda sofrida pelos demais agentes econômicos afetados.

É nesse último ponto que aparece uma primeira diferença entre a avaliação financeira e econômica de projeto, aquela se preocupa apenas com os empreendedores ou financiadores, enquanto que esta última envolve todos os agentes econômicos: consumidores, produtores e governos.

Os resultados da avaliação econômica (valor presente líquido e relação B/C) dos usos múltiplos da Barragem Poço Comprido, ou seja, abastecimento d'água, plano de produção agrícola e piscicultura, a uma taxa de desconto de 12%, e a taxa interna de retorno, dos fluxos econômicos do projeto, considerando duas hipóteses para o valor dos investimentos da barragem são resumidos no **Quadro 4.2**.

Para efeito de cálculo do retorno econômico dos usos múltiplos da Barragem Poço Comprido foram consideradas duas hipóteses para o valor dos investimentos da barragem: 70% e 50%. Percebe-se que os resultados da avaliação econômica atingem indicadores bastante satisfatórios, que é de uma TIR de 11,79%, considerando 70% dos custos da

barragem, enquanto na hipótese de 50% dos custos da barragem o empreendimento ainda atinge 14,61%.

Quadro 4.2 – Resultados da Avaliação Econômica e Análise de Sensibilidade dos Fluxos Básicos de Custos e benefícios dos Usos Múltiplos da Barragem Poço Comprido

Discriminação	Percentual do Valor dos Investimentos da Barragem			
	70%		50%	
	Relação B/C	TIR (%)	Relação B/C	TIR (%)
Fluxos Normais de Benefícios e Custos	0,9825	11,79	1,2167	14,61
Análise de Sensibilidade				
-5%nosBenefícios	0,9334	11,18	1,1559	13,90
-10%nosBenefícios	0,8842	10,57	1,0951	13,17
-5%nosBenef.e+5%nosCustos	0,8889	10,63	1,1009	13,24
-5%nosBenef.e+10%nosCustos	0,8485	10,11	1,0508	12,63
-10%nosBenef.e+5%nosCustos	0,8421	10,03	1,0429	12,53
-10%nosBenef.e+10%nosCustos	0,8038	9,53	0,9955	11,94

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A3 – Relatório Final Viabilidade Técnica, Socioeconômica e Ambiental. Volume 1 – Relatório Final de Viabilidade, IBI/TPF, 2021.

Esses resultados podem ser considerados como dentro dos padrões normais de aceitabilidade de projetos dessa natureza, visto que não foram incluídos nos fluxos outros benefícios com a implantação e funcionamento do projeto, além da poupança aos cofres públicos pela redução das despesas com transferências com as famílias que serão empregadas na fase de implantação e durante a operação do projeto (programas de garantia de renda mínima), gastos com carros-pipa, entre outras reduções de despesas públicas motivadas pela melhoria da qualidade de vida da população, tais como despesas de saúde provocadas por doenças de veiculação hídrica e geração de rendas adicionais pela criação de fontes hídricas superficiais, como as agroindústrias, o turismo, etc..

Vale ressaltar, ainda, que mesmo no cenário mais pessimista, cuja TIR foi de 7,17% (com redução de 10% nos benefícios e aumento de 10% nos custos e 100% dos custos da barragem), a taxa de retorno do projeto é superior ao custo de fundos no Brasil, que se encontra hoje em 4,61% a.a., no caso a TJLP, que é a taxa de juros de longo prazo, operada pelo BNDES.

4.10. CANTEIRO DE OBRAS

O canteiro de obra deve dispor de áreas de vivência devidamente dimensionadas em função das características de cada local e da quantidade de funcionários, incluindo no mínimo as seguintes edificações (**Quadro 4.3**):

Quadro 4.3 – Edificações Mínimas no Canteiro de Obras

Item	Discriminação
01	Escritório da Administração
02	Oficina, Lavagem e Lubrificação
03	Refeitório
04	Almoxarifado
05	Guarita
06	Carpintaria
07	Centro de Armação
08	Laboratório
09	Sanitários e Vestiários
10	Estacionamento - Cobertas
11	Área Industrial – Central de Concreto e Britador
12	Fossa Sumidouro para Edificações
13	Instalações Provisórias de Água
14	Instalações Provisórias de Luz, Força, Telefone e Lógica
15	Placas Alusivas à Obra

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 2 – Anteprojeto da Barragem. TOMO 1 – Relatório do Anteprojeto da Barragem, IBI/TPF, 2020.

4.11. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS OBRAS

Para cumprimento do cronograma de implantação previsto no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento listada no **Quadro 4.4** abaixo:

Quadro 4.4 – Quantidade Mínima de Equipamentos Necessários

Item	Discriminação	Unidade	Quantidade
1	Usina de concreto fixa	ud	1,00
2	Betoneira capacidade nominal de 600 l	ud	3,00
3	Caminhão betoneira	ud	2,00
4	Vibrador de imersão de 2 cv	ud	10,00
5	Britador de mandíbulas móvel, com capacidade de 140 m ³ /h – 170 Kw	ud	1,00
6	Pá carregadeira sobre rodas, 128 hp, capac. 1,7 a 2,8 m	ud	6,00
7	Motoniveladora potência básica líquida 125 hp	ud	9,00
8	Rolo compactador vibratório 125 hp	ud	3,00
9	Trator de esteiras, potência 150 hp	ud	9,00
10	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 t	ud	9,00
11	Retroescavadeira sobre rodas com carregadeira, 72 hp	ud	5,00
12	Grade de disco	ud	9,00
13	Trator de pneus 122 cv, tração 4x4	ud	9,00
14	Rolo compactador pé de carneiro vibratório, 125 hp	ud	6,00
15	Caminhão pipa 10.000 l trucado	ud	6,00
16	Caminhão basculante 10 m ³ , trucado, peso bruto total 23.000 kg	ud	30,00
17	Caminhão basculante 3ª cat. 12 m ³	ud	5,00
18	Caminhão carroceria truck 15 t	ud	2,00
19	Guindauto hidráulico, cap. Máx. 6500 kg	ud	4,00
20	Cavalo mecânico c/ reboque	ud	2,00
21	Compressor de ar rebocável, vazão 748 pcm, motor diesel, 210 cv	ud	5,00
22	Motobomba centrífuga, a gasolina, 5,42 hp	ud	5,00
23	Caminhonete com motor a diesel, 180 cv, 4x4	ud	2,00
24	Caminhonete cabine simples 1.6 flex, 101/104 cv, 2 portas	ud	5,00

Item	Discriminação	Unidade	Quantidade
25	Gerador portátil monofásico, 5500 va, gasolina, 13 cv	ud	3,00
26	Perfuratriz pneumática manual, martelete, 18kg	ud	3,00
27	Perfuratriz sobre esteira, torque máx. 600 kgf, 50 e 60 hp	ud	2,00
28	Grupo de soldagem diesel 60 cv para solda elétrica	ud	1,00
29	Grupo gerador com carenagem, diesel, 250 e 260 kva	ud	6,00
30	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	ud	1,00
31	Bomba triplex, para injeção de nata de cimento, 100 litros/minuto, 70 bar	ud	1,00
32	Perfuratriz rotativa sobre esteira, torque máx. 2500 kgm, 110 hp	ud	4,00
33	Perfuratriz manual, torque máximo 83 n.m, 5 cv, diâmetro máximo 4" equipamento de perfuração rotativa tipo nx	ud	1,00
34	Ônibus	ud	2,00
35	Ambulância	ud	1,00

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 2 – Anteprojeto da Barragem. TOMO 1 – Relatório do Anteprojeto da Barragem, IBI/TPF, 2020.

4.12. ORIGEM E QUANTIFICAÇÃO DA MÃO DE OBRA EMPREGADA

As obras da Barragem Poço Comprido deverão interferir no mercado de trabalho da região através da oferta de um elevado número de empregos, sobretudo para mão de obra não qualificada. Está previsto o seguinte quantitativo de pessoal (**Quadro 4.5**).

Quadro 4.5 – Quantificação da Mão de Obra Empregada

Discriminação	Unid.	Quantidade
DIREÇÃO DA OBRA		
Coordenador da obra engenheiro ou arquiteto chefe/sênior	ud.	1
Engenheiro ou arquiteto /sênior - de obra (eng ^o residente)	ud.	1
Engenheiro /pleno - de obra (eng ^o mecânico)	ud.	1
Engenheiro /pleno - de obra (eng ^o eletricista)	ud.	1
Engenheiro ou arquiteto auxiliar/júnior - de obra	ud.	1
ÁREA ADMINISTRATIVA		
Feitor ou encarregado geral (chefe de escritório)	ud.	1
ÁREA DE ENGENHARIA		
Feitor ou encarregado geral (encarregado de sala técnica)	ud.	1
Topógrafo	ud.	1
Desenhista detalhista	ud.	1
Encanador ou bombeiro hidráulico (técnico hidromecânico)	ud.	1
LABORATÓRIO		
Feitor ou encarregado geral (encarregado de laboratório)	ud.	1
Técnico de laboratório (laboratorista de concreto/solos)	ud.	1
PLANEJAMENTO/CUSTO		
Feitor ou encarregado geral (encarregado de medição)	ud.	1
MANUTENÇÃO DE CANTEIRO		
Feitor ou encarregado geral (encarregado de manutenção)	ud.	1
ÁREA MÉDICA		
Médico	ud.	1
Enfermeiro	ud.	1
SEGURANÇA DO TRABALHO		
Engenheiro ou arquiteto/pleno - de obra (eng ^o de segurança do trabalho)	ud.	1
Técnico de segurança do trabalho	ud.	1
OFICINA		
Feitor ou encarregado geral (encarregado geral de mecânica/lubrificação)	ud.	1
Almoxarife	ud.	1
Mecânico de equipamentos pesados (pesados/leves)	ud.	1
Soldador	ud.	1
TRANSPORTE		
Feitor ou encarregado geral (encarregado de transporte)	ud.	1
VIGILÂNCIA		
Feitor ou encarregado geral (encarregado de vigilância)	ud.	1

Fonte: COGERH, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 2 – Anteprojeto da Barragem. TOMO 1 – Relatório do Anteprojeto da Barragem, IBI/TPF, 2020.

5. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PERTINENTE

5. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PERTINENTE

5.1. COMPATIBILIZAÇÃO DO PROJETO COM A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL VIGENTE

O Estado do Ceará vem sendo constantemente assolado por secas periódicas, razão pela qual o aproveitamento dos seus recursos hídricos é de fundamental importância para o seu processo de desenvolvimento. Tendo em vista que o problema da escassez de água, associado ao crescimento acelerado da população, vem provocando o aparecimento de regiões cujas potencialidades hídricas estão esgotadas ou sujeitas a racionamento do uso da água nos períodos de estiagens prolongadas, torna-se necessária a implantação de reservatórios para o atendimento da demanda.

No entanto, faz-se necessária a implementação de um planejamento que considere em seu bojo os efeitos dos impactos ambientais decorrentes da construção deste tipo de empreendimento.

Desta forma é de suma importância o conhecimento dos instrumentos legais existentes, com os quais o empreendimento deverá estar em conformidade, visando a proteção do meio ambiente de sua área de influência, tendo para tanto sido elaboradas sínteses dos aspectos legais que regem a legislação ambiental vigente, as quais são esboçadas a seguir agrupadas por temas ou recursos ambientais sobre as quais dispõem:

Preceito Constitucional

- Artigo 225 da Constituição Federal: reza que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações;
- Constituição Estadual, promulgada no dia 05 de outubro de 1989;
- Leis Orgânicas dos municípios de Santa Quitéria, Hidrolândia e Catunda.

Política Nacional do Meio Ambiente

- Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pelas Leis nº 7.804/89 e 8.028/90 e regulamentada pelos Decretos nº 97.632/1989, 99.274/1990, 4.297/2002 e 5.975/2006: dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, definindo diretrizes gerais de conservação

ambiental, compatibilizando o desenvolvimento das atividades econômicas com a preservação do meio ambiente. Institui, ainda, o licenciamento ambiental;

- Lei Federal nº 8.028, de 12 de abril de 1990: dá nova redação ao Art. 1º, aos incisos I, II e III do Art. 6º, ao Art. 8º da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981;
- Lei Federal nº 7.804, de 18 de julho de 1989: altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980;
- Lei Federal nº 9.960, de 28 de janeiro de 2000: Institui a Taxa de Serviços Administrativos - TSA, em favor da Superintendência da Zona Franca de Manaus - Suframa, estabelece preços a serem cobrados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, cria a Taxa de Fiscalização Ambiental – TFA;
- Lei Federal nº 9.966, de 28 de abril de 2000: dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências;
- Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000: regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências;
- Lei Federal nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000: altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação;
- Lei Federal nº 11.105, de 24 de março de 2005: em seu Art. 37 altera a descrição do Código 20 do Anexo VIII da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, acrescido pela Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000 e dá outras providências;
- Lei Federal nº 11.284, de 02 de março de 2006: dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de

2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973;

- Lei Federal nº 11.941, de 27 de maio de 2009: altera a legislação tributária federal relativa ao parcelamento ordinário de débitos tributários; concede remissão nos casos em que especifica e dá outras providências;
- Lei Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011: Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981;
- Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012: dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996 e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965 e 7.754, de 14 de abril de 1989 e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências;
- Lei Federal nº 12.727, de 17 de outubro de 2012: altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

Política Estadual do Meio Ambiente

- Lei Estadual nº 11.411, de 28 de dezembro de 1987 e suas modificações posteriores (regulamentada pelo Decreto nº 20.067/89): dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente e cria a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e o Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA);
- Lei Estadual nº 12.274, de 05 de abril de 1994: altera a redação dos artigos que especifica da Lei nº 11.411, de 28 de dezembro de 1987, acrescenta outros e dá outras providências;

- Lei Estadual nº 12.413, de 10 de janeiro de 1995 - Altera a Alínea "e" e acrescenta as Alíneas "v" "x" e "z" ao parágrafo único do artigo 3º da Lei Nº 11.411, de 28 de dezembro de 1987;
- Lei Estadual nº 12.910, de 09 de junho de 1999 - Altera o Art. 3º, seu parágrafo único e o Art. 4º da Lei nº 11.411, de 28 de dezembro de 1987 e dá outras providências;
- Lei Estadual nº 15.773, de 10 de março de 2015 - Extingue o Conselho de Políticas e Gestão do Meio Ambiente – CONPAM e cria a Secretaria do Meio Ambiente – SEMA e estabelece a vinculação da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE à SEMA;
- Lei Estadual nº 15.798, de 01 de junho de 2015 – Define em seu Artigo 3º as competências da SEMA.

Licenciamento Ambiental

- Decreto Federal nº 99.274, de 06 de junho de 1990: Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938/81 e estabelece no seu Capítulo IV os critérios para licenciamento das atividades modificadoras do meio ambiente;
- Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986 (modificada no seu Artigo 2º pela Resolução CONAMA nº 011, de 18/03/86): estabelece definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente;
- Resolução CONAMA nº 006, de 24 de janeiro de 1986: institui e aprova modelos para publicação de pedidos de licenciamento, sua renovação e respectiva concessão;
- Resolução CONAMA nº 011, de 18 de março de 1986: altera e acrescenta incisos na Resolução CONAMA nº 001/86 que torna obrigatória a elaboração de estudos de impacto ambiental para determinados tipos de empreendimentos;
- Resolução CONAMA nº 009, de 03 de dezembro de 1987: regulamenta a questão das audiências públicas;

- Resolução CONAMA nº 005, de 15 de junho de 1988: exige o estabelecimento de processo licenciatório para as obras de captação de projetos de sistemas de abastecimento d'água, cuja vazão seja acima de 20,0% da vazão mínima da fonte hídrica, no ponto de captação, e que modifiquem as condições físicas e/ou bióticas dos corpos d'água;
- Resolução CONAMA nº 002, de 16 de abril de 1996: determina a implantação de unidade de conservação de domínio público e uso indireto, preferencialmente, Estação Ecológica a ser exigida em licenciamento de empreendimentos de relevante impacto ambiental, como reparação de danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas. Revoga a Resolução CONAMA nº 10/87;
- Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997: revisa os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental;
- Portaria SEMACE nº 201, de 13 de outubro de 1999: Estabelece normas técnicas e administrativas necessárias à regulamentação do sistema de licenciamento de atividades utilizadoras de recursos ambientais no território do Estado do Ceará. Revoga a Portaria SEMACE nº 201/96;
- Resolução COEMA nº 09, de 29 de maio de 2003: institui o Termo de Compromisso de Compensação Ambiental, e estabelece normas e critérios relativos a fixação do seu valor, modo, lugar e tempo do pagamento, bem como a quem deve ser pago e a aplicação desses recursos à gestão, fiscalização, monitoramento, controle e proteção do meio ambiente no Estado do Ceará;
- Instrução Normativa SEMACE nº 01/2010: define normas a serem seguidas pela SEMACE nas diversas etapas e fases do procedimento licenciamento ambiental dos empreendimentos, obras ou atividades utilizadoras de recursos ambientais, potencial ou efetivamente poluidoras, bem como aqueles que causem, sob qualquer forma, degradação ambiental;
- Lei Estadual nº 15.093, de 29 de dezembro de 2011: institui o cadastro técnico estadual de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais, a taxa de controle e fiscalização ambiental do Estado do Ceará;

- Lei Estadual nº 16.444, de 12 de dezembro de 2017: Altera o anexo II da Lei Estadual nº 15.093, de 29 de dezembro de 2011;
- Instrução Normativa IBAMA nº 21, de 24 de dezembro de 2014: Institui o Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais – Sinaflor, em observância dos arts. 35 e 36 da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012;
- Resolução COEMA nº 01, de 01 de fevereiro de 2018: estabelece revisão dos procedimentos para o Licenciamento Ambiental Simplificado das obras emergenciais necessárias ao enfrentamento da seca no Estado Ceará;
- Instrução Normativa IBAMA nº 12, de 13 de abril de 2018: Institui o Regulamento de Enquadramento de pessoas físicas e jurídicas no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais;
- Resolução COEMA nº 02, de 11 de abril de 2019: dispõe sobre os procedimentos, critérios, parâmetros e custos aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da SEMACE;
- Resolução COEMA nº 04, de 20 de agosto de 2020: Altera a Resolução COEMA nº 02, de 11 de abril de 2019;
- Resolução COEMA nº 05, de 20 de agosto de 2020: estabelece em caráter extraordinário e temporário os procedimentos para realização de audiências públicas presenciais com participação remota nos processos de licenciamento ambiental no âmbito da SEMACE, enquanto perdurar a pandemia do novo coronavírus (COVID-19);
- Resolução COEMA nº 06, de 01 de outubro de 2020: Cria o portal de publicações de licenciamento e fiscalização ambiental e estabelece os critérios e procedimentos para publicação em meio eletrônico mantido pela SEMACE;
- Resolução CONAMA nº 494, de 11 de agosto de 2020: Estabelece, em caráter excepcional e temporário, nos casos de licenciamento ambiental, a possibilidade de realização de audiência pública de forma remota, durante o período da pandemia do Novo Coronavírus (COVID-19);
- Resolução COEMA nº 10, de 10 de dezembro de 2020: Altera a Resolução COEMA nº 02, de 11 de abril de 2019.

Proteção do Meio Ambiente de Forma Abrangente

- Decreto Federal nº 84.426, de 24 de janeiro de 1980: dispõe sobre erosão, uso e ocupação do solo, poluição da água e poluição do solo;
- Portaria Interministerial nº 917, de 06 de junho de 1982: dispõe sobre a mobilização de terra, poluição da água, do ar e do solo;
- Lei Federal nº 7.347, de 24 de julho de 1985: disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico, e dá outras providências;
- Resolução CONAMA nº 03/87: dispõe sobre o ressarcimento de danos ambientais causados por obras de grande porte;
- Decreto-Lei Federal nº 95.733, de 12 de fevereiro de 1988: dispõe sobre a inclusão no orçamento dos projetos e obras federais, de recursos destinados a prevenir ou corrigir os prejuízos de natureza ambiental, cultural e social decorrentes da execução desses projetos e obras;
- Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998: denominada de “Lei dos Crimes Ambientais”. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente;
- Portaria SEMACE nº 202, de 13 de outubro de 1999: estabelece normas administrativas necessárias à regulamentação do procedimento de fiscalização, autuação e prazos, concedidos pelos Departamentos Técnico e Florestal e Procuradoria Jurídica para comparecimento à SEMACE, aos responsáveis por infração ambiental;
- Portaria SEMACE nº 117, de 22 de junho de 2007: dispõe sobre os procedimentos administrativos aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente no âmbito de competência da SEMACE;
- Decreto Federal nº 6.514, de 22 de julho de 2008: dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências.

Compensação Ambiental

- Resolução COEMA nº 09, de 29 de maio de 2003: Institui no âmbito da Política Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará o compromisso de compensação ambiental por danos causados ao meio ambiente e pela utilização de recursos ambientais;
- Resolução CONAMA nº 371, de 05 de abril de 2006: estabelece diretrizes aos órgãos ambientais para o cálculo, cobrança, aplicação, aprovação e controle de gastos de recursos advindos de compensação ambiental, conforme a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza-SNUC
- Resolução COEMA nº 11, de 04 de setembro de 2014: cria no âmbito do Estado do Ceará, a metodologia de cálculo do grau de impacto ambiental para fixação do percentual de valoração da compensação ambiental;
- Resolução COEMA nº 26, de 10 de dezembro de 2015: altera no âmbito do Estado do Ceará, a metodologia de cálculo do grau de impacto ambiental para fixação do percentual de valoração da compensação ambiental;
- Resolução COEMA nº 06, de 06 de abril de 2017: altera dispositivo da Resolução COEMA nº 09, de 29 de maio de 2003 e dá outras providências.

Proteção dos Recursos Hídricos

- Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934: decreta o Código das Águas;
- Decreto Federal nº 28.481, de 07 de dezembro 1940: dispõe sobre a poluição das águas;
- Lei Federal nº 3.824, de 23 de novembro de 1960: exige o desmatamento da área da bacia hidráulica de reservatórios;
- Decreto Federal nº 30.877, de 20 de junho de 1961: dispõe sobre o lançamento de resíduos tóxicos ou oleosos nas águas interiores ou litorâneas do país, e dá outras providências;
- Portaria MINTER nº 124, de 20 de agosto de 1980: baixa normas no tocante à prevenção de poluição hídrica;

- Lei Estadual nº 10.148, de 02 de dezembro de 1977 (regulamentada pelo Decreto nº 14.535, de 02/06/81): dispõe sobre a preservação e controle dos recursos hídricos existentes no Estado do Ceará e dá outras providências;
- Lei Estadual nº 12.217, de 18 de novembro de 1993: Cria a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH;
- Lei Estadual nº 12.522, de 15 de dezembro de 1995: define como áreas especialmente protegidas as nascentes e olhos d'água e a vegetação natural no seu entorno e dá outras providências;
- Portaria SEMACE nº 097, de 03 de abril de 1996: estabelece padrões de lançamentos nos corpos receptores para efluentes industriais e de outras fontes de poluição hídrica;
- Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997: institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- Portaria nº 518, de 25 de março de 2004: estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências;
- Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Revoga, em seu Artigo 50, a Resolução CONAMA nº 020, de 18 de junho de 1986;
- Lei Estadual nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010: dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos (SIGERH) no Estado do Ceará, o qual está a cargo da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). Revoga a Lei Estadual nº 11.996, de 24 de julho de 1992;
- Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010: estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos,

à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. Cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do Art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do Art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000;

- Resolução COEMA nº 20, de 28 de outubro de 2010: estabelece procedimentos para a exigência do documento de outorga do uso da água no curso do licenciamento ambiental;
- Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012: estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao Art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;
- Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012: estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao Art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o Art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997;
- Decreto Estadual nº 31.076, de 12 de dezembro de 2012: regulamenta os artigos 6º a 13º da Lei nº 14.844/2010, na parte referente à outorga de direito de uso dos recursos hídricos e de execução de obras e serviços de interferência hídrica. Cria o Sistema de Outorga para Uso da Água e de Execução de Obras e dá outras providências. O pedido de outorga de direito de uso de águas deverá ser encaminhado a SRH através do preenchimento de formulário padrão fornecido por esta, na qual deverá constar informações sobre destinação da água; fonte onde se pretende obter a água; vazão máxima pretendida; tipo de captação da água, equipamentos e obras complementares, bem como informações adicionais para a aprovação do pedido. Quando a outorga envolver obras ou serviços de oferta hídrica sujeitos à licença prévia da SRH (açudes, transposição de água bruta, barragem de derivação ou regularização de nível d'água e poços), será obrigatória a apresentação desta, aproveitando-se sempre que possível os dados e informações já apresentados para o licenciamento;

- Decreto Estadual nº 31.077, de 12 de dezembro de 2012: regulamenta a Lei nº 14.844/2010, que dispõe sobre a Política Estadual dos Recursos Hídricos, no que diz respeito a conservação e a proteção das águas subterrâneas no Estado do Ceará e dá outras providências;
- Lei Complementar nº 162, de 20 de junho de 2016: Institui a Política Estadual de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário no Estado do Ceará, institui o Sistema Estadual de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, o Sistema Estadual de Informações em Saneamento, e cria o Fundo Estadual de Saneamento;
- Decreto Estadual nº 32.032, de 02 de setembro de 2016: dispõe sobre a cobrança pelo uso dos Recursos Hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado do Ceará ou da União por delegação de competência, e dá outras providências;
- Lei Estadual nº 16.033, 20 de junho de 2016: dispõe sobre a política de reuso de água;
- Lei Estadual nº 16.096, 27 de julho de 2016: dispõe sobre publicidade das outorgas de uso de Recursos Hídricos;
- Lei Estadual nº 16.103, 02 de setembro de 2016: cria a tarifa de contingência pelo uso dos Recursos Hídricos em período de situação de escassez hídrica;
- Resolução COEMA nº 02, de 02 de fevereiro de 2017: dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002.
- Portaria SRH/CE Nº 2.747, de 19 de dezembro de 2017: Estabelece o cadastro estadual de barragens e a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de segurança da barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB;

- Lei Estadual nº 16.693, de 14 de dezembro de 2018: altera o artigo 7º da Lei Estadual nº 12.217, de 18 de novembro de 1993;
- Lei Estadual nº 16.852, de 20 de março de 2019: altera a Lei Estadual nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010, acrescentando novos parágrafos;
- Decreto Estadual nº 33.024, de 27 de março de 2019: Dispõe sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado do Ceará ou da união por delegação de competência;
- Resolução CONERH nº 06, de 14 de outubro de 2020: dispõe sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado do Ceará ou da União.

Proteção da Flora e da Fauna

- Lei Federal nº 5.197, de 03 de janeiro de 1967: dispõe sobre a proteção à fauna;
- Portaria SUDEPE nº N-0001, de 04 de janeiro de 1977: dispõe sobre a observância de medidas de proteção à fauna aquática nos projetos de construção de barragens;
- Decreto Federal nº 89.336, de 31 de janeiro de 1984: dispõe sobre reservas ecológicas e áreas de relevante interesse ecológico e dá outras providências;
- Resolução CONAMA nº 004, de 18 de setembro de 1985 (alterada pela Lei nº 7.803/89): define critérios, normas e procedimentos gerais para a caracterização e estabelecimento de reservas ecológicas;
- Lei Federal nº 7.754, de 14 de abril de 1989: estabelece medidas para proteção das florestas existentes nas nascentes dos cursos d'água.
- Resolução CONAMA nº 013, de 06 de dezembro de 1990: estabelece normas referentes ao entorno de unidades de conservação;
- Lei Federal nº 6.902, de 27 de abril de 1991: dispõe sobre a criação de estações ecológicas e áreas de proteção ambiental;
- Lei Estadual nº 12.488, de 13 de setembro de 1995: dispõe sobre a Política Florestal do Estado do Ceará;

- Resolução CONAMA nº 002, de 16 de abril de 1996: determina a implantação de unidade de conservação de domínio público e uso indireto, preferencialmente, Estação Ecológica a ser exigida em licenciamento de empreendimentos de relevante impacto ambiental, como reparação de danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas. Revoga a Resolução CONAMA nº 10/87;
- Decreto Estadual nº 24.221, de 12 de setembro de 1996: regulamenta a Lei nº 12.488, de 13 de setembro de 1995, que dispõe sobre a Política Florestal do Estado do Ceará;
- Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (regulamentada pelo Decreto nº 4.340, de 22/08/02 e alterada pelo Decreto nº 5.566, de 26/10/05): regulamenta o Art. 225, parágrafo 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação;
- Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002: dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de entorno;
- Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002: dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente;
- Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006: dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP;
- Lei Estadual nº 14.198, de 5 de agosto de 2008: institui a Política Estadual de Combate e Prevenção à Desertificação e dá outras providências;
- Resolução CONAMA nº 428, de 17 de dezembro de 2010: dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do Artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos

não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências". Alterada pela Resolução CONAMA nº 473/2015 (altera o §2º do Art. 1º e o inciso III do art. 5º). Revoga as Resoluções CONAMA nº 10/1988, nº 11/1987, nº 12/1988, nº 13/1990 e altera as Resoluções nº 347/2004 e nº 378/2006;

- Lei Estadual nº 14.950, de 27 de junho de 2011: institui o Sistema Estadual de Unidades de Conservação do Ceará - SEUC, e dá outras providências;
- Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012: dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996 e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965 e 7.754, de 14 de abril de 1989 e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências;
- Lei Federal nº 12.727, de 17 de outubro de 2012: altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o Item 22 do Inciso II do Art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do Art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012;
- Resolução COEMA nº 18, de 12 de setembro de 2013: dispõe sobre as normas e critérios relativos às intervenções em APP's;
- Instrução Normativa ICMBio nº 7, de 10.11.2014: estabelece procedimentos para licenciamento e autorização de pesquisa em Unidades de Conservação Federais e suas Áreas de Amortecimento, incluindo cavernas;
- Instrução Normativa IBAMA nº 21, de 24 de dezembro de 2014: institui o Sinaflor, em observância dos arts. 35 e 36 da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012;
- Resolução CONAMA nº 473, de 14 de dezembro de 2015: prorroga os prazos previstos no §2º do Art. 1º e Inciso III do Art. 5º da Resolução CONAMA nº 428/2010;
- Resolução COEMA nº 10, de 11 de junho de 2015: dispõe sobre a atualização dos procedimentos, critérios, parâmetros e custo aplicados aos processos de

licenciamento e autorização ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE;

- Resolução COEMA nº 22, de 03 de dezembro de 2015: dispõe no âmbito do licenciamento ambiental, sobre a autorização para fins de licenciamento ambiental do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), para empreendimentos com diferentes graus de impacto ambiental;
- Resolução COEMA nº 25, de 10 de dezembro de 2015: aprova alteração da Resolução COEMA nº 10/2015 para acréscimo das atividades 03.20 e 03.21, sujeitas a licenciamento simplificado, ao Grupo de Atividade 03.00 – Coleta, Transporte, Armazenamento e Tratamento de Resíduos Sólidos e Produtos;
- Resolução COEMA nº 1, de 04 de fevereiro de 2016: dispõe sobre a definição de impacto ambiental local e regulamenta o cumprimento ao disposto no Art. 9º, XIV, a, da Lei Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011
- Resolução COEMA nº 02, de 03 de março de 2016: aprova alteração da Resolução COEMA nº 10/2015 para acréscimo da atividade 03.22, sujeita a licenciamento simplificado, ao Grupo de Atividade 03.00 – Coleta, Transporte, Armazenamento e Tratamento de Resíduos Sólidos e Produtos;
- Lei nº 16.002, de 02 de maio de 2016: Cria o Programa de Valorização das Espécies Vegetais Nativas;
- Resolução COEMA nº 10, de 01 de setembro de 2016: aprova alteração dispositivo da Resolução COEMA nº 22, de 03 de dezembro de 2015 no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização para fins de licenciamento ambiental do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC) para empreendimentos com diferentes graus de impacto ambiental;
- Resolução COEMA nº 13, de 15 de dezembro de 2016: revoga o Parágrafo 1º do Artigo 6º da Resolução COEMA nº 10, de 11 de junho de 2015;
- Resolução COEMA nº 14, de 15 de dezembro de 2016: revoga o Parágrafo Único do Artigo 19º e altera os Anexos I e IV, Tabela I, da Resolução COEMA nº 10, de 11 de junho de 2015;

- Resolução COEMA nº 11, de 1º de junho de 2017: altera os Anexos I e II da Resolução COEMA nº 10, de 11 de junho de 2015;
- Resolução COEMA nº 07, de 06 de abril de 2017: altera os Códigos 05.01, 05.02, 05.04 e 05.08 da Resolução COEMA nº 10, de 11 de junho de 2015;
- Resolução COEMA nº 03, de 12 de abril de 2018: estabelece prazo para que os municípios que já executaram as atividades de licenciamento e autorização ambiental, anteriormente à publicação da Resolução nº 01/2016 se adequem aos critérios e parâmetros nela estabelecidos;
- Resolução COEMA nº 02, de 11 de abril de 2019: dispõe sobre os procedimentos, critérios, parâmetros e custos aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE.

Controle e Disciplinamento da Exploração Minerária

- Decreto-Lei Federal nº 227 de 28 de fevereiro de 1967 (alterado pelas Leis nº 6.567, de 24/09/78 e nº 7.805, de 18/06/89): institui o Código de Mineração;
- Lei Federal nº 6.403, de 15 de dezembro de 1976: modifica dispositivos do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração), alterado pelo Decreto-Lei nº 318, de 14 de março de 1967;
- Lei Federal nº 6.567, de 24 de setembro de 1978: dispõe sobre o regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências;
- Decreto Federal nº 97.632 de 10 de abril de 1989: regulamenta o Art. 2º Inciso VIII da Lei nº 6.938 de 31/08/81 (Política Nacional do Meio Ambiente), no que se refere à recuperação de áreas degradadas pela atividade minerária;
- Resolução CONAMA nº 010, de 06 de dezembro de 1990: estabelece critérios específicos para o licenciamento ambiental de extração mineral da Classe II;
- Lei nº 7.805, de 18 de junho de 1989 (regulamentada pelo Decreto nº 98.812, de 09/01/90): altera o Decreto-Lei nº 227, de 28/02/67, institui o regime de lavra garimpeira, extingue o regime de matrícula e dá outras providências;

- Portaria DNPM nº 26, de 31 de janeiro de 1990: regulamenta o procedimento de habilitação a outorga da permissão de lavra garimpeira de que trata a Lei nº 7.805, de 18/06/89;
- Lei Federal nº 8.982, de 24 de janeiro de 1995: dá nova redação ao Art. 1º da Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, alterado pela Lei nº 7.312, de 16 de maio de 1985;
- Lei nº 9.827, de 27 de agosto de 1999 (regulamentada pelo Decreto nº 3.358, de 02/02/2000): dispõe sobre a extração de substâncias minerais para uso exclusivo em obras públicas;
- Portaria DNPM nº 155, de 12 de maio de 2016: Aprova a Consolidação Normativa do DNPM e revoga os atos normativos consolidados;
- Medida Provisória nº 790, de 25 de julho de 2017: altera o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 - Código de Mineração, e a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, que dispõe sobre regime especial para exploração e aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências;
- Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017: cria a Agência Nacional de Mineração (ANM); extingue o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); altera as Leis nº 11.046/2004 e 10.826/2003; e revoga a Lei nº 8.876/1994 e dispositivos do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).

Proteção do Patrimônio Histórico e Cultural

- Decreto-Lei nº 4.146, de 04 de março de 1942: dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos;
- Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961: dispõe sobre a proteção dos monumentos arqueológicos e pré-históricos;
- Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985: disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências;

- Resolução CONAMA nº 005, de 06 de agosto de 1987: aprova o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico;
- Portaria nº 07, de 01 de dezembro de 1988, da Secretaria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional: estabelece os procedimentos necessários para pesquisa e escavações em sítios arqueológicos;
- Portaria IBAMA nº 887, de 15 de junho de 1990: dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico nacional;
- Decreto nº 99.556, de 01 de outubro de 1990: dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no Território Nacional e dá outras providências;
- Portaria IBAMA nº 57, de 05 de junho de 1997: institui o Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas - CECAV, que tem por finalidade normatizar, fiscalizar e controlar o uso do patrimônio espeleológico brasileiro;
- Decreto nº 6.640, de 07.11.2008: dá nova redação ao Decreto nº 99.556/1990.
- Resolução CONAMA nº 347, de 10 de setembro de 2004: dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Revoga a Resolução CONAMA nº 005, de 06 de agosto de 1987;
- Portaria MMA nº 358, de 30.09.2009: institui o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico.
- Instrução Normativa IPHAN nº 001, de 25 de março de 2015: estabelece procedimentos administrativos a serem observados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional nos processos de licenciamento ambiental dos quais participe;
- Instrução Normativa FUNAI nº 2, de 27 de março de 2015: estabelece procedimentos administrativos a serem observados pela Fundação Nacional do Índio - FUNAI nos processos de licenciamento ambiental dos quais participe;
- Instrução Normativa PALMARES nº 001, de 25 de março de 2015: estabelece procedimentos administrativos a serem observados pela Fundação Cultural Palmares nos processos de licenciamento ambiental dos quais participe;

- Portaria nº 137, de 28 de abril de 2016: que estabelece diretrizes de Educação Patrimonial no âmbito do IPHAN e das Casas de Patrimônio;
- Portaria nº 196, de 18 de maio de 2016: dispõe sobre os procedimentos e recomendações para conservação de bens arqueológicos móveis.

A penalização pelo não cumprimento da legislação pertinente ao patrimônio pré-histórico citada é prevista no Código Penal Brasileiro (Parte especial, Título II - Dos crimes contra o patrimônio, Capítulo IV - Do dano).

Desapropriações

- Normas do Governo do Estado e da SRH-CE.

Ressalta-se que a desapropriação deverá ser efetivada através de Decreto Estadual Específico, ficando a cargo do órgão empreendedor, no caso, a SRH-CE, a negociação e aquisição parcial ou total dos imóveis que são abrangidos em parte, ou na sua totalidade pela área de inundação máxima futura e pela faixa de proteção do reservatório.

Reassentamento de População

- Normas do Governo do Estado e da SRH-CE;
- Lei nº 12.524, de 19 de dezembro de 1995: considera impacto socioambiental relevante em projetos de construção de barragens, o deslocamento das populações habitantes na área a ser inundada pelo lago formado e dá outras providências;
- Resolução nº 04, de 18 de julho de 1996 - Considera impacto ambiental relevante sobre o meio socioeconômico em projetos de construção de barragens no Estado do Ceará, o deslocamento de populações que habitam a área a ser inundada pelo lago formado pela respectiva obra, acrescida das suas respectivas faixas de proteção e dá outras providências.

Controle da Disposição de Resíduos Sólidos

- Lei nº 12.225, de 06 de dezembro de 1993: considera a coleta seletiva e a reciclagem do lixo como atividades ecológicas de relevância social e de interesse público no Estado do Ceará;
- Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002: estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil;

- Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências;
- Resolução nº 448, de 18 de janeiro de 2012: altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º da Resolução CONAMA nº 307/2002;
- Lei Estadual nº 16.032, de 20 de junho de 2016: institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos no âmbito do estado do Ceará. Revoga a Lei Estadual nº 13.103, de 24 de janeiro de 2001.

Ao nível municipal figuram, ainda, como dispositivos legais os Códigos de Obras e Posturas dos municípios de Catunda, Hidrolândia e Santa Quitéria. Merece, ainda, menção, embora não constitua dispositivo legal, o Plano Estadual de Recursos Hídricos, elaborado pela Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH), em meados de 1991.

5.2. COMPATIBILIZAÇÃO DO PROJETO COM PLANOS E PROGRAMAS CO-LOCALIZADOS

Objetivando verificar a inserção regional do Projeto da Barragem Poço Comprido foram levantados os planos e projetos governamentais implementados ou projetados que exerçam influência sobre a área do projeto, ou que sejam por este influenciados.

Conforme o Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará de 2018, a Barragem Poço Comprido está classificada como empreendimento estratégico para a Bacia do Acaraú, com vistas ao aumento da garantia de água para os perímetros de irrigação Araras Norte e Baixo Acaraú. A implantação desse reservatório contempla, ainda o aumento da garantia hídrica para o abastecimento de cidades da Bacia do Acaraú, bem como permitir o controle de enchentes no baixo vale, principalmente na zona urbana da cidade de Sobral que é assolada por enchentes em épocas de intensificação das precipitações.

Com o enfoque de garantir a segurança hídrica para o Estado mediante a implantação de adutoras de água tratada oriunda de reservatórios estratégicos, citamos o Projeto Malha d'Água. O referido projeto contempla a implantação de 34 sistemas adutores e quatro eixos de integração abrangendo um total de 179 municípios e beneficiando 6.297.383 habitantes. A região do Acaraú, onde será construída a Barragem Poço Comprido, deverá contar com quatro sistemas adutores abrangendo 21 municípios e beneficiando uma população de

740.040 habitantes, além do eixo de integração Taquara-Jaibaras que beneficiará 387.525 habitantes.

Não foram constatados projetos que exerçam ou sofram influências do Projeto da Barragem Poço Comprido decorrentes de intersecções com as áreas das obras ou da bacia hidráulica deste reservatório.

Quanto à ocorrência de projetos ou empreendimentos implementados ou projetados que exerçam influência em termos de concorrência sobre o Projeto da Barragem Poço Comprido, não foram identificados, a priori, a existência de projetos que concorram para os mesmos objetivos pleiteados pelo projeto deste reservatório.

5.3. INSTITUIÇÕES INTEGRANTES DA MATRIZ INSTITUCIONAL DO PROJETO

O arranjo institucional existente na área de influência do Projeto da Barragem Poço Comprido vinculado aos setores de recursos hídricos e meio ambiente, com destaque para os aspectos que têm incidência direta ou indireta na implantação e operação do referido reservatório é composto por instituições federais, estaduais e municipais.

Dentre as instituições federais que tem atuação na área do estudo, o IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis coordena, fiscaliza e regulamenta o Sinaflor – Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais, plataforma que permite o controle das atividades florestais relacionadas aos processos de intervenção ambiental com supressão de vegetação.

O IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e a ANM – Agência Nacional de Mineração terão suas atuações vinculadas à proteção dos patrimônios arqueológico e paleontológico, respectivamente, tendo em vista que a Barragem Poço Comprido será implantada sobre coberturas sedimentares de idade quaternária, representadas pelos sedimentos aluvionares, onde os riscos de ocorrências de fósseis são enquadrados como de baixo a médio. Também compete à ANM a expedição de licença que autoriza a exploração das jazidas de empréstimos.

No âmbito estadual, a SRH – Secretaria dos Recursos Hídricos do estado do Ceará desenvolve ações voltadas para a construção de obras hídricas. Assim sendo, funcionará como concedente dos recursos hídricos represados, que garantirá a oferta de água na Bacia do Acaraú.

A COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, responsável pela implantação das obras da Barragem Poço Comprido, participará do gerenciamento dos recursos hídricos represados e na concessão das outorgas de uso da água aí captada, além de efetuar a sua operação e manutenção.

A SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente, por sua vez, atuará na concessão da licença de desmatamento da faixa de domínio da área das obras e da bacia hidráulica do reservatório e no licenciamento ambiental da implantação e operação do referido reservatório, bem como das jazidas de empréstimos a serem exploradas. Definirá, também, a compensação ambiental exigida pela legislação ambiental para a implantação de projetos de grande porte, a ser paga pelo órgão empreendedor.

Por fim, com a formação do reservatório diversas infraestruturas de uso público serão submersas fazendo-se necessário suas relocações, estando estas representadas principalmente por trechos de estradas estaduais, municipais e redes elétricas. Assim sendo, deverão ser estabelecidos contatos com os governos municipais de Santa Quitéria e Hidrolândia, bem como a concessionária de energia elétrica ENEL Distribuição Ceará e a SOP – Superintendência de Obras Públicas, visando definir as medidas a serem adotadas nas relocações.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BERROCAL, J.; ASSUMPÇÃO, M.; ARTEZAMA, R.; DIAS NETO, C.M.; ORTEGA, R.; FRANÇA, H.; VELOSO, J.A.V., Sismicidade do Brasil. São Paulo, IAG-USP & CNEN, 1984. 320p.
- BRASIL, Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET), Normas Climatológicas (1961-1990). Brasília, DNMET/EMBRAPA, 1992. 84p.
- _____, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Geologia da Bacia Jaibaras, Ceará, Piauí e Maranhão. Projeto Jaibaras. Brasília, DNPM, 1979. 106p. (Série Geologia nº 14).
- _____, Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará – Escala 1:500.000. Fortaleza, CPRM, 2008.
- _____, _____, Atlas Digital dos Recursos Hídricos – Ceará (Municípios de Hidrolândia, Santa Quitéria e Catunda). Fortaleza, CPRM, 1998.
- _____, Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste. Recife, SUDENE, 1971. (Folha 5 - Fortaleza - SO).
- BRITO-NEVES, B.B.; CAMPOS NETO, M.; FUCK, R.A. from Rodinia Western Gondwana; an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. Episodes, (S.I.), v, 22, n. 3, p. 155-166, 1999.
- CABY, R. 1989. Precambrian terranes of Benin – Nigeria and northeast Brazil and the late proterozoic atlantic fit barks. Geological Society of America, Special Papers, p. 145-158, 1989.
- CABY, R. & ARTHAUD, M.H.; ARCHANJO, C.J., Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the brasiliano belt of northeast Brazil: geodynamic implications. Journal of South American Earth Sciences. 8 : 235-246, 1995.
- CAVALCANTE, J.C. et al., Mapa Geológico do Ceará. Fortaleza, CPRM, 2003. Escala 1: 500.000.
- CEARÁ, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará - Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Caderno Regional da Bacia do Acaraú. Fortaleza, INESP, 2009. 128p. (Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, v. 1).

_____, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Acaraú. Fase 1: Estudos Básicos e Diagnóstico. Relatório Final. Fortaleza, IBI, 2010.

_____, _____, Elaboração do Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas Estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-Bacia do Salgado. Produto 02 – Relatório de Diagnóstico Ambiental da Bacia do Acaraú. Fortaleza, Consórcio Nippon Koei Lac, 2016.118p.

_____, Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME), Projeto Áridas. Fortaleza, FUNCEME, 1994 (Grupo de Trabalho I - Recursos Naturais e Meio Ambiente).

_____, Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH), Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará. Fortaleza, SRH, 2018.

_____, _____, Elaboração dos Estudos de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A1 – Volume I – Relatório de Identificação de Obras – RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA. Tomo 1 – Estudos de Alternativas de Localização da Barragem. Fortaleza, IBI/TPF, 2019.

_____, _____, Elaboração dos Estudos de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A1 – Volume I – Relatório de Identificação de Obras – RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA. Tomo 2 – Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA. Fortaleza, IBI/TPF, 2019.

_____, _____, Elaboração dos Estudos de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Volume I - Estudos Básicos. Tomo 1 – Topografia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

_____, _____, Elaboração dos Estudos de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Volume I - Estudos Básicos. Tomo 2 – Cartografia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

_____, _____, Elaboração dos Estudos de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Volume I - Estudos Básicos. Tomo 3 – Hidrologia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.

- _____, _____, *Elaboração dos Estudos de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Poço Comprido. Fase A – Estudos de Viabilidade. Etapa A2 – Volume I - Estudos Básicos. Tomo 4 – Geologia e Geotecnia. Fortaleza, IBI/TPF, 2020.*
- _____, _____, *Plano Estadual dos Recursos Hídricos, Fortaleza, SRH, 1992. 4v.*
- _____, _____, *PROGERIRH - Projeto Piloto. Projeto de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos. Relatório de Avaliação Ambiental Regional - RAA. Produto Final. Fortaleza, TC/BR, 2000. 262p.*
- _____, *Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), Diagnóstico e Macrozoneamento Ambiental do Estado do Ceará. Fortaleza, SEMACE, 1998. 4v.*
- FERREIRA, J.M. & ASSUMPÇÃO, M., *Sismicidade do Nordeste do Brasil. Rev Bras. Geofís, 1: 67-88, 1983.*
- FERREIRA, J.M., BEZERRA, F.H.R.; SOUSA, M.O.L.; NASCIMENTO. A.F.; FRANÇA, G.S.L.A., *Ter role of precambrian mylonitic belts and presente-day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco lineament, Brazil. Tectonophys, 456: 111-126, 2008.*
- FERREIRA, J.M., OLIVEIRA, R.T., TAKEYA, M.K. & ASSUMPÇÃO, M., *Superposition of local and regional stress in northeast Brazil: evidence from foca mechanism around the Potiguar marginal basin. Geophys. J. Int., 134: 341-355, 1998.*
- FETTER, A. H.; SCHMUS, W. R. Van; SANTOS, T. J. S.; HACKSPACHER, P. C.; NOGUEIRA NETO, J. A., *Arquitetura Crustal do Embasamento do Estado do Ceará, Noroeste da Província Borborema: Uma Classificação Baseada em Dados Sm/Nd em Rocha Total e U/Pb em Zircões. In: XVIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Recife, SBG-NE, Vol. 16. p. 132-132, 2000.*
- GARCIA, M.G.M.; ARTHAUD, M.H., *Caracterização de trajetórias P-T em nappes brasileiras; região de Boa Viagem/Madalena – Ceará Central. Revista de Geologia, Fortaleza, v. 17, n. 2, p. 173-191, 2004.*
- GARCIA, M.G.M.; SANTOS, T.J.S.; AMARAL, W>S>, *Provenance and tectonic setting of neoproterozoic supracrustal rocks from the Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): constraints from geochemistry and detrital zircon ages. International Geology Review, (S.I.), v.56, n. 4, p. 481-500, 2014.*

JARDIM DE SÁ, E.F., A Evolução Proterozóica da Província Borborema. In: Simp. Geologia do Nordeste 11. Natal, 1994. Atlas... Natal, Bol. Núcleo Nordeste da SBG. 9: 297-316, 1994.

OLIVEIRA, P.H.S., Estudo da Sismicidade na Região de Sobral - CE em 2008. Natal, UFRN, 2010. 178p. (Dissertação de Mestrado).

_____, Sismicidade e Esforços Tectônicos na Zona Sísmica Acaraú, Nordeste do Brasil. Natal, UFRN, 2015.121p. (Tese de Doutorado).

ROCHA, E.J.T. et al., Avaliação do Nível de Saturação da Açudagem da Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú – Ceará. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 33, n. 2, p. 122-132, dez. 2012.