



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GLEYCIANNE CAVALCANTE MARIANO DE SOUSA

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DA BACIA DOS SERTÕES DE
CRATEÚS SEGUNDO A LEI DE SEGURANÇA DE BARRAGENS 12.334/2010
UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITES**

CRATEÚS

2020

GLEYCIANNE CAVALCANTE MARIANO DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DA BACIA DOS SERTÕES DE
CRATEÚS SEGUNDO A LEI DE SEGURANÇA DE BARRAGENS 12.334/2010
UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alan Michell Barros
Alexandre.

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Carla Beatriz Costa
de Araújo.

CRATEÚS

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S696c Sousa, Gleycianne Cavalcante Mariano de.
Caracterização dos reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús segundo a Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010 utilizando imagens de satélites / Gleycianne Cavalcante Mariano de Sousa. – 2020.
78 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre.
Coorientação: Profa. Dra. Carla Beatriz Costa de Araújo.
1. Barragens. 2. Estimativa. 3. Legislação. 4. Semiário. I. Título.

CDD 620

GLEYCIANNE CAVALCANTE MARIANO DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DA BACIA DOS SERTÕES DE
CRATEÚS SEGUNDO A LEI DE SEGURANÇA DE BARRAGENS 12.334/2010
UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Carla Beatriz Costa de Araújo (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Me. Tatiane Lima Batista
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Jandilva e Antônio, e ao meu irmão Wellington (em memória).

Eu dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me abençoado durante toda essa jornada com saúde, esperança e fé, mesmo em tempos difíceis, a presença de Deus na minha vida fez com que eu chegasse até aqui.

Aos meus maiores apoiadores, meus amados pais: Jandilva e Antônio. Vocês são minhas referências de honestidade e trabalho duro.

Ao meu querido irmão Wellington que apesar do pouco tempo que compartilhamos aqui na terra me presenteou com lembranças e momentos felizes que jamais serão esquecidos.

Aos meus queridos avós, Francisca Ana e Francisco Mariano (paternos), Francisco Cícero e Maria das Graças (maternos), e à minha bisavó, Edite, que me inspiraram a ser a minha melhor versão.

À minha família: tios e tias, primos e primas, madrinhas e padrinhos, que sempre me tiveram nas suas orações e também nos seus corações.

Aos meus amigos da faculdade e companheiros de profissão, principalmente ao Caio, Daniel, Lucas, Raul e Thamires, que contribuíram substancialmente com o meu crescimento pessoal e profissional nessa jornada.

Agradeço especialmente ao meu querido Moacir, que foi em todos os momentos meu braço direito, meu melhor amigo e incentivador das minhas metas profissionais.

Reconheço também o importante papel dos meus estimados Profs. do curso de Engenharia Civil da UFC - Campus Crateús, vocês dão significado a célebre expressão de Isaac Newton: “Se cheguei até aqui foi porque me apoiei nos ombros dos gigantes”.

Denoto a minha gratidão e apreço pelo trabalho dos meus queridos orientadores, Prof^a. Carla Beatriz e Prof. Alan Michell, e pelo acompanhamento e amizade do Prof. Cândido, vocês são profissionais incríveis e têm a minha admiração. Obrigada por tantos ensinamentos.

À Prof^a. Tatiane, por aceitar participar da banca e contribuir com esse trabalho.

À Universidade Federal do Ceará, pois me formar nesta instituição tão prestigiada significa a realização de um sonho.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”

(Simone de Beauvoir)

RESUMO

As barragens desempenham uma importante função de abastecimento de água, especialmente em regiões que a disponibilidade desse recurso é restrita, como no semiárido no nordeste brasileiro. Há relatos que os proprietários de terras construíam essas barragens sem nenhum conhecimento técnico sobre o assunto. A falta de informações por parte dos órgãos do Poder Público sobre a construção desses barramentos ou sobre sua situação atual, acarreta em um problema de fiscalização da segurança dessas barragens. A Lei 12.334/2010 tem o objetivo de garantir que essas estruturas atendam aos aspectos operacionais, estruturais e ambientais, buscando evitar a ocorrência de acidentes e minorar suas consequências ao longo da vida da obra. Esse trabalho apresenta um estudo sobre a caracterização das barragens de terra da Bacia dos Sertões de Crateús com o intuito de enquadrá-las nos critérios da lei. A metodologia consistiu em utilizar os espelhos d'águas fornecidos pelos mapeamentos da FUNCEME e identificar por meio de imagens de satélites do Google Earth a existência de barramentos de terra. Dos 390 espelhos analisados quantificou-se um total de 21 reservatórios naturais, 01 barragem de concreto, 86 espelhos com aspecto de lago artificial e 282 barragens de terra. Com o uso de ferramentas SIG (ArcGis) obteve-se informações como localização geográfica, área e perímetro dos espelhos e declividade da bacia. Utilizando essas informações associadas a metodologias simplificadas como as dos estudos de Araújo *et al.* (2012), foi possível estimar de maneira prática as alturas e volumes das 282 barragens de terra. Para esse método utilizou-se uma validação dos resultados, também realizada nos estudos de Fernandes (2018), que consiste em comparar dados de alturas e volumes de 10 reservatórios conhecidos com os estimados nesse trabalho. Obteve-se um coeficiente de determinação de 0,999 para os volumes e 0,992 para as alturas das barragens, o que significa uma aproximação satisfatória dos dados reais e estimados para essa bacia. Por fim, fez-se o enquadramento das barragens de acordo com os critérios estabelecidos na Lei 12.334/2010. Os critérios analisados foram: altura das barragens, volume dos reservatórios e verificação das barragens em relação à Categoria de Risco (CRI) e ao Dano Potencial Associado (DPA). Essa qualificação dos reservatórios resultou que, das 282 barragens de terra analisadas, pelo menos 55 estão enquadradas em algum dos critérios determinados pela legislação. Conclui-se que dessas 55 barragens, 09 são monitoradas pelo Poder Público e 46 são barragens particulares que não possuem informações conhecidas a respeito da sua segurança e manutenção.

Palavras-chave: Estimativa. Legislação. SIG. Barragens. Semiárido.

ABSTRACT

The weirs play an important function in the water supply, specially in regions where the availability of this resource is limited, as it is in the Brazilian northeast. There are reports that the land owners built these dams without the technical knowledge about the matter. The lack of information by the public authority about these barriers or about the current situation, result in a problem in fiscalization about the safety of these weirs. The law 12.334/2010 has the objective to assure that these structures meet the operational, structural and environmental aspects, seeking to avoid the occurrence of accidents and lessen the consequences throughout the lifespan of the building. This work presents a study upon the characterization of the earth dams of the Crateús Hinterlands Basin with the purpose to frame them in the law. The methodology constituted in using the water layers provided by the FUNCEME and identify through satellite images of Google Earth and the existence of earth dams. Of the 390 analysed layers 21 were natural reservoirs, 1 was a concrete dam, 86 water layers with the artificial aspect and 282 earth dams. With the use of the GIS tools (ArcGIS) information was obtained, like geographic localization, area and perimeter of the layers and the basin slope. Using those informations combined to simplified methodologies like the ones of Araújo *et al.* (2012) studies, it was possible to assess in practical means the heights and volumes of the 282 earth dams. For this method it was utilized a validation of results, as was used in Fernandes (2018) studies, that consists in parallel datas of heights and volumes of 10 known reservoirs with the estimations of this work. It was obtained a determination coefficient of 0,999 for the volumes and 0,992 for the dam heights, that means a satisfactory approximation of the real and estimated data for this basin. Lastly, it was made the framing of the dams according to the criteria in the law 12.334/2010. The analysed criteria was: the dams heights, the reservoir volumes and the verification of the weirs in relation to the Risk Category (CRI) and the Potential Associated Damage (DPA). This qualification of the reservoirs resulted that, of the 282 analysed earth dams, at least 55 are framed in some of the legislation determined criteria. It is concluded that of these 55 dams, 09 are monitored by the public authority and 46 are particular weirs that have no known information of their safety and maintenance.

Keywords: Estimation. Legislation. GIS. Dams. Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes componentes de uma barragem.....	23
Figura 2 – Modelo de barragem de gravidade.....	27
Figura 3 – Modelo de barragem em arco.....	27
Figura 4 - Modelo de barragem homogênea.....	29
Figura 5 - Modelo de barragem zoneada.....	30
Figura 6 - Modelos de barragens de enrocamento.....	31
Figura 7 - Etapas da pesquisa.....	42
Figura 8 - Localização da Bacia dos Sertões de Crateús e seus municípios contribuintes.....	43
Figura 9 - Localização das barragens de terra na Bacia dos Sertões de Crateús.....	44
Figura 10 - Barragem do Açude São Francisco, Crateús - CE.....	48
Figura 11 - Seção de uma barragem exemplificando o método da inclinação do talude de jusante.....	49
Figura 12 - Mapa de declividade da Bacia dos Sertões de Crateús.....	51
Figura 13 - Localização dos Barreiros e Pequenos, Médios e Grandes Açudes.....	54
Figura 14 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010.....	60
Figura 15 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Ipueiras.....	61
Figura 16 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Ararendá.....	62
Figura 17 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Ipaporanga.....	63
Figura 18 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Nova Russas.....	64
Figura 19 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Tamboril.....	65
Figura 20 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Crateús.....	67
Figura 21 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Independência.....	69
Figura 22 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Novo Oriente.....	71
Figura 23 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Quiterianópolis.....	72

Figura 24 – Localidade atingida pelo rompimento da barragem do Açude Pontal	73
Figura 25 - Água arrasta veículos e alaga residências no rompimento da barragem do Açude Pontal.....	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação das alturas estimadas das barragens de terra da amostra.....	52
Gráfico 2 - Variação dos volumes estimados dos reservatórios da amostra	53
Gráfico 3 - Resultados dos comparativos entre os volumes reais e estimados.....	56
Gráfico 4 - Resultados dos comparativos entre as alturas reais e estimadas	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de forma (α) para diferentes reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús .	47
Tabela 2 - Classificação dos Açudes da Bacia dos Sertões de Crateús	55
Tabela 3 - Resultados obtidos para o comparativo dos volumes reais e estimados	56
Tabela 4 - Resultados obtidos para o comparativo das alturas reais e estimadas.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características Técnicas (CT)	35
Quadro 2 - Características do Estado de Conservação do empreendimento (EC)	36
Quadro 3 - Características do Plano de Segurança da Barragem (PS)	37
Quadro 4 - Dano Potencial Associado (DPA)	38
Quadro 5 - Classificação das barragens quanto a Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA)	39
Quadro 6 - Açudes utilizados na validação dos métodos	55
Quadro 7 - Categoria de Risco (CRI) para os Pequenos Açudes da amostra	59
Quadro 8 - Dano Potencial Associado (DPA) para os Pequenos Açudes e Barreiros da amostra	59
Quadro 9 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Ipueiras	62
Quadro 10 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Ararendá	63
Quadro 11 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Ipaporanga	64
Quadro 12 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Nova Russas	65
Quadro 13 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Tamboril	66
Quadro 14 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Crateús	68
Quadro 15 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Independência	70
Quadro 16 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Novo Oriente	71
Quadro 17 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Quiterianópolis	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
BSC	Bacia dos Sertões de Crateús
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CRI	Categoria de Risco
DPA	Dano Potencial Associado
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
PAE	Plano de Ação de Emergência
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
A	Área do espelho d'água do açude
D	Declividade dos taludes de jusante das barragens
DV	Diferença de altura
DH	Distância horizontal dos taludes de jusante
V	Volume do açude
H	Profundidade máxima do açude
α	Coeficiente de forma do açude

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa	20
1.2	Objetivos.....	21
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	21
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	21
1.3	Delimitação.....	21
1.4	Roteiro temático.....	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	Tipos de barragens	23
2.1.1	<i>Concreto</i>	26
2.1.2	<i>Terra</i>	28
2.1.3	<i>Enrocamento</i>	30
2.2	Segurança de barragens.....	31
2.2.1	<i>Legislação</i>	32
2.2.2	<i>Avaliação de riscos e a classificação de barragens segundo o CNRH</i>	34
2.3	Utilização de imagens de satélites e de ferramentas SIG para aplicação em recursos hídricos	39
2.4	Classificação de reservatórios com base em Molle (1994b).....	40
3	MÉTODO DE PESQUISA	42
3.1	Área de Estudo.....	42
3.2	Obtenção dos dados.....	43
3.3	Estimativa dos volumes.....	45
3.3.1	<i>Altura dos barramentos</i>	45
3.3.2	<i>Método Araújo et al. (2012)</i>	46
3.4	Classificação dos reservatórios.....	48
3.5	Validação dos Métodos	48
3.6	Enquadramento na Lei 12.334/2010	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1	Alturas Estimadas	51
4.2	Volumes Estimados.....	52
4.3	Classificação dos reservatórios.....	54
4.4	Validação dos Métodos.....	55
4.5	Enquadramento na Lei 12.334/2010	58

4.5.1	<i>Município Ipueiras</i>	61
4.5.2	<i>Município Ararendá</i>	62
4.5.3	<i>Município Ipaporanga</i>	63
4.5.4	<i>Município Nova Russas</i>	64
4.5.5	<i>Município Tamboril</i>	65
4.5.6	<i>Município Crateús</i>	66
4.5.7	<i>Município Independência</i>	69
4.5.8	<i>Município Novo Oriente</i>	70
4.5.9	<i>Município Quiterianópolis</i>	72
5	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

As barragens desenvolvem um papel social importante na promoção da garantia do abastecimento de água e na segurança hídrica de várias populações, seja no cenário nacional ou mundial, especialmente nas regiões que apresentam disponibilidade hídrica restrita, como é o caso do semiárido no nordeste brasileiro (SAMPAIO, 2014).

O enfoque técnico de engenheiros e os interesses políticos sobre os problemas regionais no semiárido, resultaram na chamada “solução hidráulica” dos problemas das secas. Assim, a construção de barragens nessa região tornou-se uma prática amplamente disseminada para garantir a acumulação de água para os mais diversos fins (SILVA, 2007).

Estudos como o de Menescal (2001a), estimam o número de barragens no Estado do Ceará como da ordem de 30000, ou seja, 1 açude a cada 5 km², que segundo o autor é, provavelmente, o maior número de açudes por Estado de todo o Brasil.

A construção desse elevado número de reservatórios tornou-se uma medida de convivência com os problemas relacionados ao clima semiárido, que é caracterizado por regime de chuvas irregulares e mal distribuídos ao longo do ano, porém, com a escassez de recursos e a falta de conhecimento técnico adequado, principais motivos elencados por Miranda (1988), acarretam em estruturas executadas em desacordo com os mais elementares princípios de construção de uma barragem.

Aguiar (2014) relata no seu estudo que proprietários particulares construía barragens sem nenhum conhecimento técnico sobre o assunto ou investigações mais detalhadas da região, o que aumentava a insegurança de toda a população a jusante. Para Martins *et al.* (2007), o problema da construção de um elevado número de barramentos particulares é a falta de informação por parte do Poder Público Estadual, visto que o levantamento de dados possui importância estratégica diante dos riscos que os reservatórios representam sobre projetos de infraestrutura, cidades e à população.

Tendo em vista a mitigação de problemas relacionados à construção de barragens, a elaboração de legislação, normas ou recomendações sobre a segurança dessas estruturas transforma-se em uma medida de controle desses impasses (ALMEIDA, 2006).

Nesse contexto de aspectos legais e normativos e com o objetivo de satisfazer as exigências do comportamento das barragens em relação aos aspectos operacionais, estruturais e ambientais evitando a ocorrência de acidentes e/ou minorando suas consequências ao longo da vida da obra, elaborou-se a Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010.

Com isso, a questão de pesquisa que norteia esse estudo é: Como podem ser qualificadas as barragens da Bacia dos Sertões de Crateús em relação a Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010?

1.1 Justificativa

Em regiões com menor incidência de chuva, como é o caso dos municípios que contribuem para a Bacia dos Sertões de Crateús (uma das doze Bacias Hidrográficas do Ceará), os reservatórios de acumulação de água são considerados estruturas importantes para atenuar os problemas das secas e proporcionar melhoria do abastecimento de água às pessoas.

A falta de dados sobre essas barragens dificulta as ações de fiscalização, que são de responsabilidade da Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) ou quando se trata de rio federal a fiscalização é responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA).

Esses órgãos possuem carência de dados e de pessoas para realizar as fiscalizações, principalmente nas barragens localizadas em propriedades particulares. Com isso, a SRH não possui informações suficientes e atualizadas sobre a situação, localização e propriedades de todos os reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús.

A publicação do Relatório de Segurança de Barragens (RSB) de 2017, emitido pela ANA, indica que os acidentes envolvendo barragens de acumulação de água no Ceará são cada vez mais frequentes (ANA, 2018).

O levantamento realizado por Gomes (2019) em relação as publicações mais atualizadas desse RSB, mostra que apenas cerca de 25% das barragens estão com suas informações completas junto aos órgãos responsáveis, havendo um significativo número de barramentos que não se conhecem suas condições de manutenção e segurança.

Exemplos recentes de acidentes envolvendo barragens cearenses são os rompimentos de uma sequência de pequenos barramentos (Açd. São Pedro Velho, Açd. Desterro, Açd. Santa Rita e Açd. Saquinho) que sobrecarregaram a barragem do Açd. Pontal no município de Quiterianópolis. Esse acidente ocasionou alagamentos em residências, perdas de lavouras, 10 famílias desabrigadas e mais de 100 desalojadas em várias localidades e o desabamento de pelo menos 20 casas. Considerando a iminência de rompimento de outros açudes, a prefeitura de Quiterianópolis decretou Estado de Calamidade Pública e montou um comitê de crise (GLOBO, 2020; PORTAL SERTÕES, 2020).

Com isso, torna-se relevante a obtenção de informações capazes de caracterizar esses reservatórios, principalmente os que não são monitorados, de acordo com a Lei de

Segurança de Barragens 12.334/2010, como forma de prevenir os acidentes e riscos proporcionados pela construção desses barramentos.

A identificação dos espelhos d'águas dos reservatórios contribui com a localização dos terrenos dessas barragens. Assim, os dados gerados nesta pesquisa podem ser utilizados pelos órgãos fiscalizadores como base para a obtenção das informações necessárias para a realização do cadastro estadual dessas estruturas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Caracterizar as barragens de terra da Bacia dos Sertões de Crateús segundo a Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, podem ser citados:

- Identificar e quantificar por meio de imagens de satélites os espelhos d'águas maiores que 5 hectares da Bacia dos Sertões de Crateús;
- Categorizar os tipos de barragens em função do tipo de material: terra ou concreto;
- Realizar as estimativas de volume e de altura dos reservatórios segundo a metodologia proposta no estudo de Araújo *et al.* (2012);
- Validar a metodologia aplicada por meio de visita de campo e coleta de dados no Portal Hidrológico do Ceará (2019);
- Enquadrar os reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús na Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010;

1.3 Delimitação

Esse estudo é delimitado à Bacia dos Sertões de Crateús (Ceará, Brasil), que está localizada na área dos municípios: Ipueiras, Ararendá, Ipaoranga, Nova Russas, Crateús, Tamboril, Independência, Novo Oriente e Quiterianópolis.

Além disso, também se restringe aos reservatórios artificiais do tipo barragem de terra com área de espelho d'água maior que 5 hectares, por constituir uma amostra significativa para os espelhos d'águas do Ceará.

1.4 Roteiro temático

Este trabalho está estruturado em cinco seções. Na primeira seção, encontra-se a contextualização do tema, a justificativa, os objetivos gerais e específicos, a delimitação e o roteiro temático.

Na segunda seção são apresentados os fundamentos utilizados no estudo realizado, onde nesta revisão bibliográfica são retratados assuntos como barragens, dando enfoque as barragens de terra, conceitos que estabelecem a legislação de segurança de barragens e a utilização de imagens de satélites como ferramenta de levantamento de dados sobre recursos hídricos.

A metodologia aplicada nesta pesquisa é apresentada na terceira seção, onde são descritas detalhadamente a localização dos reservatórios analisados que possuem barragens de terra. Além disso, detalham-se as etapas realizadas para a obtenção dos resultados deste trabalho.

Na quarta seção apresentam-se os resultados obtidos por meio da estimativa dos volumes de reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús utilizando a metodologia de Araújo *et al.* (2012), a identificação e quantificação das barragens analisadas que se enquadram na Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010 segundo o estabelecimento dos seus critérios.

As conclusões são apresentadas na seção cinco, onde são abordados os resultados obtidos, bem como os objetivos alcançados e sugestões para outros trabalhos. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas nesse estudo.

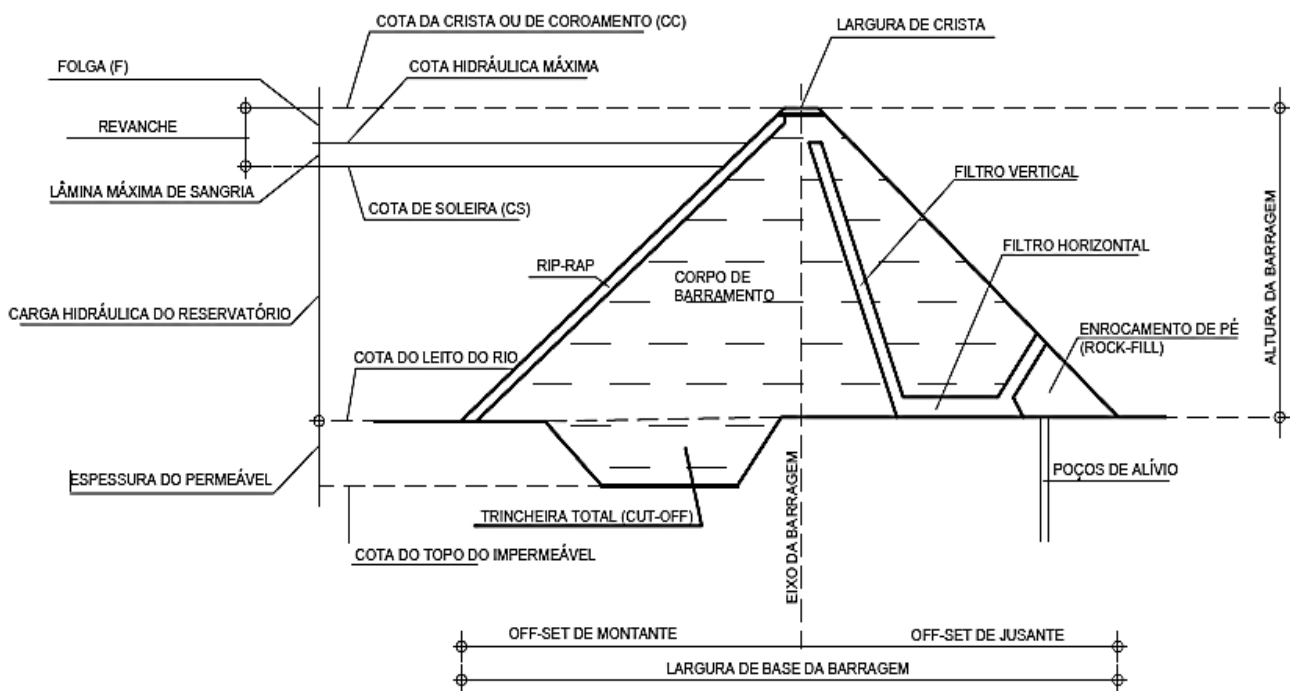
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tipos de barragens

As barragens podem ser conceituadas como barreiras artificiais que se interpõem a um curso hídrico transversalmente e possuem finalidade de interromper um determinado curso d'água para que esta seja represada para atender diversas finalidades, tais como disponibilidade de água para a população, irrigação e criação de animais, entre outras finalidades (CARVALHO, 1984; SAMPAIO, 2014).

Essas estruturas são constituídas por vários elementos com diferentes funções. As principais medidas e partes componentes de uma barragem podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 - Partes componentes de uma barragem



Fonte: elaborado a partir de Soares (2017).

Soares (2017) apresenta definições para cada um desses componentes que integram a maioria das barragens. As principais medidas de uma barragem explicitadas na Figura 1 são dadas a seguir:

- Largura de crista (b) – é o comprimento do ponto mais alto do barramento;
- Cota de crista ou coroamento (CC) – é a altitude que representa o topo do barramento;

- Largura de base (B) – é a soma do off-set de montante com o off-set de jusante, sendo o comprimento total de base do barramento;
- Off-set de montante – é o comprimento de base a montante do eixo da barragem;
- Off-set de jusante – é o comprimento de base a jusante do eixo da barragem;
- Cota de soleira (CS) – é a altura limite entre o armazenamento da água e o processo de escoamento dessa pelo vertedouro (ou sangradouro);
- Cota hidráulica máxima – é a representação do nível máximo que o volume de água pode ser armazenado sem que haja danos ao corpo do barramento, calculado com base na maior cheia ocorrida em um intervalo de tempo de retorno;
- Folga (F) – é a diferença entre a cota de crista (CC) e o nível máximo de armazenamento;
- Lâmina máxima de sangria (H_o) – é a diferença de cotas entre o nível máximo a ser armazenado e a cota de sangria (CS);
- Revanche (R) – é a diferença entre a cota de crista (CC) e a cota da soleira (CS), ou ainda, é a soma da lâmina de máxima de sangria (H_o) com a folga (F);
- Cota do leito do rio (CLR) – é a altitude sob a qual será assento o corpo de barramento;
- Altura da barragem (H_b) – é a diferença entre a cota da crista (CC) e a cota do leito do rio (CLR);
- Carga hidráulica do reservatório (h) – é a altura resultante da diferença entre a cota de soleira (CS) e a cota do leito do rio (CLR), ou seja, é a altura de água armazenada;
- Cota do topo do impermeável (CTI) – é a altitude que representa a superfície de afloramento rochoso, sendo por isso denominada como impermeável;
- Espessura do permeável (d) – é a altura da camada de solo que por não ser muito coesiva, permite a passagem do fluxo de água por baixo do barramento;

Para o corpo do barramento, Soares (2017) e Fernandes (2018) apresentam algumas definições e funções das principais estruturas que o constitui, são elas:

- Rip-rap – é a proteção do talude de montante contra ações de ondas geradas no acúmulo de água armazenado, constituída por uma camada de pedras assentes sobre uma camada de transição em areia e pedregulhos;

- Trincheira total (cut-off) – ou trincheira de vedação, é localizado a montante do eixo da barragem, sendo constituído de material de baixa permeabilidade;
- Filtro vertical – tem a função de direcionar o fluxo que percola pelo corpo do barramento e dissipar as pressões neutras no mesmo (MASSAD, 2010);
- Filtro horizontal – assim como o dreno/filtro vertical, faz parte do sistema de drenagem interna da barragem e promove a drenagem das águas de percolação através da fundação e do maciço compactado;
- Enrocamento de pé (rock-fill) – Carvalho (1984) afirma que essa estrutura possui as seguintes finalidades em uma barragem de terra: 1) aliviar as subpressões decorrentes das forças de percolação; 2) facilitar e controlar o encaminhamento das descargas freáticas pela fundação; 3) evitar a ocorrência de erosão regressiva no talude de jusante; 4) aumentar a segurança do pé de jusante da barragem contra o processo de levitação;
- Poços de alívio – são poços abertos e preenchidos com material granular, para alívio de pressões de camadas permeáveis (CARVALHO, 1984);

A necessidade da construção de uma barragem é observada pelas diversas finalidades de uso que esse acúmulo de água pode ter, principalmente em locais em que a sua disponibilidade é restrita, como o semiárido nordestino. Azevedo *et al.* (2010) elencou em seus estudos algumas finalidades fundamentais do acúmulo de água por meio da construção de barragens, como:

- a) Controle de cheias – devido à ocupação humana e à degradação da bacia às vezes há necessidade de reter temporariamente grandes volumes de água para evitar inundações;
- b) Rejeitos de minerações – estas barragens servem para conter as águas provenientes das minerações, a fim de evitar que as substâncias químicas invadam os mananciais;
- c) Correção torrencial – embora de pequeno porte destinam-se a mudar o regime do rio, diminuindo a sua velocidade que é causadora de erosões;
- d) Conservação de água – destinam-se a armazenar as águas pluviais ficando com uma reserva apta para qualquer período de carência de água;

e) Controle de poluição – para captação de resíduos, geralmente anexadas na barragem principal, com a finalidade de desviar uma parcela e estabelecer uma qualidade melhor ao final do curso;

f) Navegação – proporcionando navegabilidade em uma região para facilitar o transporte;

Quanto a classificação, utiliza-se aspectos relacionados a arquitetura e ao material das barragens. Estas podem ser escolhida de acordo com o seu objetivo e condições do projeto e do terreno. São classificadas como (COSTA, 2012):

- Rígidas – em concreto, sendo ainda subdividida em: gravidade, abóbada e contraforte;
- Não rígidas – podendo estas serem de terra (homogêneas e zoneadas), ou de enrocamento (com núcleo impermeável ou face impermeável);
- Mistas – são barragens constituídas por dois ou mais tipos de material, sendo os tipos mais conhecidos: terra/enrocamento, terra/concreto e enrocamento/concreto;

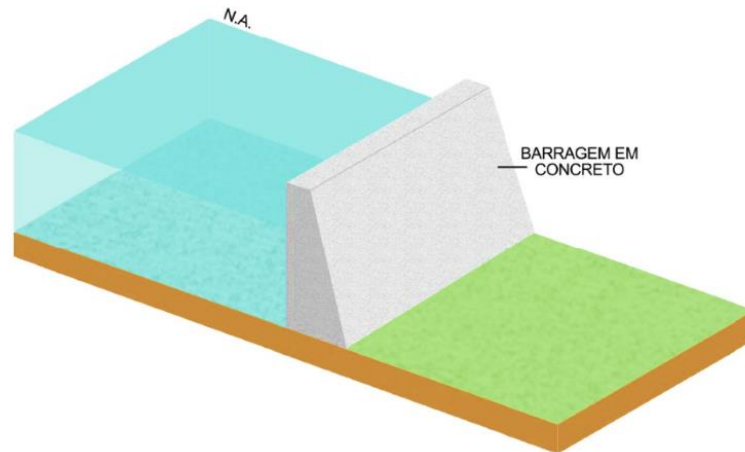
2.1.1 Concreto

As barragens de concreto, utilizam-se do concreto como principal material na sua execução. Para o melhor aproveitamento e desempenho, é modulada de forma que as forças atuantes geram nas estruturas reações que são caracterizadas essencialmente por esforços internos de compressão, devendo a esse motivo a utilização apenas do concreto, sendo por muitas vezes dispensado o uso de armadura. Esta pode ser subdivida em duas classes principais (mais utilizadas), que são: gravidade e arco (MARAGON, 2006).

2.1.1.1 Gravidade

As barragens de gravidade são o tipo mais resistente e de menor custo de manutenção. Este tipo pode ser adaptado para todos os locais, mas a sua altura é limitada pela resistência das fundações (Figura 2). Quando são constituídas de material de aluvião incoerente, a altura dessas barragens tem sido limitada a 20 metros (MARAGON, 2006).

Figura 2 – Modelo de barragem de gravidade



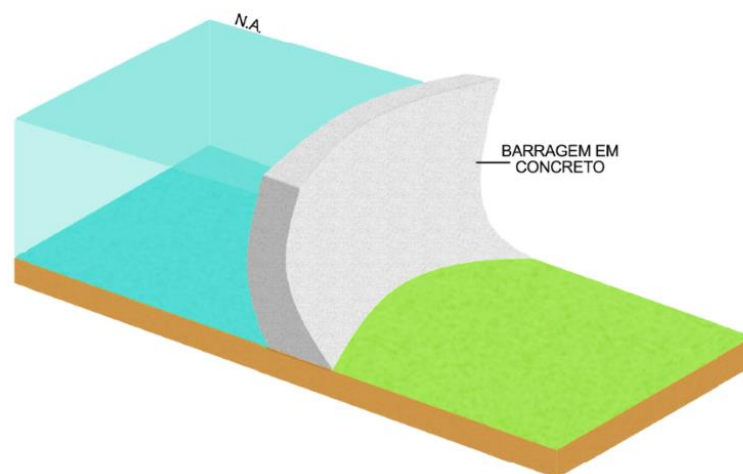
Fonte: elaborado a partir de Hickmann (2016).

2.1.1.2 Arcos

As barragens em arcos são também denominadas de barragens de dupla curvatura, as quais possuem uma curvatura que ocorre em duplo sentido, sendo estas tanto na horizontal, quanto na vertical (Figura 3).

Barragens de arcos são mais difíceis de serem encontradas, já que exigem a presença de um material rochoso adequado nas encostas do vale, capaz de suportar os esforços transmitidos devido ao efeito gerado pela forma de arco que caracteriza a estrutura. Este tipo de barragem é comum na Europa onde há vales estreitos e profundos (MARAGON, 2006).

Figura 3 – Modelo de barragem em arco



Fonte: elaborado a partir de Hickmann (2016).

2.1.2 Terra

As barragens de terras têm sido amplamente utilizadas para represar e desviar cursos d'água ao longo dos anos. Métodos modernos de transporte e desenvolvimentos no campo da mecânica dos solos desde o Século XIX, aumentaram consideravelmente a segurança e vida destas estruturas (STEPHENS, 2011).

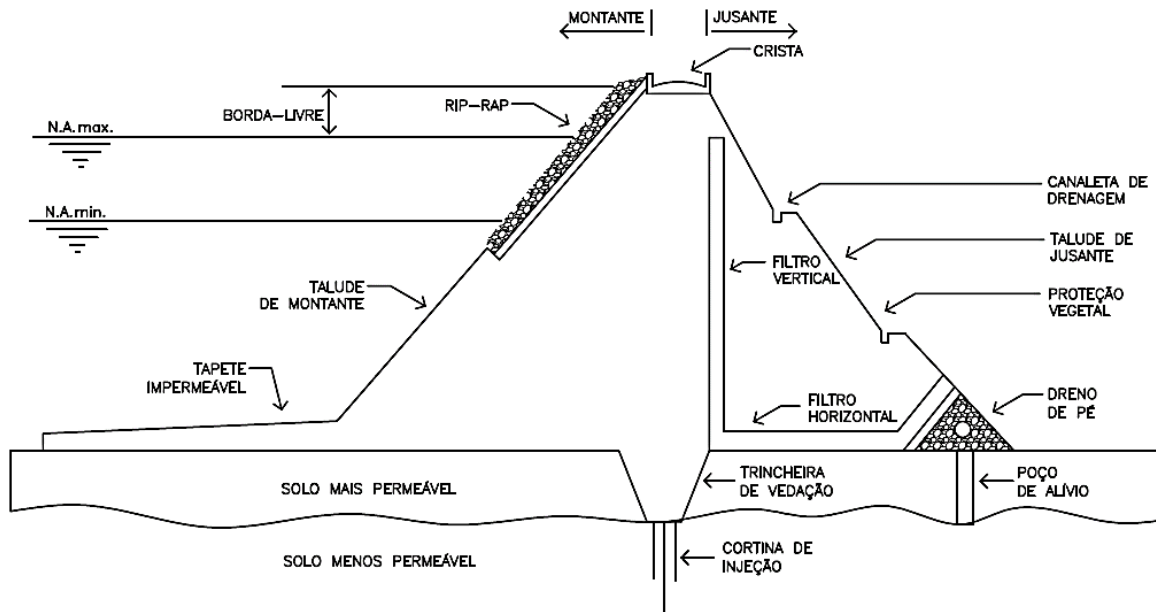
Apesar da sua fragilidade à fluxos d'água e, em grande parte das vezes, apresentarem um controle tecnológico insatisfatório durante a execução da mesma, as barragens de terra são as mais utilizadas, devido principalmente à facilidade no processo de produção adotado, não necessitam de muitas exigências para o requisito de fundações e também no fato de poder ser utilizado matéria-prima local, sendo esta geralmente de baixo custo, se comparado às executadas em concreto. As barragens de terra subdividem-se em dois tipos principais, sendo eles: homogênea e zoneada (MARAGON, 2006).

2.1.2.1 Homogênea

As barragens de terra homogênea são assim denominadas, quando o maciço da barragem é predominantemente preenchido por apenas um tipo de material, sem levar em conta alguns elementos que não fazem parte do maciço principal do barramento, como filtros e rip-rap (Figura 4) (MARAGON, 2006).

Evidencia-se que nesse tipo de barragem há a necessidade de que o material utilizado possua uma baixa permeabilidade, impedindo a percolação de água por meio do maciço e diminuindo assim o risco de colapso do mesmo, sendo essa uma das principais fragilidades do método de barramento homogêneo de terra (COSTA, 2012).

Figura 4 - Modelo de barragem homogênea



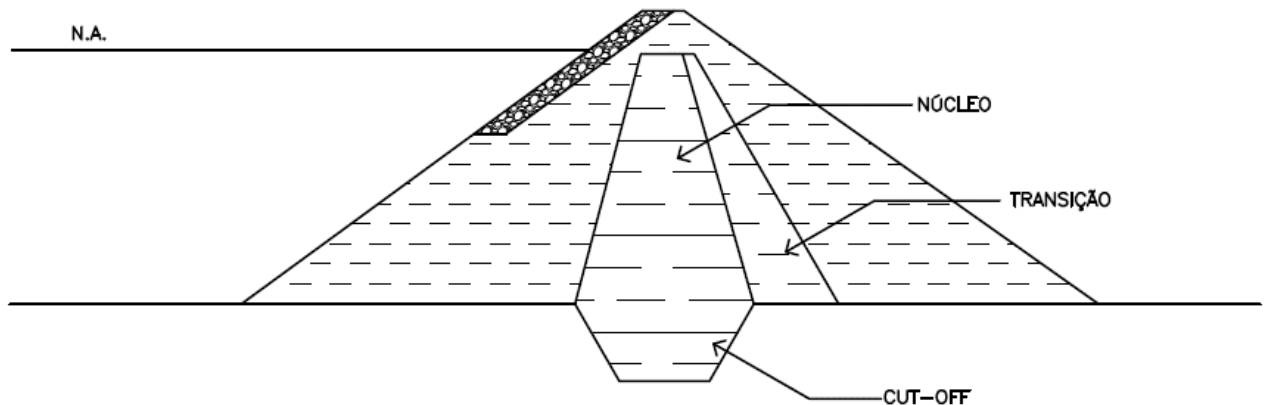
Fonte: Elaborado a partir de Carvalho (2011).

2.1.2.2 Zoneada

As barragens do tipo zoneada são compostas por um núcleo central impermeável, abrangido com materiais significativamente com mais permeabilidade, sendo essas partes do maciço responsáveis por suportar e proteger o núcleo (Figura 5).

Stephens (2011) afirma que as barragens de terra utilizando material zoneado se enquadram como uma melhor alternativa quando comparada às de tipo homogêneo, sendo possível diminuir de forma adequada os riscos de infiltração, apesar de gerarem um custo maior comparado às mesmas. Quanto a sua estrutura, é subdividida em três tipos, sendo elas de material: permeável para a face à jusante, impermeável no núcleo e semi-impermeável para a região de montante.

Figura 5 - Modelo de barragem zoneada



Fonte: Elaborado a partir de Costa (2012).

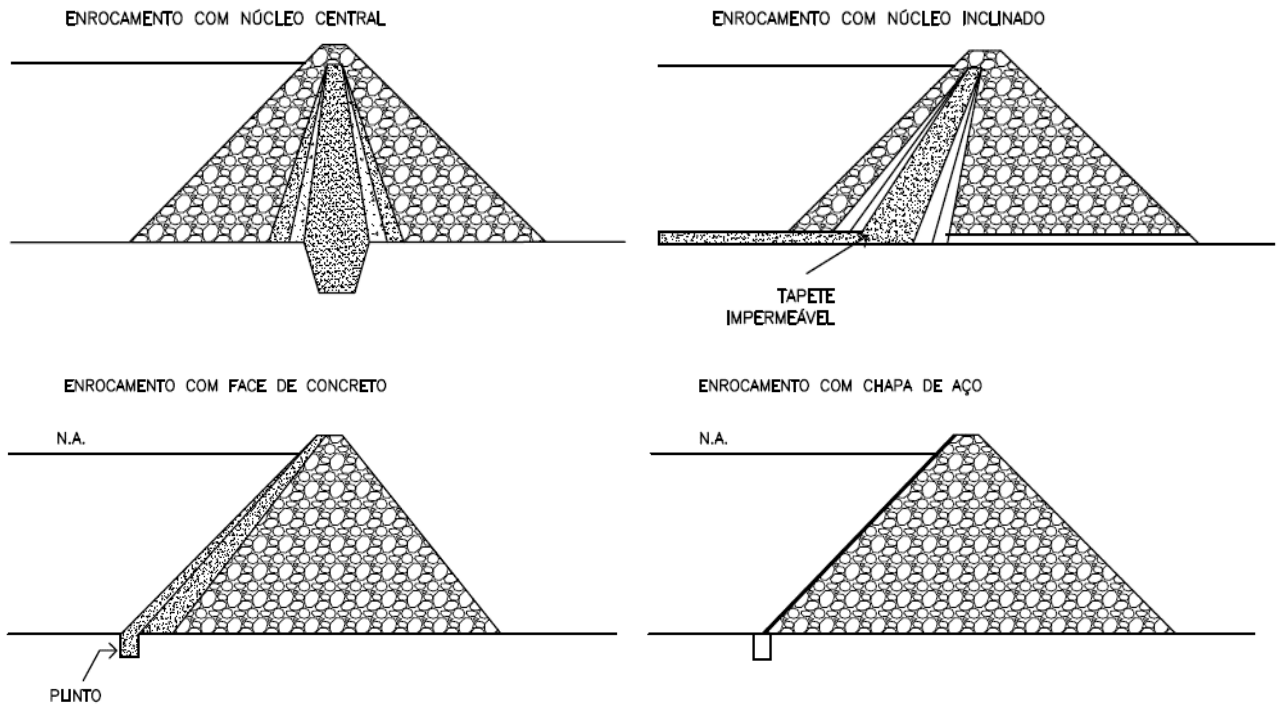
2.1.3 Enrocamento

As barragens de enrocamento são aquelas em que se utilizam blocos de rocha de tamanho variável alocado em formas de camadas. O custo para a produção de grandes quantidades de rocha, para a construção desse tipo de barragem, somente é econômico em áreas onde o custo do concreto fosse elevado ou onde ocorresse escassez de materiais terrosos e houvesse, ainda, excesso de rocha dura e resistente (COSTA, 2012).

Os barramentos em forma de enrocamento, caracterizam-se por possuir seu maciço essencialmente constituído de material rochoso, podendo ter como principal forma de vedação, um núcleo argiloso ou uma face de concreto ou chapa de aço, como exemplificado pela Figura 6 (COSTA 2012; MARAGON, 2006).

Segundo Maragon (2006), as barragens do tipo enrocamento com face de concreto são aquelas que possuem uma membrana impermeável aplicada na face do talude de montante. Já as barragens de enrocamento composta com núcleo argiloso tem por característica a utilização de argila como meio vedante e apresenta a estrutura do enrocamento como principal meio de garantir a estabilidade do maciço.

Figura 6 - Modelos de barragens de enrocamento



Fonte: Elaborado a partir de Costa (2012).

2.2 Segurança de barragens

Para Aguiar (2014) um barramento é dito seguro quando atende aos critérios técnicos de segurança estrutural, ou seja, possui harmonia entre projeto, execução e manutenção de tal forma que possa garantir o seu correto funcionamento. A segurança de um barramento deve ser considerada como uma ponderação entre o seu grau de qualidade técnica construtiva e a sua alternativa locacional.

A questão da segurança de barragens deve abranger inclusive a qualidade da equipe técnica gestora da estrutura. Segundo Peck (1984), essa necessidade de equipes qualificadas tem origem no elevado número de rupturas desses barramentos (9 entre 10 rupturas) devido não somente às deficiências no estado atual da estrutura, mas também por negligências, falta de comunicação entre o executor da obra e o projetista ou por previsões muito otimistas das condições geológicas da região.

Mello (2000) relata que as principais causas de acidentes e desempenho insatisfatórios de barragens, na sua maioria, acontecem pelas decisões dos engenheiros apoiadas em insuficiente conhecimento, dados, capacidades, etc.

Contudo, boa parte dos acidentes que envolvem rompimentos de barragens ainda poderiam ser evitados caso fossem elaborados e seguidos planos de monitoramento das condições do barramento e planos de ação em situações emergenciais (AGUIAR, 2014).

Porém, deve-se levar em consideração que a determinação do nível de segurança de uma barragem e da elaboração de planos de segurança e de ação emergencial não é uma tarefa simples, principalmente para os pequenos proprietários de barragens que não possuem conhecimentos técnicos e/ou recursos financeiros suficientes para avaliações mais precisas (AGUIAR, 2014).

Dá a importância da criação de manuais com linguagem didática e ilustrada, apontando ao gestor do empreendimento os problemas mais comuns que podem ser encontrados nos barramentos. No Brasil, um exemplo desse tipo de material é a publicação do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, um guia prático para a construção de pequenas barragens (ANA, 2016).

2.2.1 Legislação

No Brasil, a legislação sobre segurança de Barragens é a Lei 12.334/2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), que integra vários órgãos e entes federativos com o intuito de assegurar a integridade das barragens (BRASIL,2010).

Essa Lei tem como princípio básico a redefinição do conceito de segurança de barragem, ampliando o foco para além da segurança estrutural, considerando também as funcionalidades da barragem, a proteção das populações e do meio ambiente. A barragem passa a ser vista como elemento integrante da bacia hidrográfica (AGUIAR, 2014; SAMPAIO, 2014).

A Lei 12.334/2010 estabelece que planos de monitoramento e avaliação sejam exigidos em barramentos que se enquadrem nas características definidas no parágrafo único do artigo primeiro da referida lei, ou seja, que possuem pelo menos uma das características a seguir:

- I - Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m (quinze metros);
- II - Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- III - Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas;

Na fase de escolha da locação e das tecnologias empregadas na construção de barragens, o empreendedor e o órgão ambiental devem procurar as alternativas mais seguras em relação à instalação e à operação dos barramentos, sempre observando os objetivos e fundamentos da PNSB disposto nos Artigos 3º e 4º da Lei 12.334/2010. São objetivos da PNSB segundo a Lei 12.334/2010:

I - Garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e as suas consequências;

II - Regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional;

III - Promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

IV - Criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

V - Coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

VI - Estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;

VII - Fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos;

Para que as barragens de menor porte, que muitas vezes possuem alturas abaixo de 15 metros, possam ser enquadradas na PNSB, existe o dispositivo de classificação por Dano Potencial Associado (DPA) que, levando em conta outros aspectos que não seja só a altura, poderá incluir essas pequenas estruturas no grupo de empreendimentos que deverá se reportar ao órgão fiscalizador correspondente caso as mesmas apresentem DPA médio ou alto. Já a classificação de risco é dada na Resolução nº 143/12 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos em atendimento ao disposto no Artigo 7º da Lei 12.334/2010 (AGUIAR, 2014).

Para Anderáos (2013) o sistema de classificação de barragens, por Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA), é o mais importante dos sete instrumentos da PNSB. A partir dessa classificação é possível determinar os procedimentos de monitoramentos a serem adotados, periodicidade, conteúdo mínimo das inspeções e obrigatoriedade ou não de elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE) da barragem.

2.2.2 Avaliação de riscos e a classificação de barragens segundo o CNRH

Segundo o Comitê Brasileiro de Barragens — CBDB (1999), o risco é a probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, à propriedade, ao meio ambiente e à sociedade.

O risco é determinado através das inspeções realizadas pelos órgãos fiscalizadores, através das características técnicas, estado de conservação e existência de um plano de segurança da barragem. A avaliação desse risco recorre a três perguntas fundamentais relacionadas à o que pode dar errado, a probabilidade de ruína e as suas consequências (SALMON, 1995).

No estudo feito por Menescal (2001b), lista-se os principais elementos da avaliação de risco em barragens:

1. Listar todos os modos e sequências de ruptura concebíveis (identificação de ameaças).
2. Elencar estes modos e selecionar aqueles que são possíveis de acontecer.
3. Exibir estes modos em uma árvore de eventos com a lógica que melhor representa a realidade física dos modos de ruptura potenciais.
4. Estimar as probabilidades em cada ramo da árvore de eventos; alguns ramos levam à ruptura, outros não.
5. Executar os processos de cálculo para conseguir a probabilidade (ou probabilidades) de vários tipos de ruptura.
6. Rever os ramos críticos da árvore de eventos para ver qual das probabilidades atribuídas precisam de refinamento adicional.
7. Documentar o processo inteiro de uma maneira transparente, especialmente as razões para a indicação de probabilidades, de forma que todos os passos sejam fáceis para revisar.
8. Determinar as consequências dos vários modos de ruptura.
9. Determinar o risco associando probabilidades de ruptura e consequências.

A principal dificuldade dessa abordagem está na atribuição das probabilidades em relação a resposta da barragem na aplicação das cargas e condições impostas que levarão a ruptura. Procedimento esse que deve ser feito por profissionais experientes, capacitados nessa área e familiarizados com o objeto de estudo (MENESCAL, 2001c).

A Resolução CNRH N° 143, de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012) estabeleceu critérios gerais de classificação de barragens por Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA), em atendimento ao art. 7° da Lei 12.334/2010.

A CRI está relacionada aos riscos de ruptura de uma barragem. A classificação é feita em função das características técnicas (CT), do estado de conservação do empreendimento (EC) e da existência de um Plano de Segurança da Barragem (PS) (ANDERÁOS, 2013).

De acordo com o CNRH, quanto a CRI, são analisadas as características apresentadas pelos Quadros 1, 2 e 3.

Quadro 1 - Características Técnicas (CT)

Aspecto	Descrição/Pontuação das características técnicas				
Altura (H)	$H \leq 15\text{m}$ (0 pontos)	$15\text{m} < H < 30\text{m}$ (1 ponto)	$30\text{m} \leq H \leq 60$ (2 pontos)	$H > 60\text{m}$ (3 pontos)	-
Comprimento (C)	$C \leq 200\text{ m}$ (2 pontos)	$C > 200\text{m}$ (3 pontos)	-	-	-
Material de Construção utilizado	Concreto Convencional (1 ponto)	Alvenaria de Pedra /Concreto Ciclópico / Concreto Rolado - CCR (2 pontos)	Terra Homogênea /Enrocamento / Terra Enrocamento (3 pontos)	-	-
Fundação	Rocha sã (1 ponto)	Rocha alterada dura com tratamento (2 pontos)	Rocha alterada sem tratamento / Rocha alterada fraturada com tratamento (3 pontos)	Rocha alterada mole / Saprólito / Solo compacto (4 pontos)	Solo residual / aluvião (5 pontos)
Idade da barragem	entre 30 e 50 anos (1 ponto)	entre 10 e 30 anos (2 pontos)	entre 5 e 10 anos (3 pontos)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4 pontos)	-
Vazão de projeto	Deca milenar ou CMP (Cheia Máxima Provável) TR = 10.000 anos (3 pontos)	Milenar TR = 1.000 anos (5 pontos)	TR = 500 anos (8 pontos)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10 pontos)	-

Fonte: elaborado a partir de Anderáos (2013).

Quadro 2 - Características do Estado de Conservação do empreendimento (EC)

Aspecto	Descrição/Pontuação do estado de conservação			
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis e eletromecânicas em pleno funcionamento/canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0 pontos)	Estruturas civis e eletromecânicas preparadas para a operação, sem fontes de suprimento energia de emergência/canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente (4 pontos)	Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidro eletromecânicos com problemas, redução de capacidade de adução e correções em implantação/canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos com risco de comprometer a estrutura vertente (7 pontos)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivo hidro eletromecânico c/ problemas, redução de capacidade de adução e sem correções canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10 pontos)
Confiabilidade das Estruturas de Adução	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0 pontos)	Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidro eletromecânicos com problemas identificados e com redução de capacidade adução e com medidas corretivas em implantação (4 pontos)	Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidro eletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas (6 pontos)	-
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0 pontos)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizada e/ou monitorada (3 pontos)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5 pontos)	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8 pontos)
Deformações e Recalques	Inexistente (0 pontos)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1 ponto)	Trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5 pontos)	Trincas, abatimentos escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento à segurança (8 pontos)
Deterioração dos Taludes / Paramentos	Inexistente (0 pontos)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos pequenos e impacto nulo (1 ponto)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, (5 pontos)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, (7 pontos)
Eclusa	Não possui eclusa (0 pontos)	Estruturas civis e eletromecânicas bem mantidas e funcionando (1 ponto)	Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidro eletromecânicos com problemas identificados medidas corretivas em implantação (2 pontos)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidro eletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4 pontos)

Fonte: elaborado a partir de Anderáos (2013).

Quadro 3 - Características do Plano de Segurança da Barragem (PS)

Aspecto	Descrição/Pontuação da condição				
Existência de documentação de projeto	Projeto executivo e "como construído" (0 pontos)	Projeto executivo ou "como construído" (2 pontos)	Projeto básico (4 pontos)	Anteprojeto ou Projeto conceitual (6 pontos)	inexiste documentação de projeto (8 pontos)
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0 pontos)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4 pontos)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8 pontos)	-	-
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0 pontos)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3 pontos)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5 pontos)	Não possui e não aplica procedimentos, monitoramento e inspeções (6 pontos)	-
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0 pontos)	Não (6 pontos)	-	-	-
Relatórios de inspeção segurança com análise e interpretação	Emite regularmente os relatórios (0 pontos)	Emite os relatórios sem periodicidade (3 pontos)	Não emite os relatórios (5 pontos)	-	-

Fonte: elaborado a partir de Anderáos (2013).

Nesse contexto, em que o risco seria a combinação da probabilidade de um evento com a sua consequência, a CRI, tal como expressa na Lei 12.334/2010, informaria o grau de propensão de uma barragem a incidentes ou acidentes (maior ou menor chance de ocorrência). Já o DPA expressaria a magnitude das suas consequências acaso se materialize o desastre causado pelo rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem (ANDERÁOS, 2013).

O CNRH prevê uma classificação quanto ao DPA em função de quatro fatores: volume do reservatório, potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental e impacto socioeconômico. Nesse caso, os critérios gerais utilizados estão exemplificados no Quadro 4.

Quadro 4 - Dano Potencial Associado (DPA)

Aspecto	Volume Total do Reservatório para barragens de uso múltiplo	Potencial de perdas de vidas humanas	Impacto ambiental	Impacto socioeconômico
Descrição da condição	Pequeno $\leq 5\text{hm}^3$ (1 ponto)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0 pontos)	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou descaracterizada das condições naturais) (3 pontos)	INEXISTENTE (Quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0 pontos)
	Médio 5 a 75hm^3 (2 pontos)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local. (4 pontos)	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5 pontos)	BAIXO (quando existe pequena concentração instalações residenciais comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem) (4 pontos)
	Grande 75 a 200hm^3 (3 pontos)	FREQUENTE (Não existem pessoas permanentemente a jusante da barragem, mas existem rodovias e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas. (8 pontos)	-	ALTO (quando existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços, lazer e turismo na área afetada da barragem) (8 pontos)
	Muito Grande $> 200\text{hm}^3$ (5 pontos)	EXISTENTE (Existem pessoas permanentemente a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas. (12 pontos)	-	-

Fonte: elaborado a partir de Anderáos (2013).

Em cada um dos quatro quadros anteriores há a descrição dos parâmetros e as suas condições com as respectivas pontuações a atribuir no julgamento de cada barragem. As pontuações obtidas são somadas por critério, com o objetivo de classificar a barragem quanto a CRI e DPA, em alto, médio ou baixo. Essas faixas de classificação estão estabelecidas no Quadro 5 (ANDERÁOS, 2013; CNRH, 2012).

Quadro 5 - Classificação das barragens quanto a Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA)

CRI	ALTO	Pontuação CRI ≥ 60 ou EC = 8 (*)
	MÉDIO	Pontuação CRI 35 a 60
	BAIXO	Pontuação CRI ≤ 35
	(*) Pontuação (8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.	
DPA	ALTO	Pontuação DPA ≥ 16
	MÉDIO	$10 < \text{Pontuação DPA} < 16$
	BAIXO	Pontuação DPA ≤ 10

Fonte: elaborado a partir de Anderáos (2013).

2.3 Utilização de imagens de satélites e de ferramentas SIG para aplicação em recursos hídricos

A evolução da informática proporcionou novas possibilidades de análises estratégicas para o auxílio na tomada de decisão. A possibilidade de visualização dos resultados das análises espacialmente em um mapa, faz com que a compreensão por intermédio do analista seja de forma facilitada e clara (FELIZARDO, 2016).

Com o advento do computador houve um grande salto no poder e na forma de realizar processamento em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Esse processamento consiste em um sistema computacional que reúne um poderoso conjunto de ferramentas para a entrada, armazenamento, recuperação, transformação, análise e representação de dados do mundo real para um conjunto particular de propósitos, como a aplicação em recursos hídricos (FELIZARDO, 2016).

Uma possibilidade do uso de ferramentas SIG é a geração de uma imagem de declividades, que é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal.

Considerando um Modelo Digital de Elevação (MDE) de dados altimétricos extraídos de uma carta topográfica e traçando um plano tangente a essa superfície num determinado ponto, a declividade nesse ponto corresponde à inclinação desse plano em relação ao plano horizontal. Uma imagem de declividades pode ser posteriormente reclassificada, gerando imagens de classes de declividades, de acordo com a conveniência do estudo a ser realizado (FERRAZ *et al.*, 1999).

Outro recurso digital bastante utilizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) são os mapeamentos dos espelhos d'águas desde 1988 com base em imagens do satélite LANDSAT. Por meio de geoprocessamento, foi possível identificar os corpos hídricos superficiais com área de bacia hidráulica superior a 20 hectares em todo o Brasil sendo que no Nordeste esse detalhamento chegou a 5 hectares (CARVALHO *et al.*, 2009).

Esses tipos de levantamentos possuem o propósito de alimentar a base de informações a respeito desses reservatórios. Sendo assim, a obtenção de informação é o elemento básico para o gerenciamento dos recursos hídricos (MARTINS *et al.*, 2007).

Com isso, o uso de imagens de satélites aliadas às ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem agregar, em um único aplicativo, a capacidade de mapear características e de associá-las em banco de dados, o que permite análises espaciais em um curto espaço de tempo (SILVA & PRUSKI, 2005).

Fernandes (2018), desenvolveu estudos que utilizam imagens de satélites para mapear barragens de terra na Sub Bacia do Baixo Jaguaribe que satisfazem os critérios da Lei 12.334/2010. Para tal, o uso de imagens de satélites do Google Earth e os mapeamentos dos espelhos d'águas da Funceme (2008) foram importantes para a identificação dos reservatórios que possuíam estruturas para o barramento da água do curso dos rios.

Araújo *et al.* (2012) também utilizou imagens de satélites para localização dos barramentos da Bacia do Banabuiú e ferramentas SIG para obter informações para aplicar a sua metodologia de forma eficiente e estimar, ao nível de uma bacia regional, o volume dos reservatórios superficiais.

2.4 Classificação de reservatórios com base em Molle (1994b)

Molle (1994b) exemplifica no seu trabalho uma classificação baseada na capacidade de armazenamento dos reservatórios que reflete uma política preocupada, em primeiro lugar, em armazenar o maior volume de água possível em regiões semiáridas.

Desse modo, pode-se classificar segundo Molle (1994b), os reservatórios em barreiros e pequenos, médios ou grandes açudes, como exemplificado a seguir:

- **Barreiro:** é uma pequena represa com sangradouro lateral rudimentar, que seca todo o ano e serve principalmente de bebedouro intermitente para o gado.
- **Pequeno Açude:** sendo o mais difundido no nordeste brasileiro, serve principalmente para assegurar o abastecimento durante a estação seca, de maneira a estabelecer a junção entre dois períodos chuvosos, embora não seja de nenhuma serventia para lutar contra secas prolongadas; a probabilidade de ficar sem água (ou com água barrenta, não potável) é grande demais para que, em geral, seja a única fonte de água possível. São considerados pequenos açudes os de capacidade não inferior a 300.000 m³ e com profundidades mínimas de 6 metros.
- **Açude Médio:** a sua capacidade faz com que a probabilidade de secar seja muito inferior àquela do pequeno açude. Ele permite, no mínimo, atravessar um ano de seca, o que significa, não raro, ser ele a principal fonte de abastecimento da propriedade. Possui capacidade entre 3.000.000 de m³ a 10.000.000 m³ e profundidade inferior a 8 metros.
- **Açude Grande:** trata-se de um reservatório perene (quando não utilizado) e geralmente público. Assim, poderão ser considerados grandes açudes aqueles que possuam capacidade superior a 10.000.000 de m³ e profundidade superior a 8 metros.

Molle (1994b) ainda afirma que tal classificação não corresponde a linguagem comum que também chama de açude os reservatórios com capacidade inferior a 300.000 m³, os quais são os mais frequentes.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O trabalho apresenta um estudo de caráter exploratório sobre a caracterização das barragens de terra da Bacia dos Sertões de Crateús. A metodologia adotada nesse estudo consistiu nos passos apresentados pela Figura 7, o que possibilita o atendimento os objetivos propostos.

Figura 7 - Etapas da pesquisa



Fonte: Autora (2020).

3.1 Área de Estudo

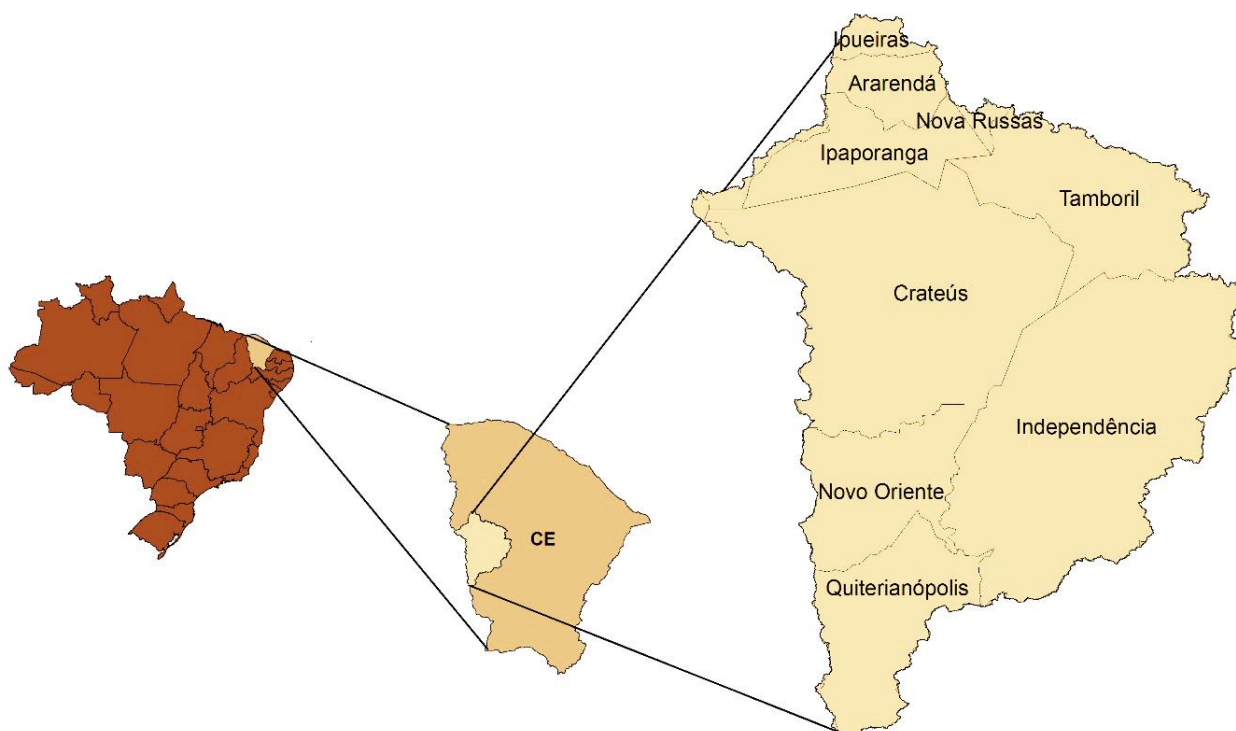
A região dos Sertões de Crateús é caracterizada por regimes de precipitações médias anuais baixas, irregularidade de chuvas aliadas as altas taxas de evaporação e clima semiárido (SEBRAE, 2019).

A área de estudo compreende o território da bacia hidrográfica dos Sertões de Crateús, principal bacia da região. Essa área encontra-se no Estado do Ceará e possui 10.821 km², compreendendo a rede de drenagem do Rio Poti (SRH, 2019).

Além disso, segundo a Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH), essa bacia apresenta capacidade de acumulação de águas superficiais de 446.685. 647 m³ e um total de 10 açudes monitorados pela COGERH, sendo 09 destes com barragens de terra e 01 barragem de concreto.

A Bacia dos Sertões de Crateús está localizada na área de 09 municípios (Figura 8), são eles: Ararendá, Iraporanga, Crateús, Independência, Novo Oriente, Quiterianópolis e parte do território de Tamboril, Nova Russas e Ipueiras.

Figura 8 - Localização da Bacia dos Sertões de Crateús e seus municípios contribuintes



Fonte: Autora (2020).

3.2 Obtenção dos dados

Este estudo realiza uma estimativa do número de barragens de terra para a Bacia dos Sertões de Crateús. Estabelecidos os objetivos de estudo, iniciou-se uma pesquisa bibliográfica a fim de obter arquivos em que os dados e informações estivessem disponíveis.

Por meio de triagens utilizando as imagens de satélites disponíveis no Google Earth (2019), os espelhos d'águas dentro da bacia foram reduzidos somente a reservatórios com barragens de terra e áreas de espelhos d'águas maiores que 5 hectares, sendo excluídos os reservatórios naturais, as barragens de concreto e os reservatórios com aspecto de lago artificial, ou seja, os que pela imagem de satélite não aparentavam possuir uma estrutura que indicava a existência de uma barragem.

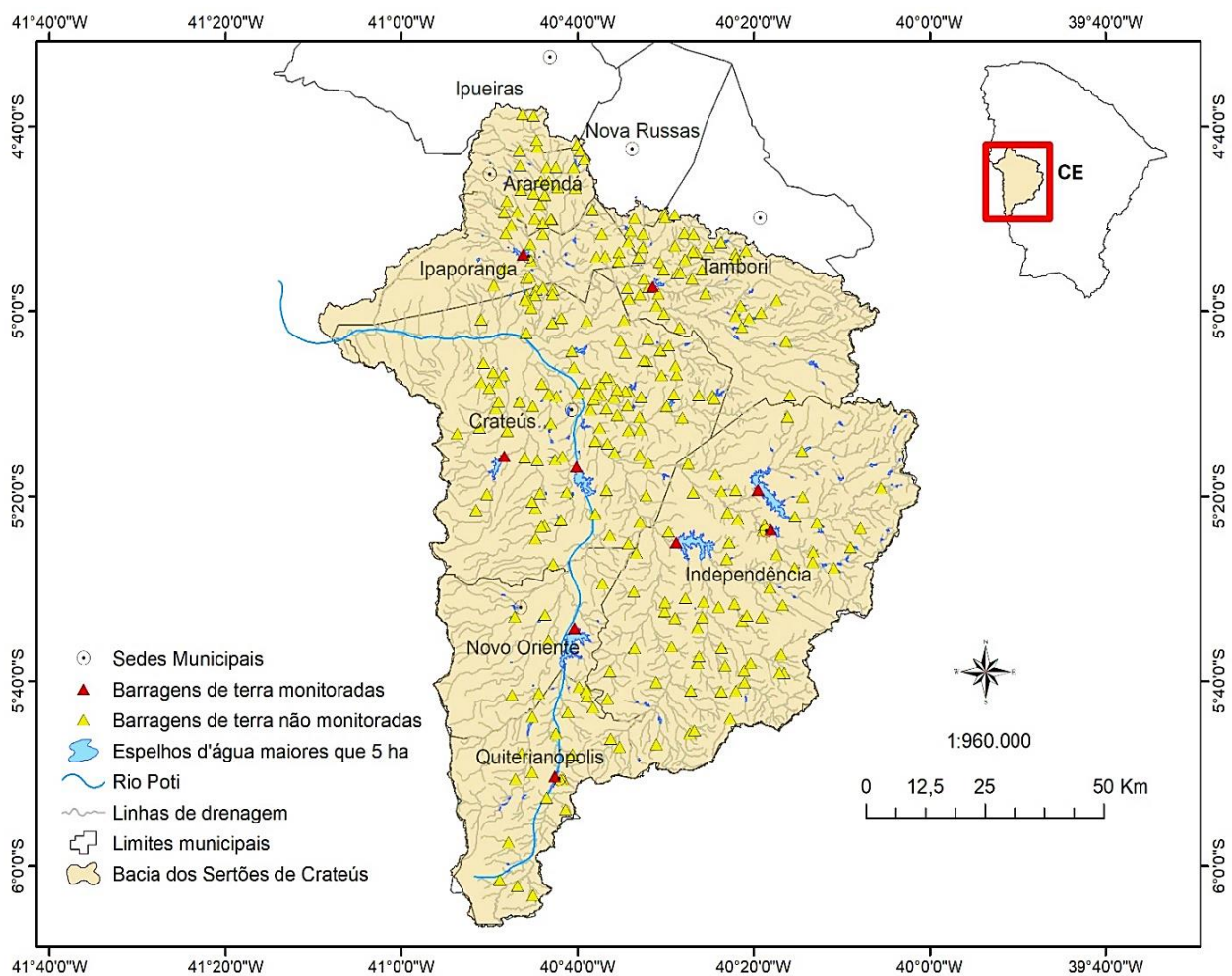
Para a obtenção da área de acumulação de água recorreu-se a ferramentas que utilizam Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Utilizou-se recursos disponíveis no software ArcGis (2019) em que foi manuseado um mapa (shape) com os espelhos d'águas

superficiais da área de estudo, disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). A partir disso, foi possível a obtenção da área, do perímetro e da localização geográfica de todos os espelhos d'águas da bacia.

Identificou-se 390 espelhos d'águas maiores que 5 hectares, constituindo uma amostra mais significativa para a estimativa dos volumes. Desse total, têm-se que 21 são reservatórios naturais, 01 possui barragem de concreto (Açd. Batalhão) e 86 possuem aspecto de lago artificial, reduzindo a amostra a 282 possíveis reservatórios com barragens de terra distribuídas entre os municípios que fazem parte da bacia (Figura 9).

Destaca-se que uma das principais limitações dessa etapa foi a triagem da amostra ser baseada na resolução das imagens de satélites e do julgamento pessoal da autora do que representa uma barragem de terra no Google Earth.

Figura 9 - Localização das barragens de terra na Bacia dos Sertões de Crateús



Fonte: Autora (2020).

3.3 Estimativa dos volumes

Metodologias simplificadoras como as de Araújo *et al.* (2012) são conhecidas por relacionar as características físicas de uma bacia regional com sua capacidade de acumulação.

Assim, a caracterização de aspectos como as áreas dos espelhos d'águas e a declividade dos taludes de jusante são importantes para a aplicação do método escolhido para estimar os volumes dos reservatórios.

3.3.1 Altura dos barramentos

O cálculo das alturas dos barramentos é um processo que depende da determinação da profundidade máxima dos reservatórios. Um dos mecanismos metodológicos utilizados para a determinação desse aspecto, é o uso de sensoriamento remoto por meio de um Modelo Digital de Elevação do projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 92 metros que fornece informações com nível de precisão satisfatório realizado pela NASA (2011).

Desse modo, é possível a obtenção da declividade dos taludes de jusante das barragens do estudo tendo como premissa que a declividade da encosta é a mesma em todo o seu perfil. Assim, a declividade pode ser obtida por meio do processamento desse modelo através do software ArcMap (ArcGis 10.3) utilizando a ferramenta Slope (Spatial Analyst Tools < Surface < Slope) (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Além disso, de acordo com técnicas utilizadas nos estudos de Fernandes (2018), o comprimento horizontal dos taludes de jusante dos 282 barramentos de terra da Bacia dos Sertões de Crateús é medido por meio da ferramenta Régua do Google Earth.

Com isso, é possível estimar a altura das barragens desse estudo relacionando o comprimento horizontal dos taludes de jusante (DH) com os seus percentuais de declividade. A altura dos barramentos pode ser obtida isolando o termo diferença de altura (DV) da expressão da declividade dada pela Eq. 1.

$$D = \frac{DV}{DH} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

D: declividade dada em porcentagem (%) dos taludes de jusante das barragens;

DV: diferença de altura (vertical);

DH: comprimento horizontal dos taludes de jusante;

3.3.2 Método Araújo *et al.* (2012)

Metodologias simplificadoras como a apresentada neste estudo, são métodos amplamente utilizados, pois apresentam resultados de forma simples e rápida que podem ser utilizados como um norte para o reconhecimento das características dos reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús (SHOURIAN *et al.*, 2008).

Desse modo, a expressão matemática (Eq. 2) utilizada para o cálculo dos volumes é baseada nos estudos de Molle (1994a).

$$V = \frac{A \times H}{\alpha} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

V: volume do açude;

A: área do espelho d'água do açude;

α : coeficiente de forma do açude;

H: profundidade máxima do açude;

Araújo *et al.* (2012) ressalta em seu trabalho que essa metodologia possui duas limitações, a primeira está relacionada com o fator de forma aplicado, tendo em vista que ele depende das formas das encostas encontradas nos perfis onde o reservatório está inserido.

Molle (1994a) afirma que na natureza existem três tipos de perfis: reto, côncavo e convexo. Contudo, para fins de simplificação, considerou-se apenas o perfil dado como médio (reto) para ser aplicado para todos os reservatórios da área em estudo. Para esse perfil, utilizou-se inicialmente o fator de forma único considerado na proposta de Molle (1994a), com valor de 2,70 ($\alpha = 2,70$).

A segunda limitação está relacionada a ausência de informações em relação a legítima profundidade máxima de cada reservatório. Para tal, faz-se necessário um levantamento estimado referente a essa informação. Assim, empregou-se ferramentas SIG, que possibilitam identificar a declividade do relevo e conferem precisão aos resultados computados nesse trabalho.

Araújo *et al.* (2012) comenta em seu trabalho que os pequenos e médios açudes podem apresentar variação nos fatores de forma (α), sendo necessário a calibração desses valores.

Por meio de estudos batimétricos realizados pela COGERH em 09 reservatórios com barragens de terra monitoradas pelo Poder Público que estão localizados na Bacia dos Sertões de Crateús, é possível tomar conhecimento da capacidade/volume e altura máxima das

barragens desses reservatórios. Assim, basta isolar o fator α dado na equação de Molle (1994a) e obter valores calibrados para o método aplicado.

Araújo *et al.* (2012) ainda classifica os reservatórios com áreas de espelhos d'água inferiores a 1.000.000 m² (um milhão de metros quadrados) como açudes de pequeno porte e os maiores que essa faixa como açudes de médio porte.

Para a Bacia dos Sertões de Crateús, é possível calcular apenas os fatores de forma dos reservatórios com dados de alturas e volumes conhecidos (açudes monitorados dentro da bacia). Esses reservatórios estão classificados, de acordo com a área de espelho d'água, como médio e grande porte, não possuindo açudes monitorados com pequeno porte para a calibração dos fatores de forma dessa classe (Tabela 1).

Tabela 1 - Fator de forma (α) para diferentes reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús

α Açudes Médios			α Açudes Grandes		
A espelho > 1 milhão m²			A espelho > 10 milhões m²		
Açude	Área (m²)	α	Açude	Área (m²)	α
SUCESSO	1.642.831,85	3,179	JABURU II	15.556.010,96	2,430
COLINA	1.073.877,79	3,004	BARRA VELHA	17.649.708,37	2,847
REALEJO	4.343.772,86	2,891	FLOR DO CAMPO	15.050.586,56	3,141
CUPIM	1.625.568,36	3,392	CARNAUBAL	10.303.510,38	2,632
Média		3,116	Média		2,763
Desvio Padrão		0,218	Desvio Padrão		0,304
Variação		0,048	Variação		0,092

Fonte: Autora (2020).

Desse modo, para a calibração dos fatores de forma de açudes não monitorados classificados como pequeno e médio porte, que compõem a maior parte dos reservatórios da bacia, faz-se necessário a adoção dos valores sugeridos pelo estudo de Araújo *et al.* (2012).

O autor recomenda que para os açudes de pequeno porte (A espelho < 1.000.000 m²) seja utilizado um fator de forma 4,740 ($\alpha = 4,740$) e os de médio porte (A espelho > 1.000.000 m²) seja utilizado um fator de forma 2,095 ($\alpha = 2,095$).

Esses valores de fatores de forma também foram considerados nos reservatórios da sub-bacia do Baixo Jaguaribe no estudo realizado por Fernandes (2018), com a obtenção de bons resultados.

Doravante, é possível realizar novamente o cálculo dos volumes dos reservatórios com os fatores de forma (α) calibrados. Em seguida, obteve-se a vinculação linear referente as delimitações superficiais das barragens e suas respectivas capacidades, sendo elas colocadas em uma mesma escala logarítmica.

3.4 Classificação dos reservatórios

Conhecidos os volumes e as profundidades estimadas para os 282 açudes desse estudo e com a finalidade de melhorar o processo de discriminação dos reservatórios que compõem a bacia, faz-se necessário realizar uma nova filtragem.

Utilizando-se da classificação do estudo de Molle (1994b), é possível realizar uma nova filtragem dos reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús pautada na capacidade dos reservatórios, sabendo que:

- **Barreiros:** Possuem volumes estimados inferiores a 300.000 m³;
- **Açudes Pequenos:** Possuem volumes estimados superiores a 300.000 m³;
- **Açudes Médios:** Possuem volumes estimados entre 3.000.000 m³ e 10.000.000 m³;
- **Açudes Grandes:** Possuem volumes estimados maiores que 10.000.000 m³;

3.5 Validação dos Métodos

A validação dos métodos utilizados nesse estudo consiste em comparar os resultados obtidos para os volumes e alturas da barragens estimadas com base na metodologia descrita nos estudos de Araújo *et al.* (2012) com as informações das fichas técnicas do açudes monitorados da Bacia dos Sertões de Crateús, disponíveis no Portal Hidrológico do Ceará (2019), e levantamentos de campo realizados no município de Crateús na barragem do Açude São Francisco (Figura 10).

Figura 10 - Barragem do Açude São Francisco, Crateús - CE

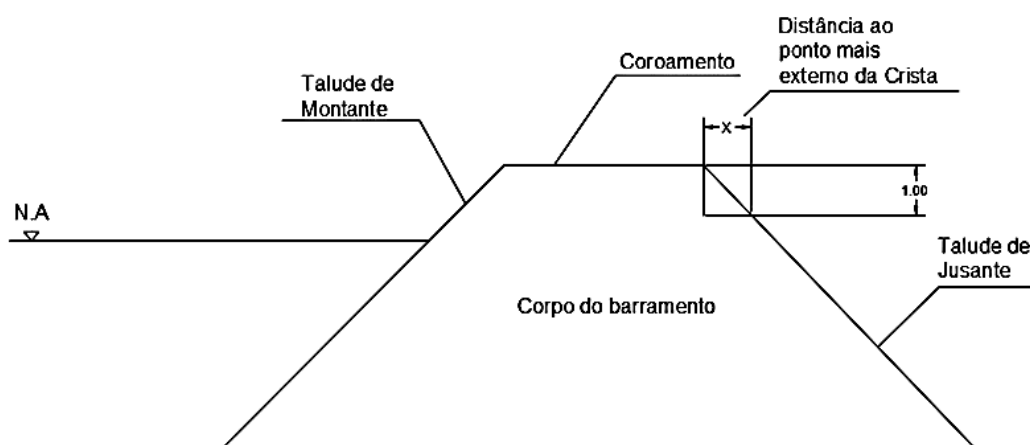


Fonte: Autora (2020).

No levantamento realizado em campo, verificou-se a altura do barramento do Açude São Francisco por meio do método da inclinação do talude de jusante, aplicado por Fernandes (2018).

A obtenção desse parâmetro é dada por meio do estabelecimento de uma proporção que fixa a altura vertical de 1 (um) metro entre o talude de jusante e o ponto mais alto do coroamento das barragens, para então verificar a distância horizontal desse ponto ao mais externo da crista e encontrar a inclinação real do talude e a altura da barragem (Figura 11).

Figura 11 - Seção de uma barragem exemplificando o método da inclinação do talude de jusante



Fonte: elaborado a partir de Fernandes (2018).

3.6 Enquadramento na Lei 12.334/2010

Segundo a Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010, um barramento pode ser enquadrado nos aspectos referentes a legislação se preencher pelo menos um dos pontos listados a seguir:

- Altura do maciço da barragem, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 metros;
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 de metros cúbicos;
- Reservatórios que contenham resíduos perigosos;
- Categoria de Dano Potencial Associado (DPA), médio ou alto;

Como descrito na legislação e mencionado no trabalho de Anderáos (2013) a classificação por Categoria de Risco (CRI), em alto, médio ou baixo, é feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao

Plano de Segurança da Barragem. Quanto a Categoria de Dano Potencial Associado (DPA), é feita em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perdas de vidas humanas.

Desse modo, o enquadramento das barragens é dado por meio de uma análise individual dos resultados obtidos para as alturas e estimativas de volume de cada um dos possíveis reservatórios da bacia. Diante disso, é possível obter a qualificação das barragens levantadas de acordo com a referida lei.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

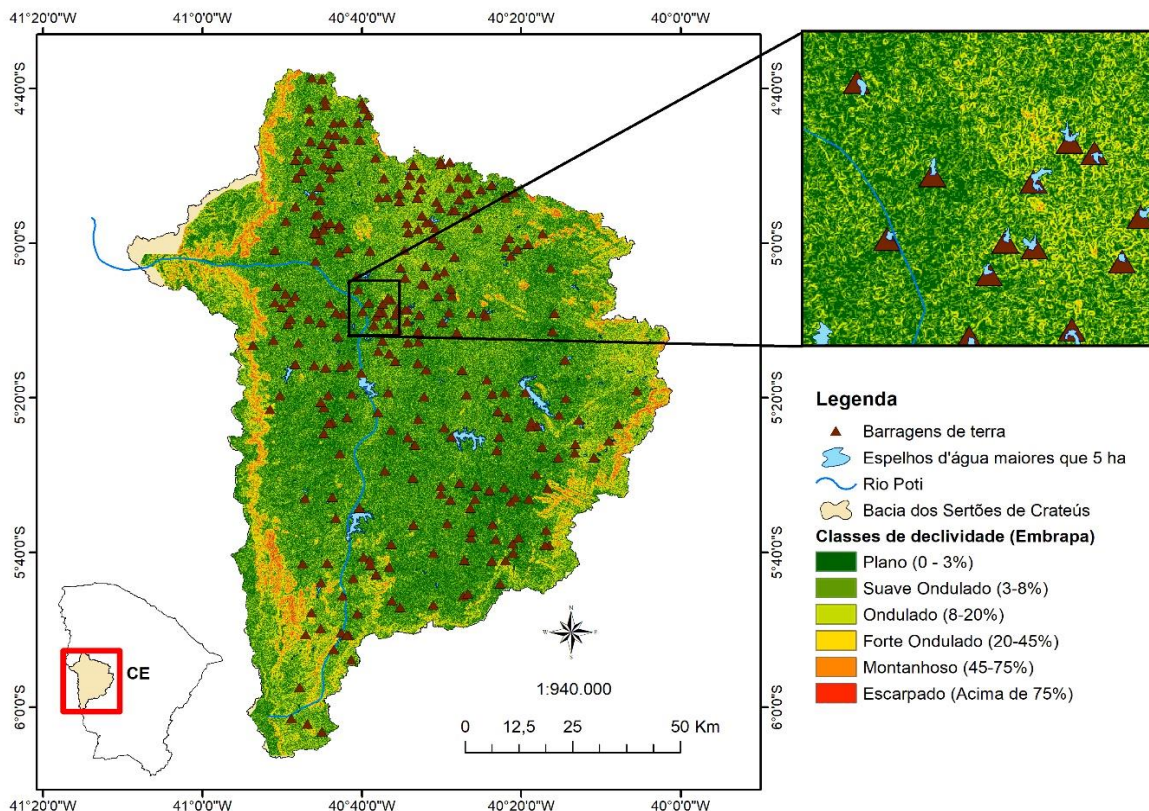
Nesta seção os resultados são apresentados com o auxílio de mapas e também por meio de quadros, tabelas e gráficos.

Dessa forma, essas informações podem ser utilizadas para a obtenção de dados sobre a Bacia dos Sertões de Crateús, tanto para a qualificação desses barramentos de acordo com os aspectos relacionados à segurança, quanto para pesquisas futuras sobre o assunto.

4.1 Alturas Estimadas

Os resultados para o cálculo das estimativas das alturas das barragens depende do conhecimento da inclinação dos taludes de jusante. Assim, ao ampliar uma região arbitrária do mapa de declividade da Bacia dos Sertões de Crateús (Figura 12), nota-se que próximo as barragens existem regiões classificadas com base nas faixas de declividade da Embrapa (1999) como “Forte Ondulado”. Esses locais possuem declives entre 20% a 45% e estão presentes nas proximidades de todas as barragens da amostra.

Figura 12 - Mapa de declividade da Bacia dos Sertões de Crateús

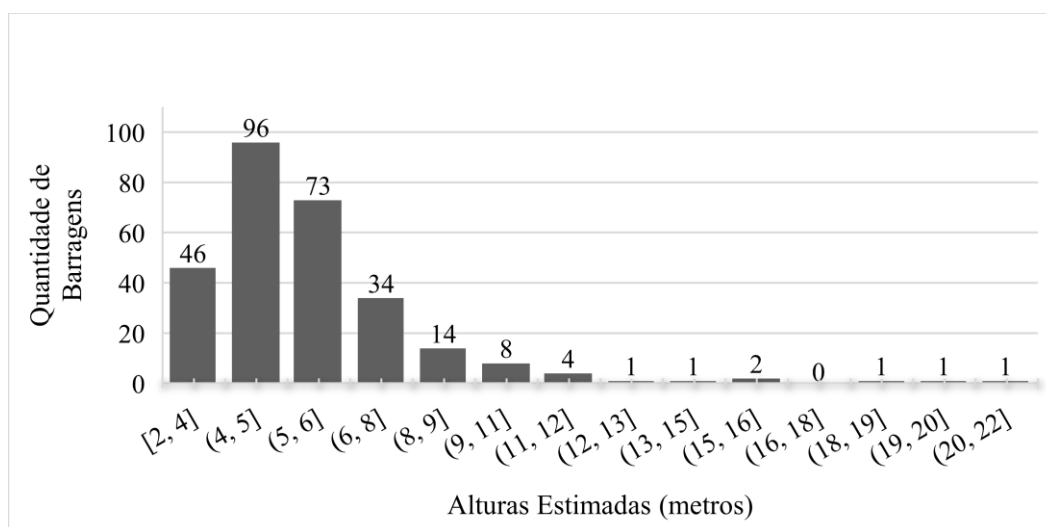


Fonte: Autora (2020).

A aplicação da técnica de Fernandes (2018) aliada as recomendações dos estudos de Araújo *et al.* (2012) apresentaram resultados satisfatórios, levando em consideração vantagens como a facilidade de obtenção dos resultados e o baixo custo do processo, pois o Google Earth é uma ferramenta online disponível gratuitamente.

No Gráfico 1 é possível visualizar a apuração da estimativa dos valores das alturas das 282 barragens de terra da amostra.

Gráfico 1 - Variação das alturas estimadas das barragens de terra da amostra



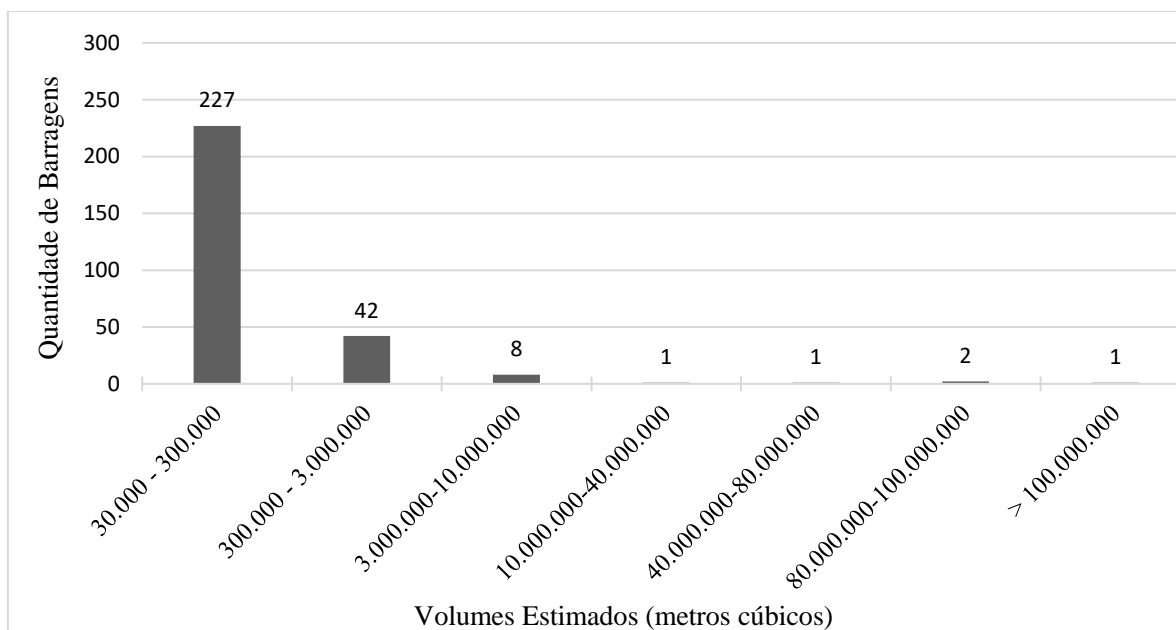
Fonte: Autora (2020).

Observando o Gráfico 1, nota-se que a altura mais recorrente das barragens dos reservatórios da amostra se encontram entre 4 a 6 metros. A altura média dos barramentos é 5,63 metros. A dispersão dos dados analisados pode ser determinada pelo valor de 2,56 metros de desvio padrão.

4.2 Volumes Estimados

Os resultados obtidos pela estimativa dos volumes da Bacia dos Sertões de Crateús podem ser observados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Variação dos volumes estimados dos reservatórios da amostra



Fonte: Autora (2020).

Percebe-se que a maior parte dos reservatórios do estudo estão concentrados principalmente na faixa de armazenamento entre 30.000 m³ a 300.000 m³. Em contrapartida a um número pouco expressivo de reservatórios com volumes acima dos 10.000.000 m³. Desses açudes, o de maior capacidade de armazenamento foi estimado em 101.343.491,2 m³ (Açd. Flor do Campo).

Os volumes obtidos nas estimativas ressaltam o que foi discutido por Molle (1994b). O autor relata que em regiões que possuem restrições de água, existe a preocupação do Poder Público na construção de grandes reservatórios, como fruto da implantação de políticas públicas de combate à seca, e antes disso a construções de um grande número de pequenos açudes por empreendedores privados, prática que perdura até hoje.

Logo, Molle (1994b) discute em seu texto que a construção da pequena açudagem é uma herança da colonização, que permitia os fazendeiros cultivar suas terras e criar o gado. Com o evoluir dos séculos, os sertanejos, com seu bom senso prático, compreenderam que esse era o único meio de suprir a falta de rios perenes e iniciaram a construção dessas pequenas represas.

A média de volume desses reservatórios foi de 1.776.080,82 m³ e a dispersão dos dados analisados pode ser determinada pelo valor do desvio padrão de 11.123.980,78 m³.

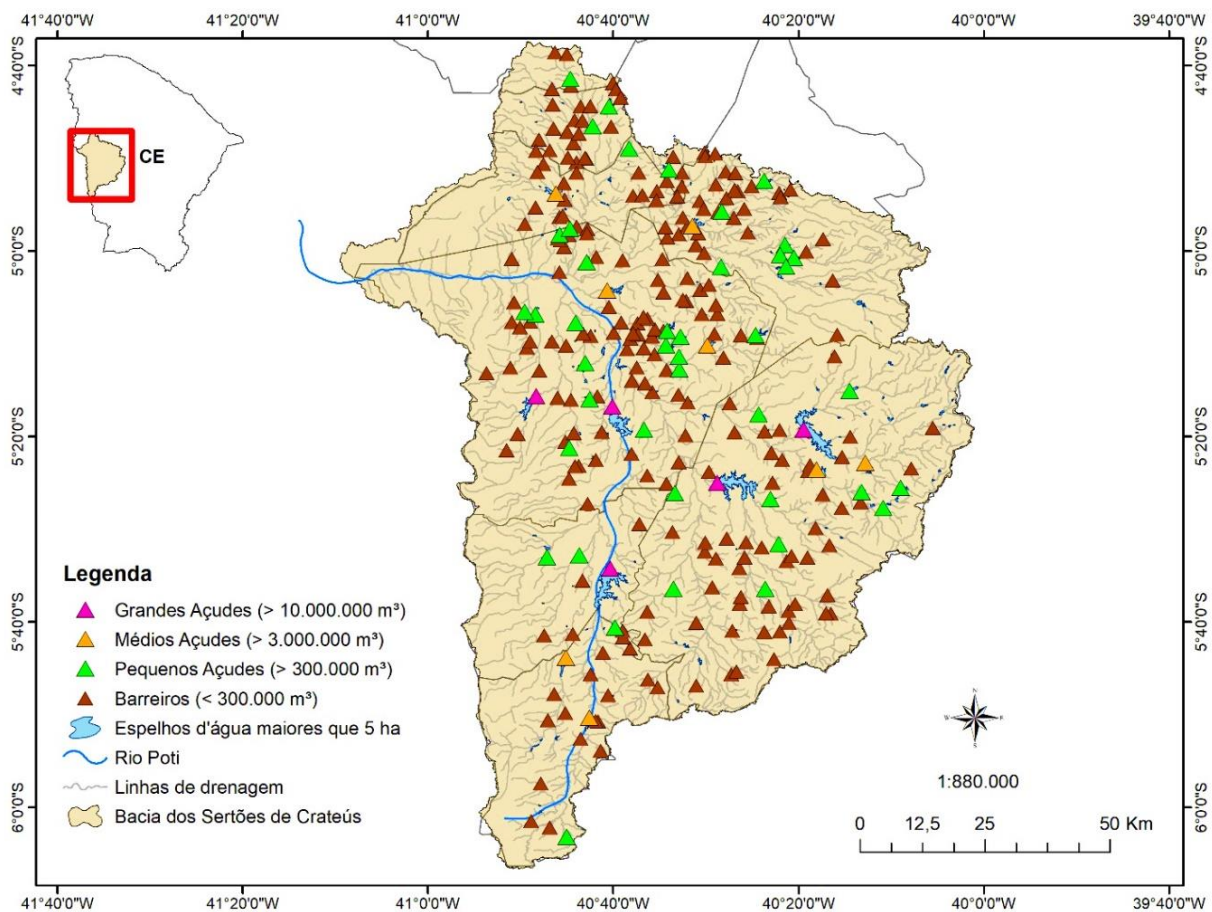
4.3 Classificação dos reservatórios

As estimativas realizadas para a Bacia dos Sertões de Crateús mostrou uma aglomeração do número de reservatórios em alturas entre 4 a 6 metros e volumes entre 30.000 m³ a 3.000.000 m³. A partir dessas estimativas, fez-se a classificação dos reservatórios considerando a capacidade estimada das 282 barragens de terra do estudo.

Essa classificação baseada em Molle (1994b) tem o propósito de conhecer melhor a bacia e a técnica de represamento de água mais difundida na região.

A Figura 13 representa a localização das barragens dentro da bacia e suas respectivas classificações como: Barreiros (Vol. < 300.000 m³); Pequenos Açudes (300.000 m³ < Vol. < 3.000.000 m³); Açudes Médios (3.000.000 m³ < Vol. < 10.000.000 m³); e Grandes Açudes (Vol. > 10.000.000 m³).

Figura 13 - Localização dos Barreiros e Pequenos, Médios e Grandes Açudes



Fonte: Autora (2020).

Os resultados desse agrupamento é exibido na Tabela 2. Nota-se que essa categorização confirma a existências de um grande número de pequenas represas, também conhecidas como barreiros, que são estruturas rudimentares que não costumam empregar técnicas de construção que garantam sua segurança e estabilidade.

Tabela 2 - Classificação dos Açudes da Bacia dos Sertões de Crateús

Classificação	Capacidade	Quantidade
Pequenos Açudes	300.000 m ³ - 3.000.000 m ³	42
Médios Açudes	3.000.000 m ³ - 10.000.000 m ³	8
Grandes Açudes	maiores que 10.000.000 m ³	5
Barreiros	< 300.000 m ³	227

Fonte: Autora (2020).

4.4 Validação dos Métodos

As principais informações a respeito das alturas e volumes das barragens conhecidas são encontradas no Portal Hidrológico do Ceará (2019), página virtual frequentemente atualizada pela COGERH que possui a ficha técnica de todos os barramentos monitorados pelo órgão.

No Quadro 6 é apresentado as 09 barragens de terra monitoradas da BSC que possuem dados conhecidos e a única que teve seus dados aferidos por uma visita a campo, totalizando 10 barragens utilizadas para a validação da metodologia.

Quadro 6 - Açudes utilizados na validação dos métodos

Açude	Município	Fonte dos dados
São José III	Ipaporanga	Portal Hidrológico do Ceará
Sucesso	Tamboril	Portal Hidrológico do Ceará
Carnaubal	Crateús	Portal Hidrológico do Ceará
Realejo	Crateús	Portal Hidrológico do Ceará
Jaburu II	Independência	Portal Hidrológico do Ceará
Cupim	Independência	Portal Hidrológico do Ceará
Barra Velha	Independência	Portal Hidrológico do Ceará
Flor do Campo	Novo Oriente	Portal Hidrológico do Ceará
Colina	Quiterianópolis	Portal Hidrológico do Ceará
São Francisco	Crateús	Visita a Campo

Fonte: Autora (2020).

Todos os açudes utilizados na validação dos dados (Quadro 6) tiveram seus volumes e alturas reais comparados aos volumes e alturas estimados por esse estudo.

A Tabela 3 mostra os valores da variação dessa comparação e o erro relativo percentual da estimativa para os volumes dos reservatórios da bacia.

Tabela 3 - Resultados obtidos para o comparativo dos volumes reais e estimados

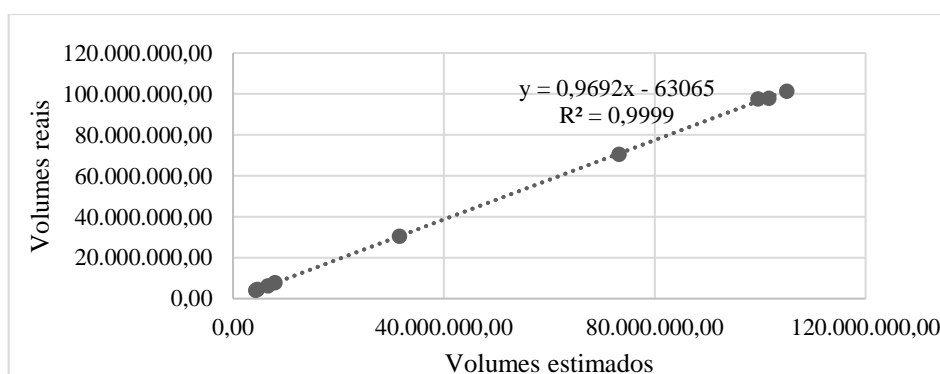
Açude	Volume			Erro Relativo
	Real	Estimado	Varição	
São José III	7.960.000,00 m ³	7.797.811,27 m ³	162.188,73 m ³	2,0%
Sucesso	6.600.000,00 m ³	6.278.832,01 m ³	321.167,99 m ³	4,9%
Carnaubal	73.200.000,00 m ³	70.464.736,64 m ³	2.735.263,36 m ³	3,7%
Realejo	31.550.000,00 m ³	30.425.942,73 m ³	1.124.057,27 m ³	3,6%
Jaburu II	101.641.000,00 m ³	97.945.254,16 m ³	3.695.745,84 m ³	3,6%
Cupim	4.600.000,00 m ³	4.528.779,76 m ³	71.220,24 m ³	1,5%
Barra Velha	99.560.000,00 m ³	97.640.641,66 m ³	1.919.358,34 m ³	1,9%
Flor do Campo	105.000.000,00 m ³	101.343.491,18 m ³	3.656.508,82 m ³	3,5%
Colina	4.290.000,00 m ³	4.021.679,46 m ³	268.320,54 m ³	6,3%
São Francisco	Indisponível	8.998.830,98 m ³	-	-

Fonte: Autora (2020).

A análise dos comparativos referentes aos critérios estabelecidos, revela para esta amostragem, um coeficiente de determinação com relação aos volumes e as alturas, reais e estimadas, seguindo uma linha de tendência.

É possível verificar que os coeficientes de determinação obtidos possuem valores próximos de 1 (um) para todas as situações, o que significa uma boa correlação entre os dados reais e estimados. Conforme apresentado pelo Gráfico 3, o coeficiente de determinação entre os volumes reais e estimados é de 0,999.

Gráfico 3 - Resultados dos comparativos entre os volumes reais e estimados



Fonte: Autora (2020).

É importante destacar que o Açude São Francisco, localizado no município de Crateús, foi o único açude da validação que teve seus dados reais para a altura da barragem medidos em campo.

A altura da barragem do Açude São Francisco possui uma variação de 1,55 m, sendo o valor mais discrepante em relação aos outros reservatórios da validação. Conseqüentemente, o erro relativo percentual foi o mais alto, aproximadamente 14%, como mostra a Tabela 4.

Esse resultado pode ter sua explicação no fato do talude de jusante dessa barragem possuir inclinações diferentes ao longo do seu comprimento. A inclinação média coletada em campo foi de 65 %, conferindo a essa barragem uma altura média de 11 metros.

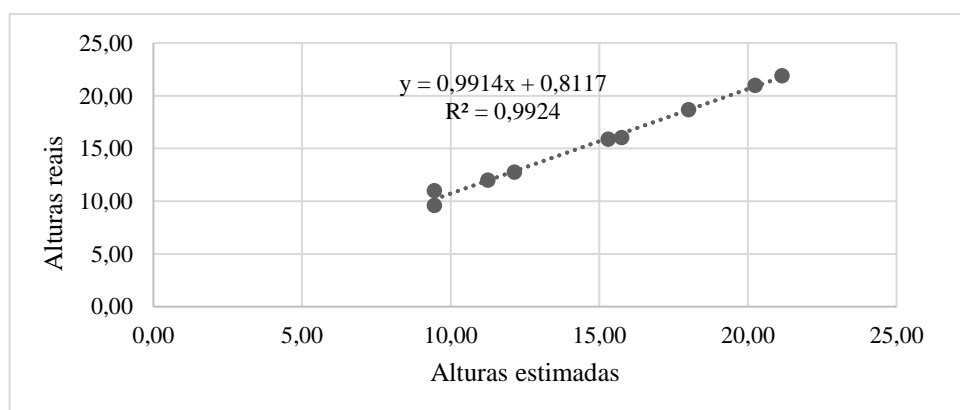
Tabela 4 - Resultados obtidos para o comparativo das alturas reais e estimadas

Açude	Altura			Erro Relativo
	Real	Estimada	Varição	
São José III	Indisponível	9,00 m	-	-
Sucesso	12,77 m	12,15 m	0,62 m	4,9%
Carnaubal	18,70 m	18,00 m	0,70 m	3,7%
Realejo	21,00 m	20,25 m	0,75 m	3,6%
Jaburu II	15,88 m	15,30 m	0,58 m	3,7%
Cupim	9,60 m	9,45 m	0,15 m	1,6%
Barra Velha	16,06 m	15,75 m	0,31 m	1,9%
Flor do Campo	21,91 m	21,15 m	0,76 m	3,5%
Colina	12,00 m	11,25 m	0,75 m	6,3%
São Francisco	11,00 m	9,45 m	1,55 m	14,0%

Fonte: Autora (2020).

O Gráfico 4 mostra o resultado dos comparativos entre alturas reais e estimas e o valor do coeficiente de determinação das alturas de 0,992.

Gráfico 4 - Resultados dos comparativos entre as alturas reais e estimadas



Fonte: Autora (2020).

4.5 Enquadramento na Lei 12.334/2010

Nessa etapa, obedecendo aos critérios exigidos pela legislação vigente e tendo em vista que os reservatórios analisados não armazenam resíduos perigosos, todos os Açudes Médios e Grandes foram enquadrados nos requisitos referentes às alturas e volumes.

Para os Açudes Pequenos, tendo como base os exemplos dos estudos de Anderáos (2013) para uma barragem fictícia, verificou-se o enquadramento na Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA). Consequente, conferiu-se também a categoria de Dano Potencial Associado (DPA) para os Barreiros da amostra.

Torna-se importante ressaltar que a pontuação atribuída nos Quadros 7 e 8, são referentes aos Açudes Pequenos e aos Barreiros, com o intuito de verificar se atendem ao requisito de enquadramento DPA médio ou alto, já que os requisitos da lei relacionados ao volume e a altura da barragem não foram suficientes para enquadrá-los.

Atribuiu-se uma pontuação baseada nas Características Técnicas (CT), Plano de Segurança (PS) e Estado de Conservação (EC), como sugere a classificação do CNRH (2012) e o estudo realizado por Anderáos (2013).

Face a indisponibilidade de verificar presencialmente as Características Técnicas (CT), utilizou-se os dados estimados nesse estudo para as alturas e a ferramenta Régua do Google Earth para verificar o comprimento das barragens.

Foram identificados comprimentos menores que 200 metros (recebem 2 pontos) e outros maiores que 200 metros (recebem 3 pontos) para as barragens dos Pequenos Açudes. Essas barragens possuem idade e vazão de projeto desconhecidas, assim atribuiu-se 4 e 10 pontos respectivamente.

Em relação a pontuação referente ao Plano de Segurança (PS), como essa análise trata de reservatórios não monitorados e com informações desconhecidas pelo Poder Público a pontuação atribuída está exemplificada no Quadro 7.

Para o Estado de Conservação (EC), verificou-se pelas imagens de satélites do Google Earth a existência ou não de possíveis eclusas e se nos taludes das barragens existiam indícios de crescimento de vegetação.

A verificação do DPA dos Pequenos Açudes e dos Barreiros (Quadro 8), um dos critérios de enquadramento dos reservatórios na Lei 12.334/2010, deu-se pela pontuação atribuída em relação a capacidade dos reservatórios estimados nesse estudo, o potencial de perdas de vidas humanas, o impacto ambiental e o impacto socioeconômico.

A descrição detalhada das condições utilizadas para a classificação em relação ao DPA estão exemplificadas no Quadro 4, citado anteriormente nesse trabalho.

Quadro 7 - Categoria de Risco (CRI) para os Pequenos Açudes da amostra

Características Técnicas (CT)								CRI = CT + OS + EC = 60 (Classificado como ALTA)	
Tipos Analisados	Alturas (m)	Comprimento (m)	Material	Fundação	Idade	Vazão de Projeto	Total		
Pequenos Açudes	< 15	< 200 >200	Terra Homogênea	Rocha alt. mole/ Solo Compacto	Desconhecida	Desconhecida			
PONTOS	0	2 - 3	3	4	4	10	24		
Plano de Segurança (PS)				Estado de Conservação (EC)					Total
Tipos Analisados	Documentação de Projeto	Equipe de Segurança	Monitoramento e Inspeção	Relatórios	Confiabilidade das estruturas	Percolação/ Eclusas	Deterioração dos Taludes		
Pequenos Açudes	Inexistente	Sem resp. técnico	Não aplica	Não emite	Sem informação	Umidade/ Sem eclusas	Crescimento de Vegetação		
PONTOS	8	8	6	5	-	4	5		36

Fonte: Autora (2020).

Quadro 8 - Dano Potencial Associado (DPA) para os Pequenos Açudes e Barreiros da amostra

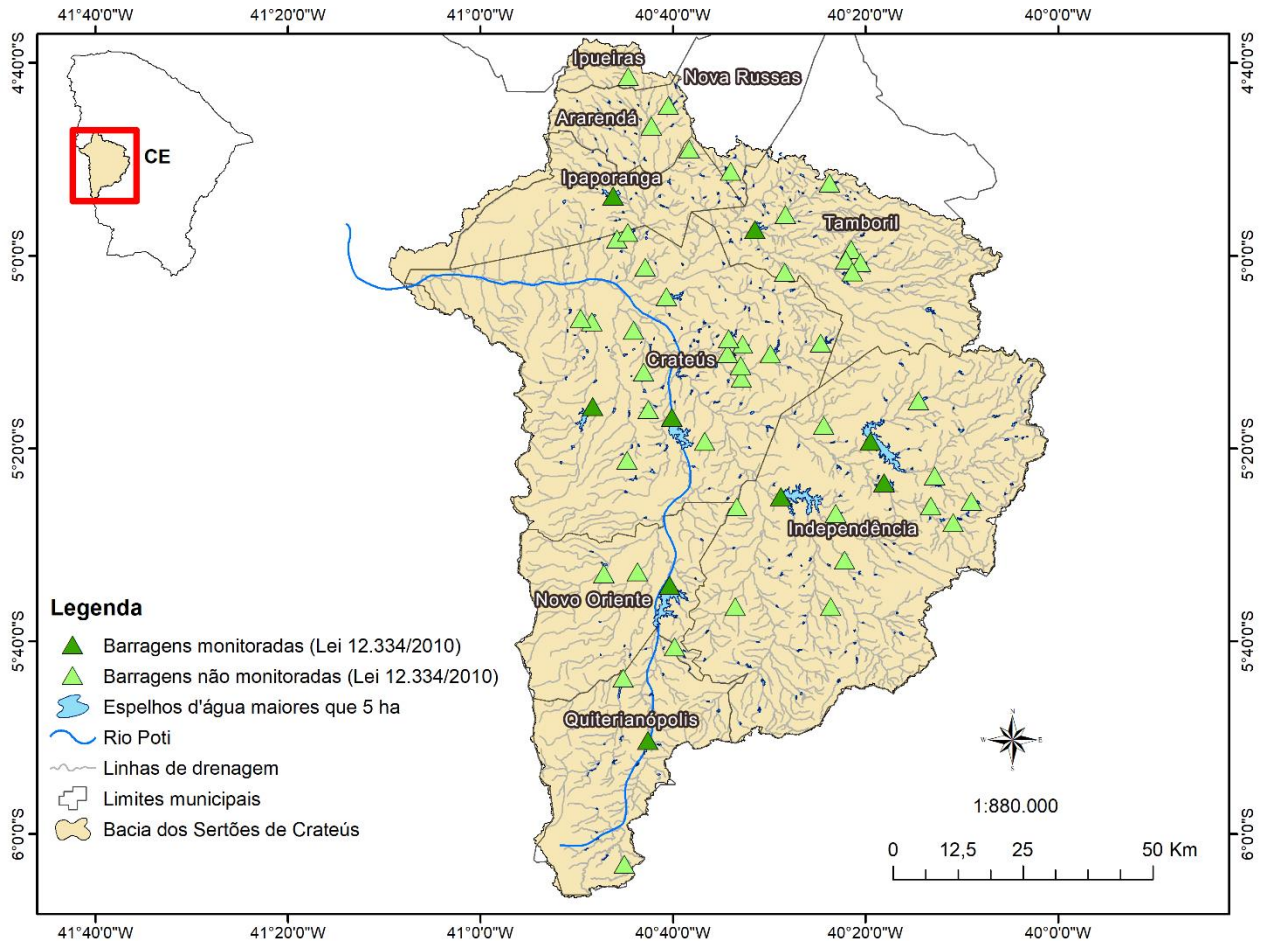
Dano Potencial Associado (DPA)						
Tipos Analisados	Capacidade (m ³)	Potencial Perdas de Vidas humanas	Impacto Ambiental	Impacto Socio-econômico	Total	Classificação
Barreiros	< 300.000	Pouco Frequente	Significativo	Inexistente	8	DPA < 10
PONTOS	1	4	3	0		BAIXO
Pequenos Açudes	entre 300.000 e 3.000.000	Frequente	Significativo	Baixo	16	DPA > 16
PONTOS	1	8	3	4		ALTO

Fonte: Autora (2020).

O critério de DPA faz com que os Pequenos Açudes também sejam enquadrados na lei. Contudo, os Barreiros da amostra não serão considerados no enquadramento por não se encontrarem em nenhum dos critérios preestabelecidos na legislação.

Assim, tem-se um total de 55 possíveis barragens de terra enquadradas dentro dos critérios da Lei 12.334/2010, com uma diversidade de açudes pequenos, médios e grandes, sendo 09 delas monitoradas pelo Poder Público (Figura 14).

Figura 14 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010



Para todas as 55 barragens enquadradas na legislação por esse estudo, fez-se um mapeamento das suas localizações separadas por município.

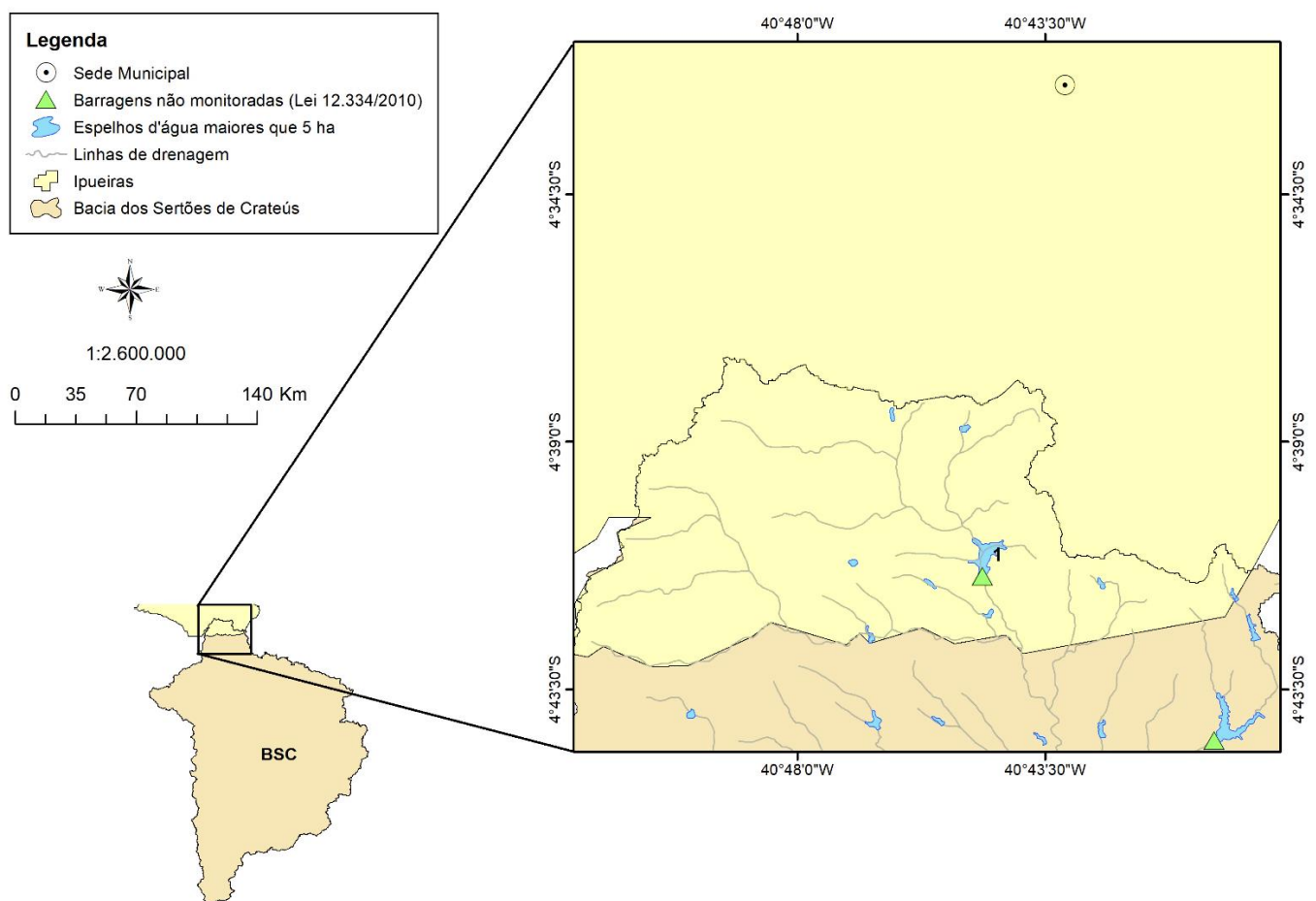
Além disso, elaborou-se um quadro resumo com as principais características de todos esses barramentos, são elas: perímetro e área do espelho d'água, coordenadas geográficas, volumes e alturas estimadas e classificação do açude segundo Molle (1994b).

Assim, torna-se possível visualizar nos mapas as barragens que estão localizadas nos territórios de cada município contribuinte da bacia (Figuras 15 a 23) e relacionar com suas características nos quadros resumos (Quadro 9 ao 17).

4.5.1 Município Ipueiras

O município de Ipueiras, contribui em parte do seu território com a Bacia dos Sertões de Crateús. Dessa porção, apenas uma única barragem apresentou características que se enquadram com os critérios estabelecidos pela legislação, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Ipueiras



Fonte: Autora (2020).

Os resultados desse estudo estão resumidos no Quadro 9, que mostra a caracterização do reservatório do município de Ipueiras enquadrado na Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010.

Quadro 9 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Ipueiras

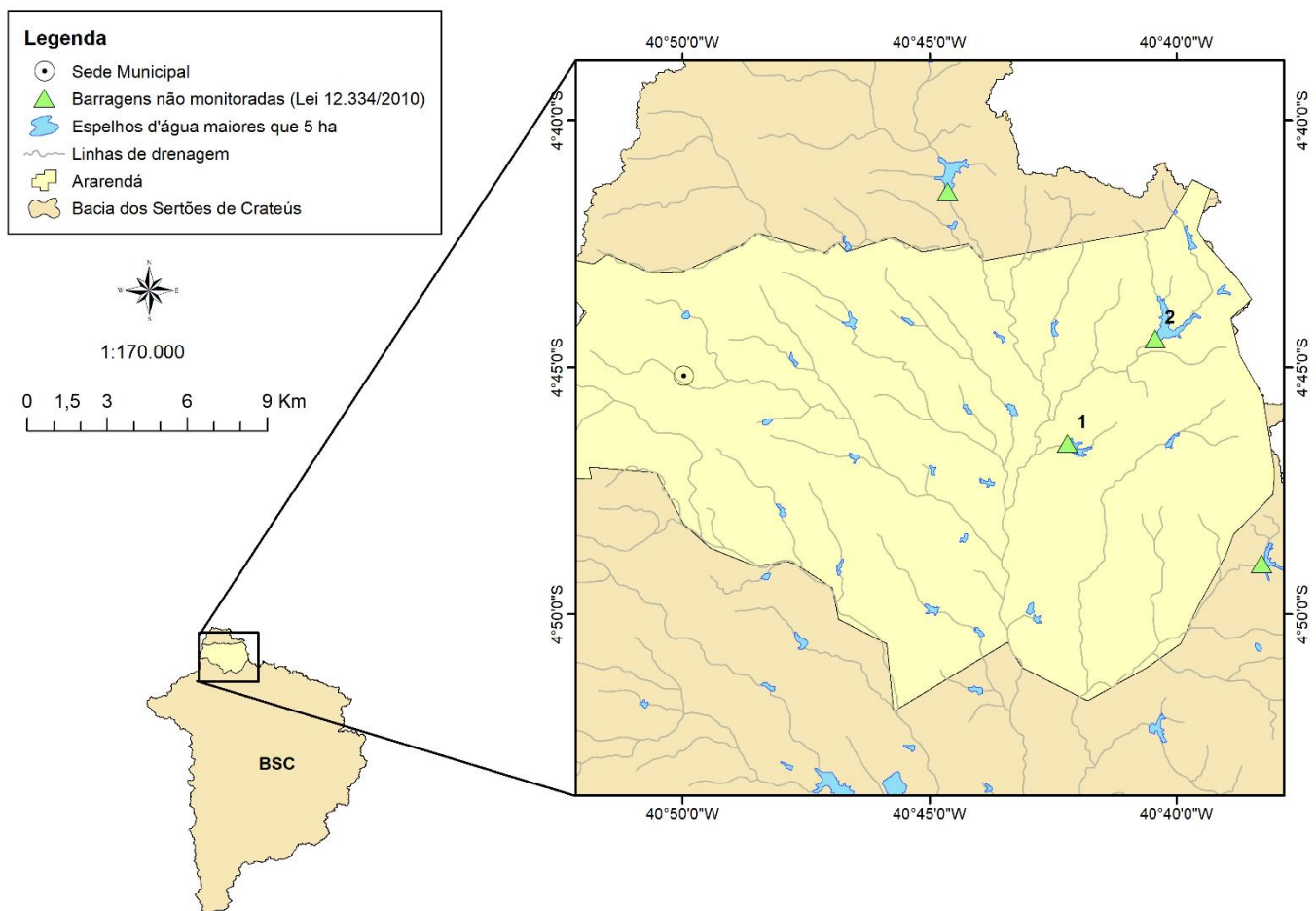
Nº	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m ²)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m ³)	Classificação do Açude
1	5.545,95 m	609.167,21 m ²	-4,6908°	-40,7438°	4,70 m	604.347,85 m ³	Pequeno Açude

Fonte: Autora (2020).

4.5.2 Município Ararendá

O município de Ararendá possui apenas duas barragens que apresentam características que se enquadram nos critérios estabelecidos pela legislação, como mostra a Figura 16. Os resultados obtidos para esse município estão resumidos no Quadro 10.

Figura 16 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Ararendá



Fonte: Autora (2020).

Quadro 10 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Ararendá

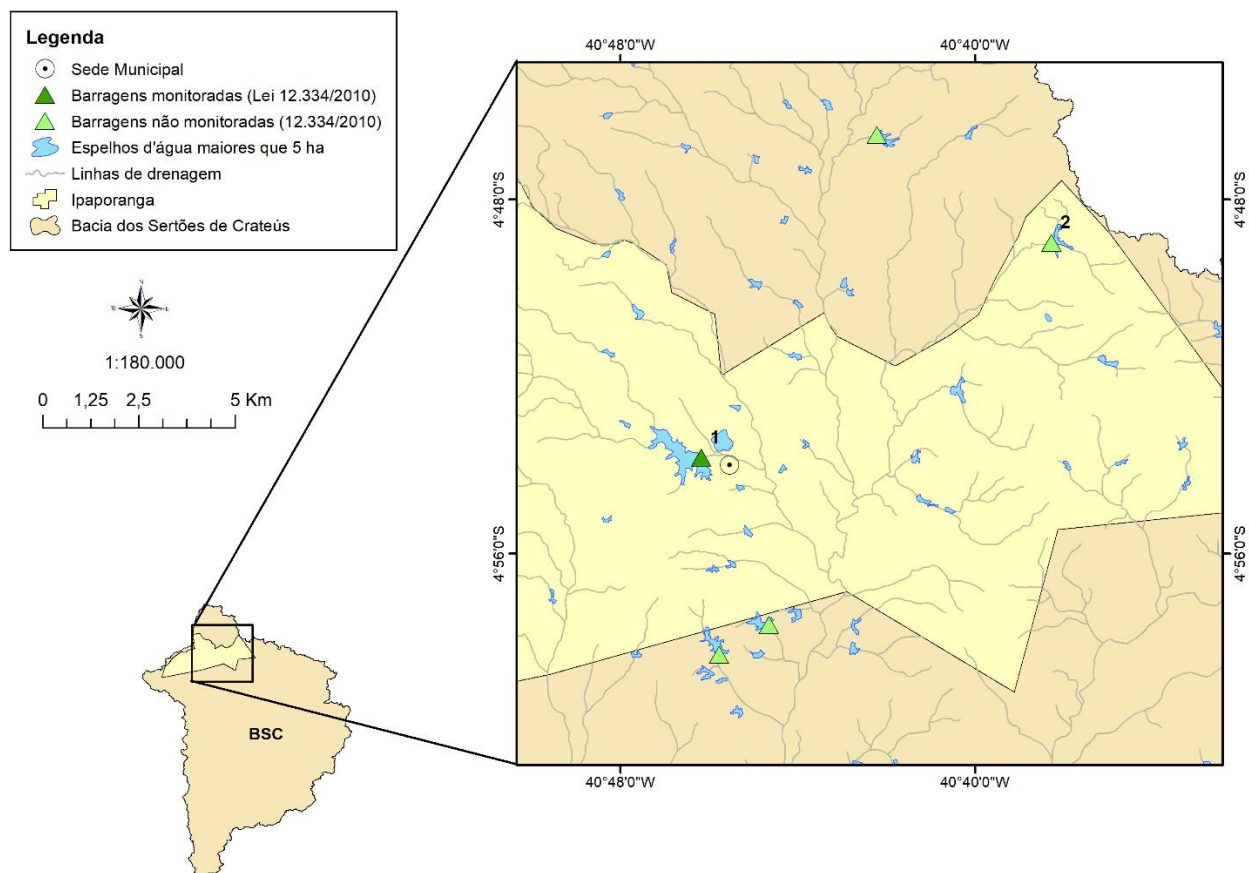
Nº	Nome	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m ²)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m ³)	Classificação do Açude
1	CARAPINIMA	3.915,67 m	244.687,21	-4,776	-40,703	6,12	315.925,26	Pequeno Açude
2	ITAURO	8.151,56 m	700.555,52	-4,741	-40,674	7,52	1.110.690,87	Pequeno Açude

Fonte: Autora (2020).

4.5.3 Município Ipaporanga

O município de Ipaporanga conta com duas barragens enquadradas na lei, sendo uma delas monitoradas pelo Poder Público, o Açude São Jose III (Figura 17). Os resultados para as barragens desse município estão resumidos no Quadro 11.

Figura 17 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Ipaporanga



Fonte: Autora (2020).

Quadro 11 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Ipaporanga

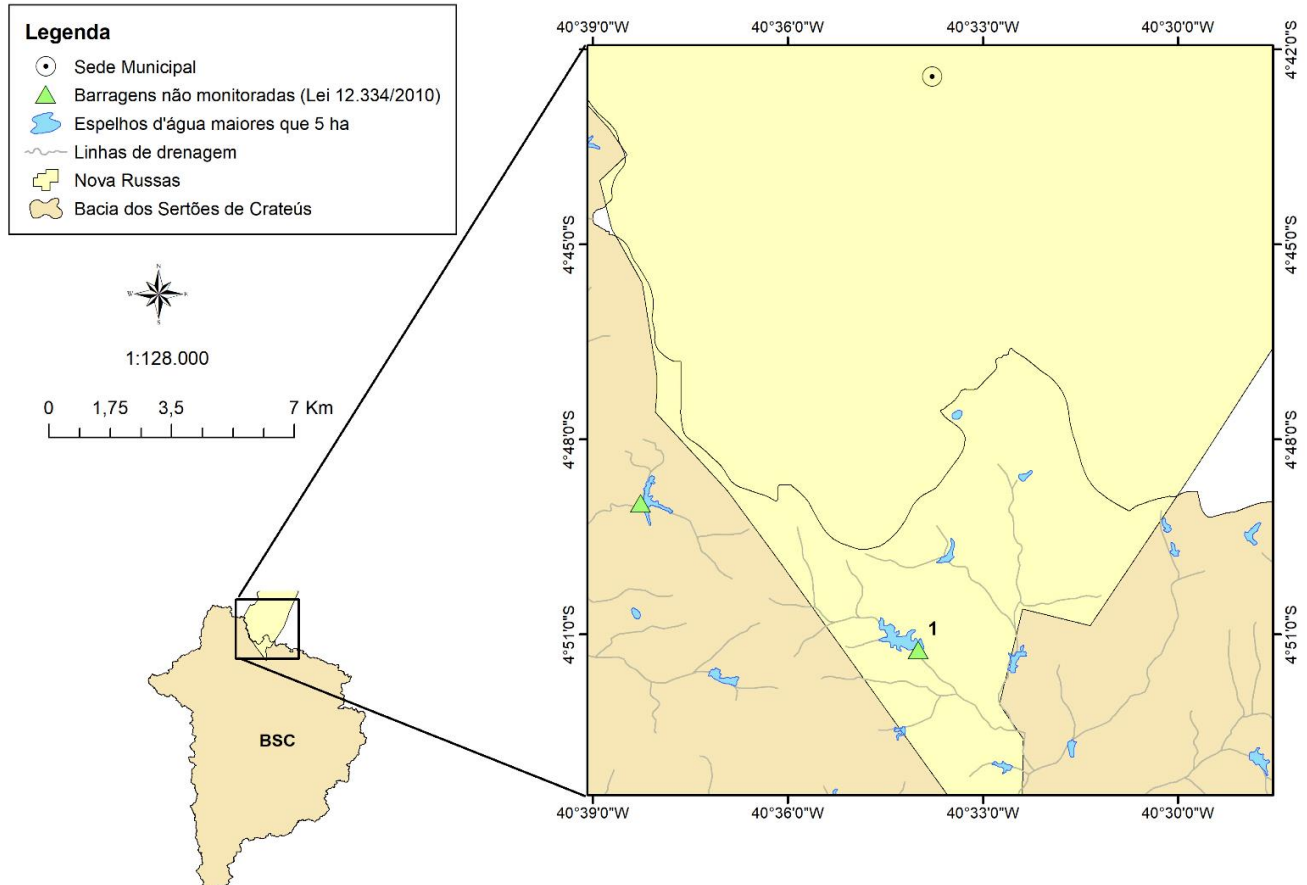
Nº	Nome	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m ²)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m ³)	Classificação do Açude
1	SÃO JOSÉ III	13.690,90	1.815.157,18	-4,897	-40,770	9,00	7.797.811,27	Médio Açude
2	-	4.958,96	274.784,77	-4,816	-40,638	7,63	442.438,27	Pequeno Açude

Fonte: Autora (2020).

4.5.4 Município Nova Russas

O município de Nova Russas possui apenas uma única barragem que apresenta as características que se enquadram com os critérios estabelecidos pela legislação, como mostra a Figura 18. O Quadro 12 exibe as principais características obtidas para essa barragem.

Figura 18 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Nova Russas



Fonte: Autora (2020).

Quadro 12 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Nova Russas

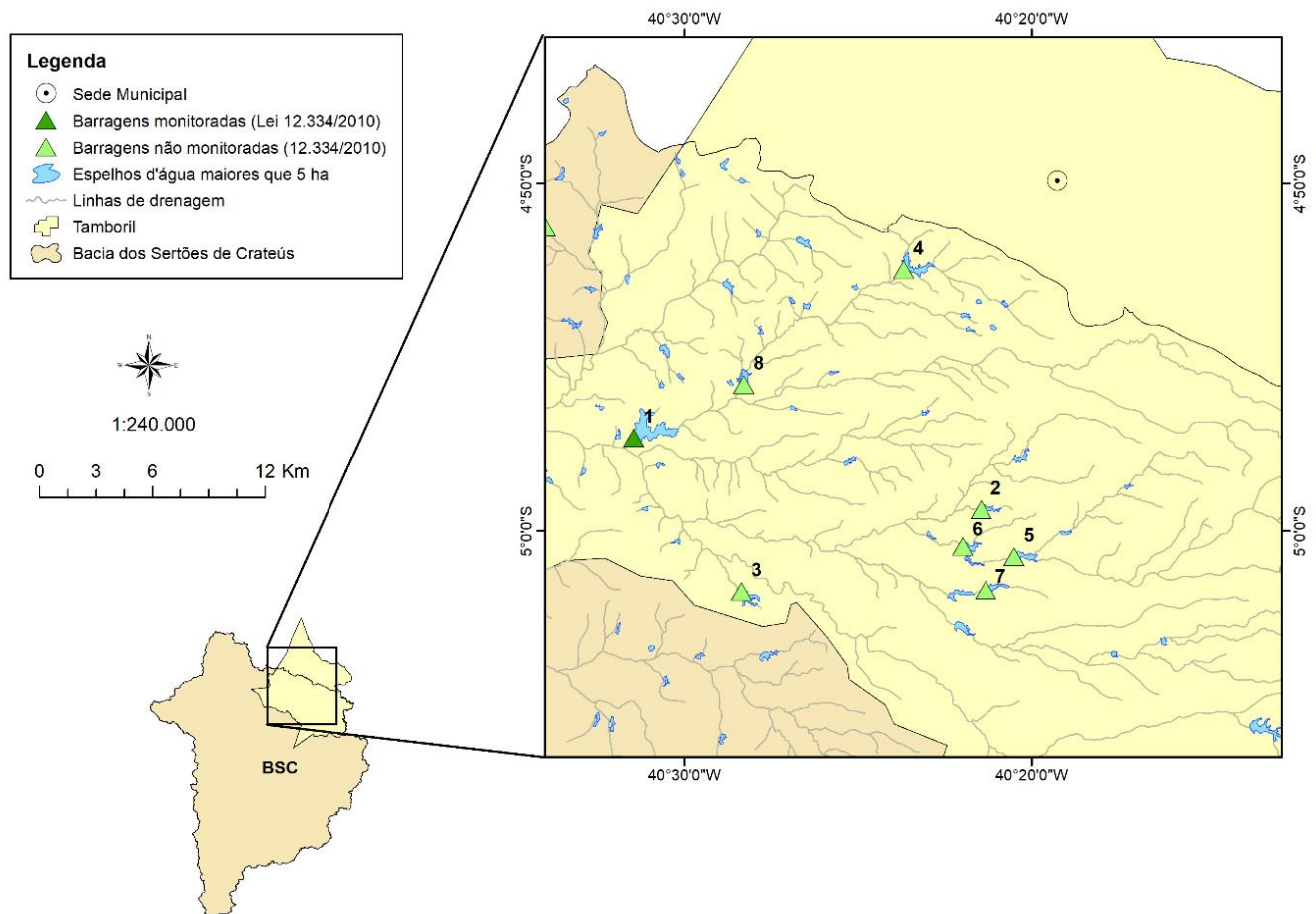
Nº	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m ²)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m ³)	Classificação do Açude
1	5.698,43	497.928,27	-4,854	-40,566	5,40	567.260,05	Pequeno Açude

Fonte: Autora (2020).

4.5.5 Município Tamboril

Tamboril é um município que possui oito barramentos que se enquadram na lei, sendo um desses monitorado pelo Poder Público, o Açude Sucesso, como mostra a Figura 19. As principais informações a respeito dessas barragens estão resumidas no Quadro 13.

Figura 19 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Tamboril



Fonte: Autora (2020).

Quadro 13 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Tamboril

Nº	Nome	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m³)	Classificação do Açude
1	SUCESSO	10.592,7	1.642.831,8	-4,955	-40,524	12,2	6.278.832	Médio Açude
2	-	3.390,1	214.207,8	-4,990	-40,358	10,7	481.967,5	Pequeno Açude
3	RIO DA ONÇA	5.543,4	389.209,2	-5,029	-40,473	4,6	378.001	Pequeno Açude
4	-	7.212,6	609.553,4	-4,875	-40,395	6,2	796.856	Pequeno Açude
5	-	3.766,8	302.661,0	-5,012	-40,342	7,4	469.507,7	Pequeno Açude
6	RIACHO DO ARVOREDO	6.832,0	391.893,6	-5,007	-40,367	10,4	855.717	Pequeno Açude
7	-	3.560,9	236.306,2	-5,028	-40,355	9,6	477.174	Pequeno Açude
8	-	3.666,4	311.200,3	-4,930	-40,471	6,1	401.80,9	Pequeno Açude

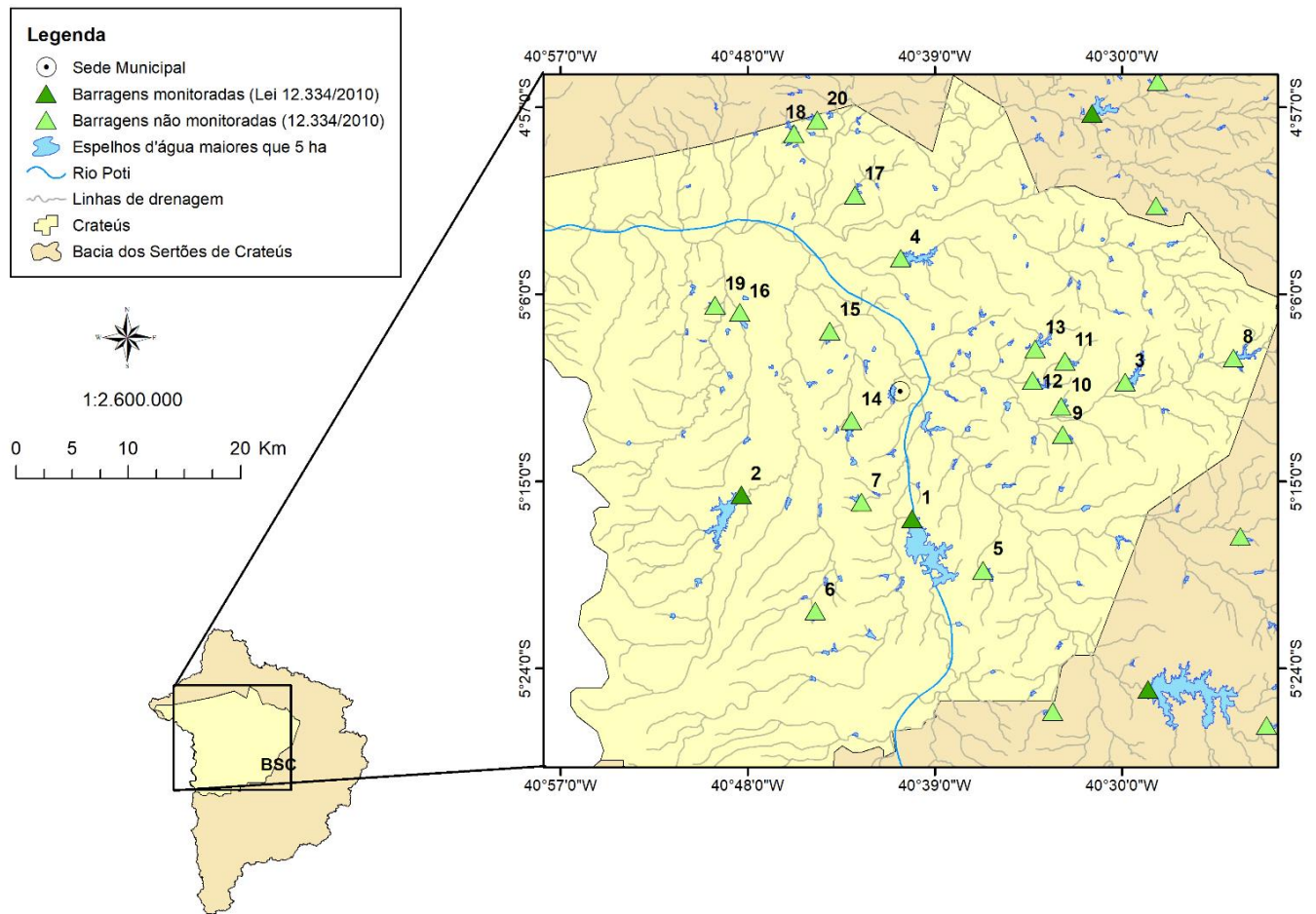
Fonte: Autora (2020).

4.5.6 Município Crateús

O município de Crateús é o maior contribuinte da Bacia dos Sertões de Crateús. Do seu território, encontram-se vinte barramentos com características que se enquadram com os critérios estabelecidos pela legislação, sendo dois desses monitorados pelo Poder Público, o Açude Carnaubal e o Açude Realejo, como mostra a Figura 20.

Além disso, é um dos principais municípios da região do Sertão Central que atrai atividades comerciais, lazer, educação, questões relacionadas a saúde, entre outras.

Figura 20 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Crateús



Fonte: Autora (2020).

Crateús é um município que historicamente aderiu a construção de reservatórios para mitigar os efeitos da seca. O Quadro 14 resume as informações que caracterizam as barragens enquadradas na lei nesse município.

Quadro 14 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Crateús

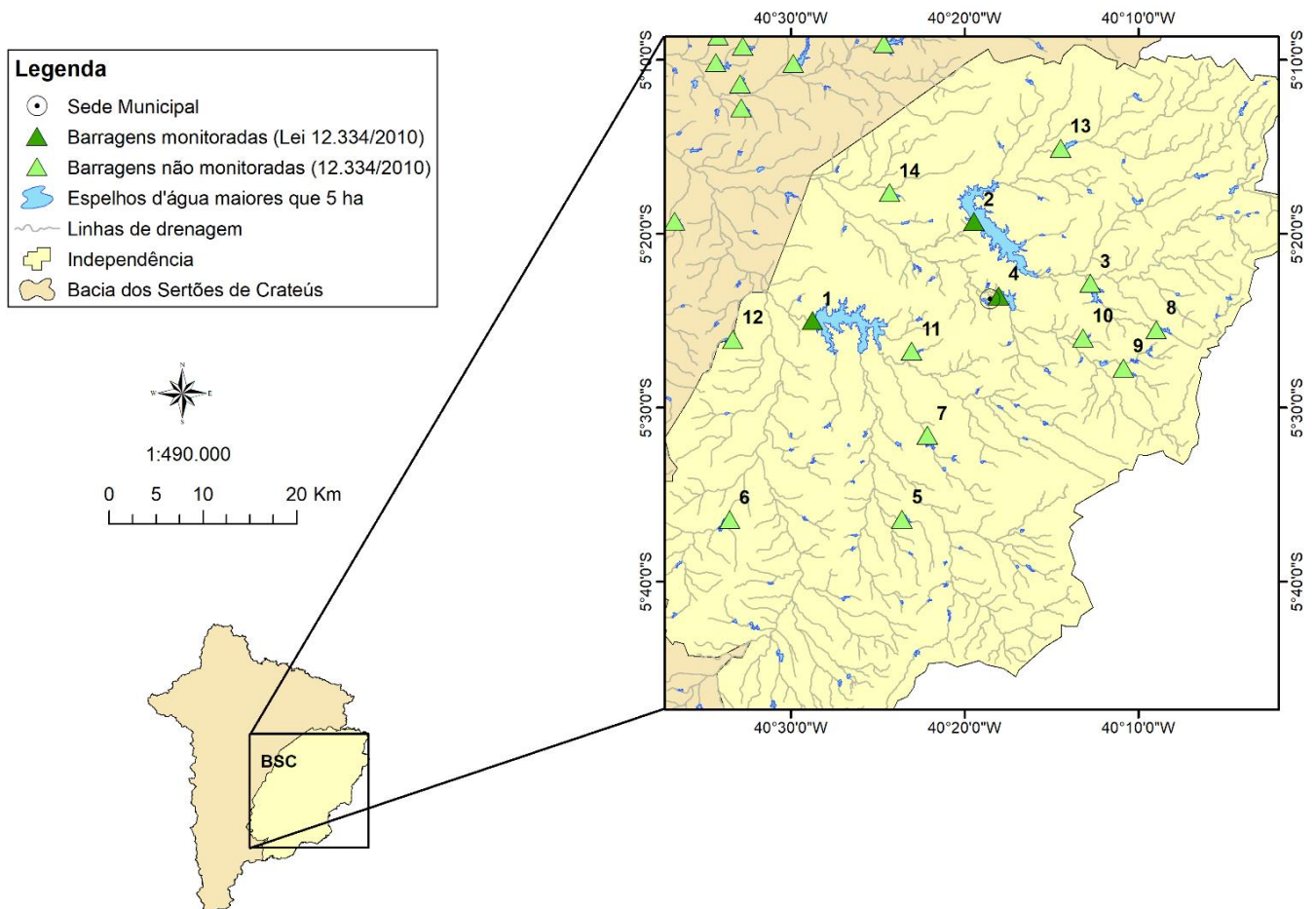
Nº	Nome	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m ²)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m ³)	Classificação do Açude
1	CARNAU-BAL	38.827,8	10.303.510,4	-5,280	-40,668	18,0	70.464.736,6	Grande Açude
2	REALEJO	25.611	4.343.772,9	-5,261	-40,805	20,3	30.425.942,7	Grande Açude
3	RIACHO FECHADO	11.761	1.201.578,1	-5,170	-40,498	14,4	8.259.057,1	Médio Açude
4	SÃO FRANCISCO	16.685,4	1.994.978,9	-5,071	-40,677	9,5	8.998.831	Médio Açude
5	-	4.189,8	349.375,6	-5,322	-40,611	7,2	530.697	Pequeno Açude
6	-	3.134,3	305.938,2	-5,354	-40,746	6,8	435.671,4	Pequeno Açude
7	-	3.583,7	364.252,6	-5,267	-40,709	8,6	657.037,9	Pequeno Açude
8	-	11.762,4	979.966,5	-5,151	-40,411	6,8	1.395.522	Pequeno Açude
9	-	4.412,4	455.673,1	-5,2127	-40,5474	3,4	324.450,8	Pequeno Açude
10	-	3.790,7	277.945	-5,1900	-40,5485	5,9	343.033,4	Pequeno Açude
11	-	4.720,9	292.087,7	-5,1538	-40,5458	8,1	499.137,2	Pequeno Açude
12	-	7.459,1	619.634,6	-5,1694	-40,5716	6,8	882.391	Pequeno Açude
13	APUÍ	10.003	907.055,4	-5,144	-40,569	9,9	1.894.482,7	Pequeno Açude
14	PILAR	7.712,5	647.042,9	-5,201	-40,717	9,0	1.228.562,4	Pequeno Açude
15	-	4.272,9	430.145	-5,130	-40,734	12,0	1.090.336,1	Pequeno Açude
16	CURRALINHO	4.831,6	624.246	-5,115	-40,806	9,9	1.303.805	Pequeno Açude
17	-	4.760,3	285.908,3	-5,020	-40,714	6,3	380.004,7	Pequeno Açude
18	FAZ. S. FRANCISCO	5.837	411.718,4	-4,972	-40,763	11,3	977.179,7	Pequeno Açude
19	-	2.633,5	202.552,2	-5,109	-40,826	8,1	346.133,6	Pequeno Açude
20	FAZ. BELA VISTA	3.969,9	302.850,4	-4,960	-40,744	7,0	445.650	Pequeno Açude

Fonte: Autora (2020).

4.5.7 Município Independência

O município de Independência é o segundo maior contribuinte da Bacia dos Sertões de Crateús. São catorze barramentos com características que se enquadram aos critérios estabelecidos pela legislação, sendo três desses monitorados pelo Poder Público, o Açude Jaburu II, o Açude Cupim e o Açude Barra Velha, como mostra a Figura 21. As principais características desses reservatórios podem ser encontradas no Quadro 15.

Figura 21 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Independência



Fonte: Autora (2020).

Quadro 15 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Independência

Nº	Nome	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m ²)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m ³)	Classificação do Açude
1	JABURU II	74.451,8	15.556.011	-5,417	-40,479	15,3	97.945.254,2	Grande Açude
2	BARRA VELHA	77.860,1	17.649.708,4	-5,322	-40,324	15,8	97.640.641,7	Grande Açude
3	-	11.972,1	1.286.318,7	-5,381	-40,213	9,4	5.758.041,6	Médio Açude
4	CUPIIM	9.805,1	1.625.568,4	-5,393	-40,300	9,5	4.528.779,76	Médio Açude
5	-	3.921,9	279.526,7	-5,607	-40,393	6,4	377.891,8	Pequeno Açude
6	-	6.904,9	797.374,3	-5,607	-40,558	6,2	1.039.362,3	Pequeno Açude
7	-	6.790,8	574.401,3	-5,527	-40,369	6,5	792.346,6	Pequeno Açude
8	-	6.225,2	491.445,2	-5,425	-40,149	7,0	725.037,2	Pequeno Açude
9	-	5.153,2	447.404,2	-5,462	-40,181	3,7	353.392,7	Pequeno Açude
10	-	4.643,0	267.080,2	-5,433	-40,220	5,4	301.733	Pequeno Açude
11	-	3.600,2	254.212,6	-5,446	-40,384	7,0	376.492	Pequeno Açude
12	-	3.619,2	311.393,4	-5,435	-40,555	5,1	331.693,1	Pequeno Açude
13	RIACHO BOM PRINCÍPIO	5.846,7	746.488,8	-5,252	-40,241	6,0	946.103,7	Pequeno Açude
14	-	5.387,2	509.633,9	-5,294	-40,405	4,6	495.925,4	Pequeno Açude

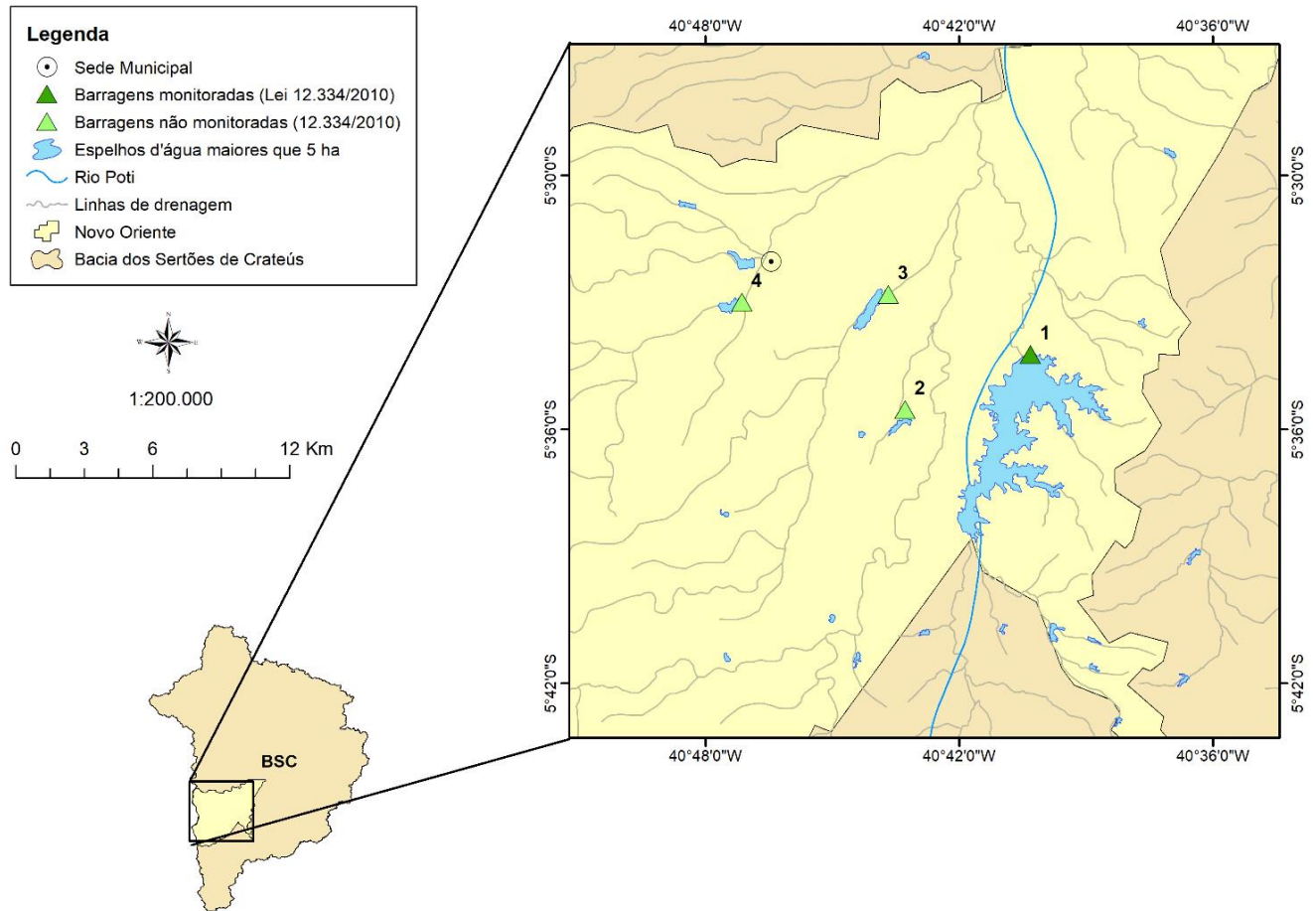
Fonte: Autora (2020).

4.5.8 Município Novo Oriente

Novo Oriente possui quatro barramentos que podem ser enquadrados na lei, sendo um desses monitorado pelo Poder Público, o Açude Flor do Campo, como mostra a Figura 22.

O Açude Flor do Campo é o maior açude da Bacia dos Sertões de Crateús em termos de capacidade de acumulação de água, são mais de 101 milhões de metros cúbicos. Esse reservatório é constantemente monitorado pela COGERH devido a sua magnitude hídrica. Os resultados desse estudo para as barragens do município de Novo Oriente estão resumidos no Quadro 16.

Figura 22 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Novo Oriente



Fonte: Autora (2020).

Quadro 16 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Novo Oriente

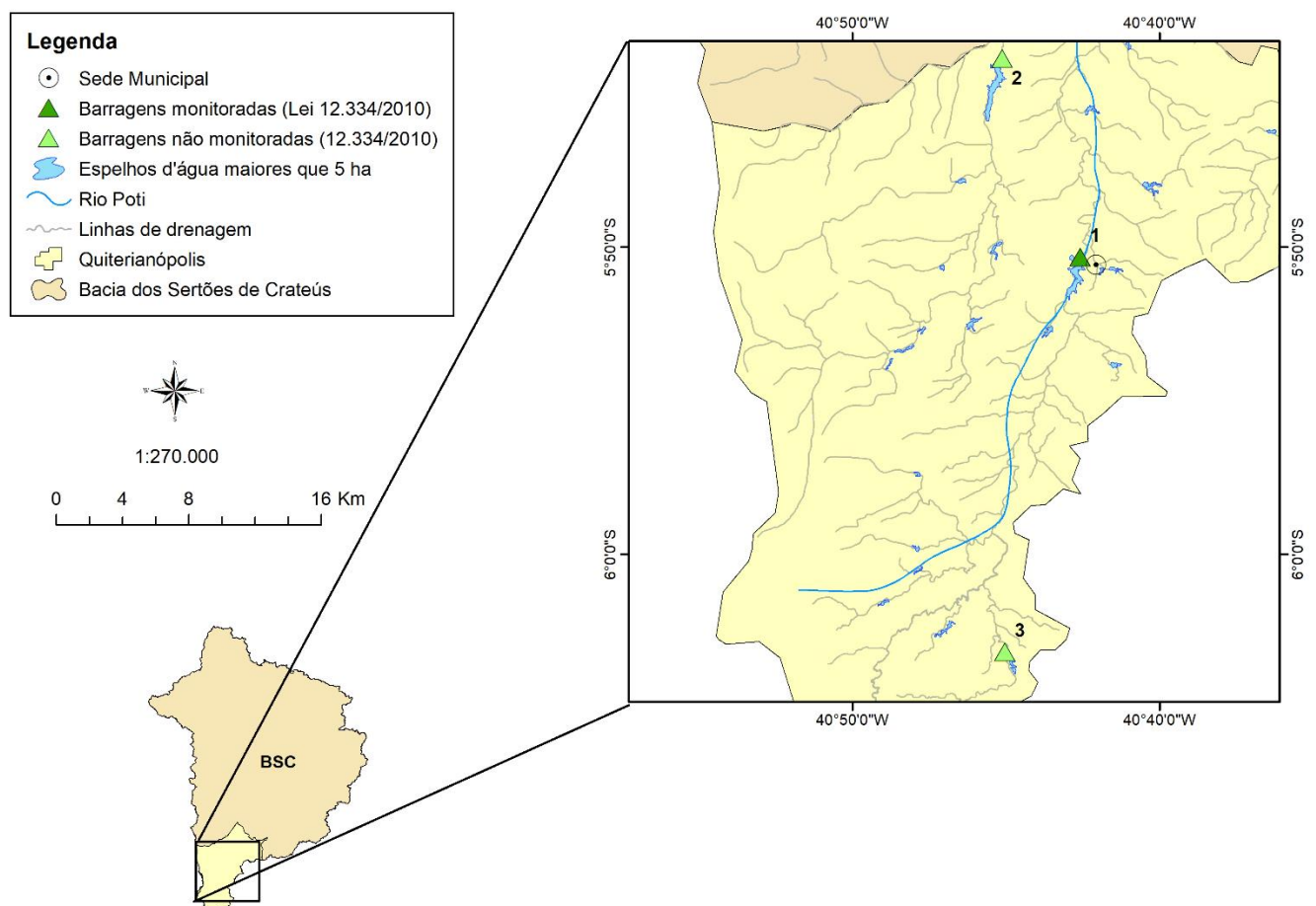
Nº	Nome	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m ²)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m ³)	Classificação do Açude
1	FLOR DO CAMPO	65.721,5	15.050.586,6	-5,571	-40,672	21,2	101.343.491,2	Grande Açude
2	MORGADO	4.329,5	310.236,4	-5,592	-40,721	7,0	459.464,0	Pequeno Açude
3	VÁRZEA DO MORRO	5.879,3	865.380,6	-5,547	-40,728	7,2	1.314.502,1	Pequeno Açude
4	VÁRZEA DO FEIJÃO	3.433,6	432.186,4	-5,550	-40,785	4,2	383.223,5	Pequeno Açude

Fonte: Autora (2020).

4.5.9 Município Quiterianópolis

Quiterianópolis contribui com três barramentos que apresentam características que se enquadram com os critérios estabelecidos pela legislação, sendo um desses monitorado pelo Poder Público, o Açude Colina, como mostra a Figura 23. Os resultados desse estudo para as barragens do município de Quiterianópolis podem ser encontrados no Quadro 17.

Figura 23 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010 no município de Quiterianópolis



Fonte: Autora (2020).

Quadro 17 - Resumo do levantamento de informações para as barragens enquadradas na Lei 12.334/210 no município de Quiterianópolis

Nº	Nome	Perímetro do espelho (m)	Área do espelho (m ²)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura estimada (m)	Volume estimado (m ³)	Classificação do Açude
1	COLINA	9.719,6	1.073.877,8	-5,839	-40,709	11,3	4.021.679,5	Médio Açude
2*	PONTAL	11.378,4	1.311.292,3	-5,731	-40,752	8,1	5.069.912,8	Médio Açude
3	-	4.653,0	221.104,2	-6,053	-40,750	7,2	335.854,4	Pequeno Açude

*barragem rompeu em 16/03/2020.

Fonte: Autora (2020).

Esse município sofreu diversos impactos negativos com o rompimento da barragem do Açd. Pontal, localizada na Figura 22 e com suas características dadas pelo Quadro 17. As Figuras 24 e 25 registraram esse acidente.

Figura 24 – Localidade atingida pelo rompimento da barragem do Açude Pontal



Fonte: Portal Sertões (2020).

Figura 25 - Água arrasta veículos e alaga residências no rompimento da barragem do Açude Pontal



Fonte: Portal Sertões (2020).

Torna-se importante chamar a atenção para a relevância desse acontecimento devido a barragem do Açd. Pontal ser uma das barragens que, de acordo com esse estudo, se enquadraria na Lei de Segurança de Barragens e não possuía nenhum tipo de monitoramento ou informações conhecidas por órgãos fiscalizadores.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou um estudo com o objetivo de identificar os possíveis barramentos de terra existentes na Bacia dos Sertões de Crateús e obter as suas características.

A partir do mapeamento dos espelhos d'águas do Ceará feito pela FUNCEME e por imagens de satélites obtidas do Google Earth, foi possível identificar 390 espelhos d'águas maiores que 5 hectares em toda a bacia.

Os espelhos identificados foram categorizados em função do tipo de material empregado nas barragens. Esses 390 espelhos d'águas estão divididos em: 21 reservatórios naturais, 01 reservatório com barragem de concreto (Açd. Batalhão) e 86 espelhos com aspecto de lago artificial.

Dessa categorização restaram 282 possíveis reservatórios artificiais com barragens de terra distribuídas entre os municípios contribuintes da bacia.

O estudo restringiu-se as barragens de terra por essas serem as soluções hídricas mais difundidas na região e por serem o tipo de barragem utilizado na aplicação de metodologias simplificadoras como a adotada por esse trabalho.

Pelo intermédio de ferramentas SIG e da metodologia simplificadora sugerida nos estudos de Araújo *et al.* (2012), foi viável obter de forma prática os volumes dos reservatórios e as alturas das 282 barragens de terra identificadas no estudo.

A partir da classificação feita com base em Molle (1994) foi possível ter uma visão generalizada da capacidade desses 282 reservatórios e qual a técnica de represamento de água mais difundida pelos empreendedores dessas obras.

A classificação observou que a bacia é constituída em sua maioria de barreiros (80,5%) e açudes pequenos (14,9 %). Os açudes médios e grandes representam apenas 2,8 % e 1,8 % respectivamente, do total das barragens de terra identificadas nesse estudo.

Diante dessa classificação, o conhecimento de como a bacia está constituída reforça a ideia da construção de pequenos represamentos como a principal técnica aplicada por empreendedores privados em uma tentativa de garantir o armazenamento de água para épocas de abastecimento remotas.

Obteve-se resultados com uma precisão entre 94% e 98%, e um coeficiente de determinação próximo de 1 (um), sendo 0,999 para os volumes e 0,992 para as alturas das barragens. Com isso, pode-se dizer que o método obteve um bom desempenho para os reservatórios dessa bacia.

O enquadramento das barragens realizado de acordo com os critérios da Lei 12.334/2010, mostrou que existem um número considerável de barramentos que podem ser qualificados na lei, são pelo menos 55 barragens identificadas nesse estudo (19,5% das barragens de terra da bacia) que demandam uma maior atenção dos seus responsáveis legais. Acende-se um alerta quanto a essa informação, visto que, são reservatórios desconhecidos pelo poder público e alguns até já vieram a romper recentemente.

Recomenda-se que para a segurança das barragens da região e a sua adequação ao que propõe a legislação, as outras 46 barragens que ainda não possuem nenhum tipo de fiscalização, precisam ser monitoradas pelos seus respectivos empreendedores, afim de assegurar a população, a preservação do meio ambiente, a operacionalidade da barragem, etc.

Desse modo, tem-se que os objetivos propostos para esse trabalho foram alcançados com êxito. Sugere-se ainda para futuros trabalhos, um melhor refinamento da amostra utilizando imagens de satélites mais precisas do que as proporcionadas pelo Google Earth, para que assim não restem dúvidas da existência da barragem naquela região.

É recomendado também observar como esse estudo se comportaria para outras bacias, realizando os mesmos procedimentos aqui aplicados.

Por fim, pode-se também utilizar os resultados obtidos para um estudo de caso das 55 barragens identificadas, como, por exemplo, a identificação dos seus proprietários, quais os seus usos, qual o seu estado atual, entre outras análises possíveis.

REFERÊNCIAS

ANDERÁOS, A.; ARAÚJO, L. M. N.; NUNES, C. M. Classificação de Barragem quanto à categoria de risco e ao dano potencial associado: um exercício. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves, RS. Nov. 2013.

ALMEIDA, A. B. **Emergências e gestão do risco**: Curso de Segurança e Exploração de Barragens, INAG ed., Lisboa, 7.1-7.110. 2006.

AGUIAR, D. P. O. **Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Relatório de Segurança de Barragens - RSB 2017**, Brasília: ANA, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Guia Prático de Pequenas Barragens – Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens**. vol. 8. 126 p. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2016. ISBN 978-85-8210-041-7.

ARAÚJO, E. M.; *et al.* Estimativa do volume dos recursos hídricos superficiais ao nível de uma bacia regional. In: **Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação**. Fortaleza: Inovagri, 2012. p. 1-6.

ArcGIS: **Software**. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>. Acesso em out. 2019.

AZEVEDO, M. A.; NASCIMENTO, J. W. B.; FURTADO, D. A. Técnicas construtivas para barragens subterrâneas, bapucosa e poços amazonas. **Revista Educação Agrícola Superior**. Brasília, v. 25, n. 1, p. 31-36, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm. Acesso em: 20 nov. 2019.

CARVALHO, D. **Barragens**: Uma introdução para graduandos. Prof. David de Carvalho - d33 c @uol.com.br. Em atualização – maio/2011.

CARVALHO, L. H. de. **Curso de Barragens de Terra**: com vistas ao Nordeste Brasileiro. 1. ed. v. 2. Fortaleza: Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS, 1984.

CARVALHO, M. S. B. S.; *et al.* Levantamento dos espelhos d'água acima de 20ha em todo o território brasileiro através de sensoriamento remoto. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1967-1974.

CHUVA forte rompe barragens e deixa famílias desalojadas no Ceará, **Globo.com**, Ceará, 16 de março de 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2020/03/16/com-chuvas-acudes-rompem-e-deixam-10-familias-desabrigadas-e-mais-de-100-desalojadas-em-quiterianopolis-no-ceara.ghtml>. Acesso em 10 de ago. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. **Resolução nº 143/2012**. Seção 1 do D.O.U de 4 de set. 2012.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB. **Guia Básico de Segurança de Barragens**, São Paulo, 1999.

COSTA, W. D. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, serviço de produção de informação, 1999. 412p.

FELIZARDO, L. M. **Aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana**. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista UNESP, Ilha Solteira, 2016.

FERNANDES, T. A. **Estimativa de volumes de reservatórios da sub bacia do baixo Jaguaribe utilizando imagens de satélite**. 73f. Monografia (graduação) – Universidade de Fortaleza, 2018.

FERRAZ, F. F. de B.; MILDE, L. C. E.; MORTATTI, J. **Modelos hidrológicos acoplados a sistemas de informações geográficas: um estudo de caso**. Revista de Ciência & Tecnologia, Piracicaba, p. 45-56, v. 14, 1999.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Mapeamento dos espelhos d'água do Brasil**. Fortaleza: FUNCEME, 2008.

GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em 17 nov. 2019.

GOMES, W. N. B. V. **Custos de manutenção de barragens no Estado do Ceará**. 179 p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2019.

HICKMANN, T. **Análise da variação térmica sazonal em barragem de contrafortes com o uso de cálculo fracionário**. 138 p. Tese (Doutor em Ciências) – Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Área de Concentração em Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná – UFPR – PR: Curitiba, 2016.

MARAGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de terra** – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006.

MARTINS, E. S. P. R.; *et al.* Utilização de imagens CBERS para mapeamento dos espelhos d'água do Brasil. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 969-976.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MELLO, V. F. B. Some illusions, pitfalls and inconsequential initiatives in risk assessment qualifications. **XX Congress on Large Dams**, Beijing, China, 2000.

MENESCAL, R. A.; FONTENELLE, A. S. & OLIVEIRA, S. K. F. Ações de Segurança de Barragens no Estado do Ceará. **XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens**, Anais, Fortaleza, 2001 (a).

MENESCAL, R. A.; FONTENELLE, A. S. & OLIVEIRA, S. K. F. Avaliação do Desempenho de Barragens no Estado do Ceará. **XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens**, Anais, Fortaleza, 2001 (b).

MENESCAL, R. A.; CRUZ, P.T.; CARVALHO, R.V.; FONTENELLE, A. S. & OLIVEIRA, S. K. F. Uma Metodologia para Avaliação do Potencial de Risco em Barragens do Semiárido. **XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens**, Anais, Fortaleza, 2001 (c).

MIRANDA, A. N. **Behavior of Small Earth Dams During Initial Filling**. PhD. 1988.

MOLLE, F. **Geometria dos Pequenos Açudes**. 139 p. SUDENE-DPG/PRN/HME, Recife, 1994 (a).

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento**. 198 p. SUDENE-DPG/PRN/HME, Recife, 1994 (b).

NASA. **Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>. Acesso em 17 nov. 2019.

PECK, R.B. **Judgment in Geotechnical Engineering**: The professional legacy of Ralph B. Peck. John Willey & Sons 332 p. 1984.

PORTAL HIDROLÓGICO DO CEARÁ. Disponível em: www.hidro.ce.gov.br. Acesso em: 17 nov. 2019.

SOARES, B. R. **Análise probabilística de estabilidade de taludes de barragens de terra no estado do Ceará**. 136 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2017.

SALMON, G.M.; HARTFORD, D.N.D. Risk analysis for dam safety. **International Water Power & Dam Construction**, p. 42 – 47, March, 1995.

SAMPAIO, M. V. N. **Segurança de barragens de terra: um relato da experiência do Piauí**. 78 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SEBRAE. Escritórios Regionais - **Estudo Socioeconômico**. 2019. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/CE/Anexos/%5bPerfil%20Regional%5d%20Sert%C3%A3o%20de%20Crate%C3%BAAs.pdf>. Acesso em 15 nov. 2019.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. 659 p. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

SILVA, R. M. A. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 38, nº 3, jul.-set. 2007.

SHOURIAN, M.; *et al.* **Neural-network-based simulation-optimization model for water allocation planning at basin scale**. Journal of Hydroinformatics. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/hydro.2008.057>. Acesso em 11 nov. 2019.

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH. **Comitê de Bacia Hidrográfica dos Sertões de Crateús**. Crateús, 2019. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/comite-de-bacia-hidrografica-dos-sertoos-de-crateus/>. Acesso em 15 nov. 2019.

STEPHENS, T. Manual sobre pequenas barragens de terra - **Guia para a localização, projeto e construção** – Rome, Italy: FAO, 2011.

VÁRIOS açudes arrombam e causam transtornos em Quiterianópolis, **Portal Sertões**, 16 de março de 2020. Disponível em: <https://portalsertoos.com/2020/03/varios-acudes-arrombam-e-causam-transtornos-em-quiterianopolis.html>. Acesso em em 21 ago. 2020.