

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

Characterization of the Reservoirs in the Crateús Hinterland Basin According to the Dam Safety Law 12,334/2010 Using Satellite Images

Gleycianne Cavalcante Mariano de Sousa¹; Carla Beatriz Costa de Araújo²; Francisco Carlos Henrique Pio de Oliveira³; Ticiana Marinho de Carvalho Studart⁴

¹ Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Civil, Crateús/CE, Brasil. Email: gleyciannecavalcante@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9224-9138>

² Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em Geologia, Fortaleza/CE, Brasil. Email: carlabeatriz@ufc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6311-0440>

³ Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em Geologia, Fortaleza/CE, Brasil. Email: franciscocarlospho@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0359-0838>

⁴ Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Fortaleza/CE, Brasil. Email: ticiana@ufc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9317-3645>

Resumo: Este estudo visa caracterizar as barragens de terra na Bacia dos Sertões de Crateús, a fim de enquadrá-las aos critérios legais estabelecidos. Por meio do mapeamento de espelhos d'água da FUNCEME e imagens do Google Earth, foram identificados 21 reservatórios naturais, 1 barragem de concreto, 86 lagos artificiais e 282 barragens de terra. A análise foi realizada utilizando ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), especificamente o ArcGIS, que forneceu informações sobre localização, área, perímetro e declividade. Baseando-se em metodologias simplificadas de Araújo et al. (2012), foram estimadas as alturas e volumes das 282 barragens de terra. A validação consistiu na comparação de dados de 10 reservatórios conhecidos com os dados estimados, resultando em coeficientes de determinação de 0,999 para volumes e 0,992 para alturas, o que demonstra uma boa aproximação entre os dados. As barragens foram classificadas de acordo com a Lei 12.334/2010 (posteriormente 14.066/2020), considerando fatores como altura, volume dos reservatórios, Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA). Dos 282 barramentos analisados, 55 atenderam a pelo menos um critério legal. Contudo, apenas 9 são monitorados pelo governo, enquanto 46 são barragens particulares sem qualquer informação disponível, evidenciando um preocupante vazio regulatório que amplifica os riscos.

Palavras-chave: Legislação; SIG; Barragens.

Abstract: This study aims to characterize earth dams in the Sertões de Crateús Basin in order to classify them according to established legal criteria. Based on water surface mapping provided by FUNCEME and high-resolution imagery from Google Earth, 21 natural reservoirs, 1 concrete dam, 86 artificial lakes, and 282 earth dams were identified. The analysis was conducted using Geographic Information System (GIS) tools, specifically ArcGIS, which provided data on location, area, perimeter, and slope. Based on simplified methodologies proposed by Araújo et al. (2012), the heights and storage volumes of the 282 earth dams were estimated. Validation was performed by comparing data from 10 known reservoirs with the estimated values, resulting in coefficients of determination of 0.999 for volume and 0.992 for height, demonstrating a strong agreement between observed and estimated data. The dams were classified according to Law No. 12,334/2010 (later updated by Law No. 14,066/2020), considering factors such as height, reservoir volume, Risk Category (CRI), and Associated Potential Damage (DPA). Of the 282 analyzed dams, 55 met at least one legal criterion. However, only 9 are monitored by government authorities, while 46 are privately owned dams with no available information, highlighting a concerning regulatory gap that increases associated risks.

Keywords: Legislation; GIS; Dams.

Recebido: 07/02/2025; Aceito: 22/04/2025; Publicado: 06/03/2026.

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). A região semiárida do Brasil tem um histórico de secas e é conhecido pela construção de açudes e barragens, assim como na discussão sobre o papel das infraestruturas hídricas no desenvolvimento e as suas interrelações com o desenvolvimento e a chamada indústria da seca (FERREIRA, 2020). A combinação de precipitações abaixo da média e eventos de seca extrema registrados nos últimos anos resultou em uma crise hídrica que afetou profundamente diversas regiões do Brasil, com destaque para o semiárido, entre os anos de 2012 e 2017. (Cunha et al., 2019, p. 7).

Depender de cursos d'água em períodos de altas temperaturas e intensa evaporação pode ser arriscado e inviável. Portanto, é fundamental construir uma barragem em rios ou riachos para permitir o armazenamento de água, garantindo o acesso a esse recurso vital fora da estação chuvosa (CBDB, 2019). Os benefícios de uma barragem se estendem a toda a população, proporcionando abastecimento de água para consumo humano e industrial, irrigação, geração de energia elétrica e regularização de vazões, mitigando os impactos de secas e enchentes (BIZIAMI, 2023, p. 13). A construção 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. Embora essas estruturas ofereçam muitos benefícios, também podem causar impactos sociais e ambientais nas áreas onde são implantadas. Isso inclui a alteração de ecossistemas, o deslocamento de comunidades e a ocorrência de sismos induzidos (ANA, 2020, p. 11).

Em estudo realizado por Aguiar (2014) foi observado que proprietários particulares construíam 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. 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 (Martins *et al.* 2007, p. 1).

Alguns países já expressam preocupação com o uso prolongado de barragens, tornando a segurança dessas estruturas uma questão prioritária. No entanto, poucos possuem legislações específicas voltadas para a segurança de barragens. Entre os países que adotaram regulamentações próprias, destacam-se nações europeias, como Portugal, Reino Unido e Espanha, além dos Estados Unidos e Canadá, que estabeleceram suas próprias normas legais. (ZATELLI, 2019).

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 no Brasil a Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010. A falta de dados sobre as barragens dificulta a fiscalização, que é de responsabilidade da Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) ou da Agência Nacional das Águas (ANA), no caso de rios federais. Esses órgãos enfrentam carência de informações e pessoal para fiscalizar, especialmente barragens em propriedades privadas. A SRH, por exemplo, não possui dados suficientes e atualizados sobre os reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús. Relatórios de Segurança de Barragens (RSB) da ANA mostram que acidentes com barragens de água no Ceará estão se tornando mais frequentes (RSB, 2017).

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. Essa lacuna informacional e a dificuldade de fiscalização criam um significativo vazio regulatório, amplificando os riscos de segurança estrutural e fomentando um ambiente propício a conflitos pelo uso da água, particularmente em um cenário de crescentes pressões climáticas. A questão central deste estudo é: Como as barragens da Bacia dos Sertões de Crateús podem ser qualificadas de acordo com a Lei de Segurança de Barragens 12.334/2010?

2. Metodologia

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 exemplificados pela Figura 1, o que possibilitou atender os objetivos propostos.

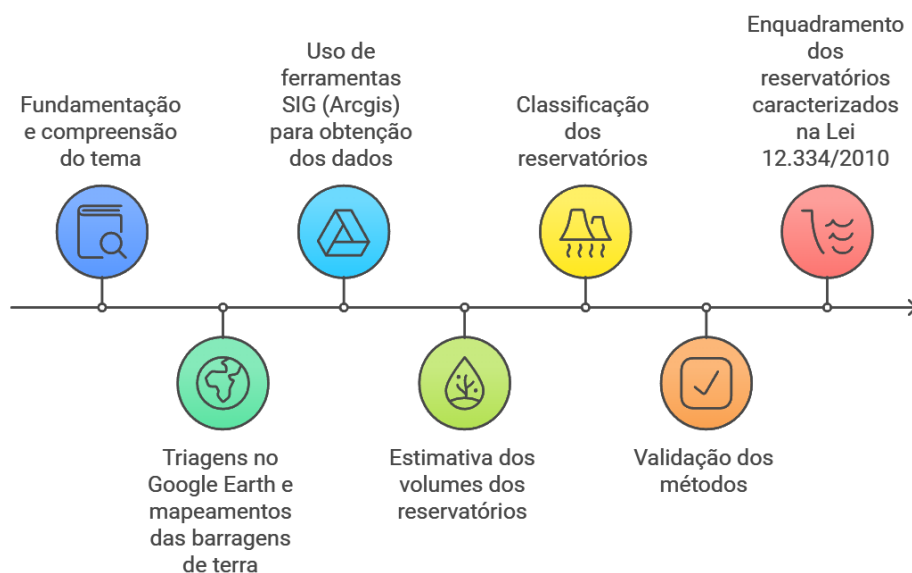


Figura 1 – Etapas da pesquisa.
Fonte: Autores (2026).

2.1 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 grandes áreas rurais para as atividades de natureza agropastoril. Além disso, possui clima semiárido e apresenta condições de temperaturas com médias térmicas superiores a 26 °C (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 deste com barragens de terra e 01 barragem de concreto. A Bacia dos Sertões de Crateús possui a contribuição de 09 municípios (Figura 2), são eles: Ararendá, Ipaporanga, Crateús, Independência, Novo Oriente, Quiterianópolis e parte do território de Tamboril, Nova Russas e Ipueiras.

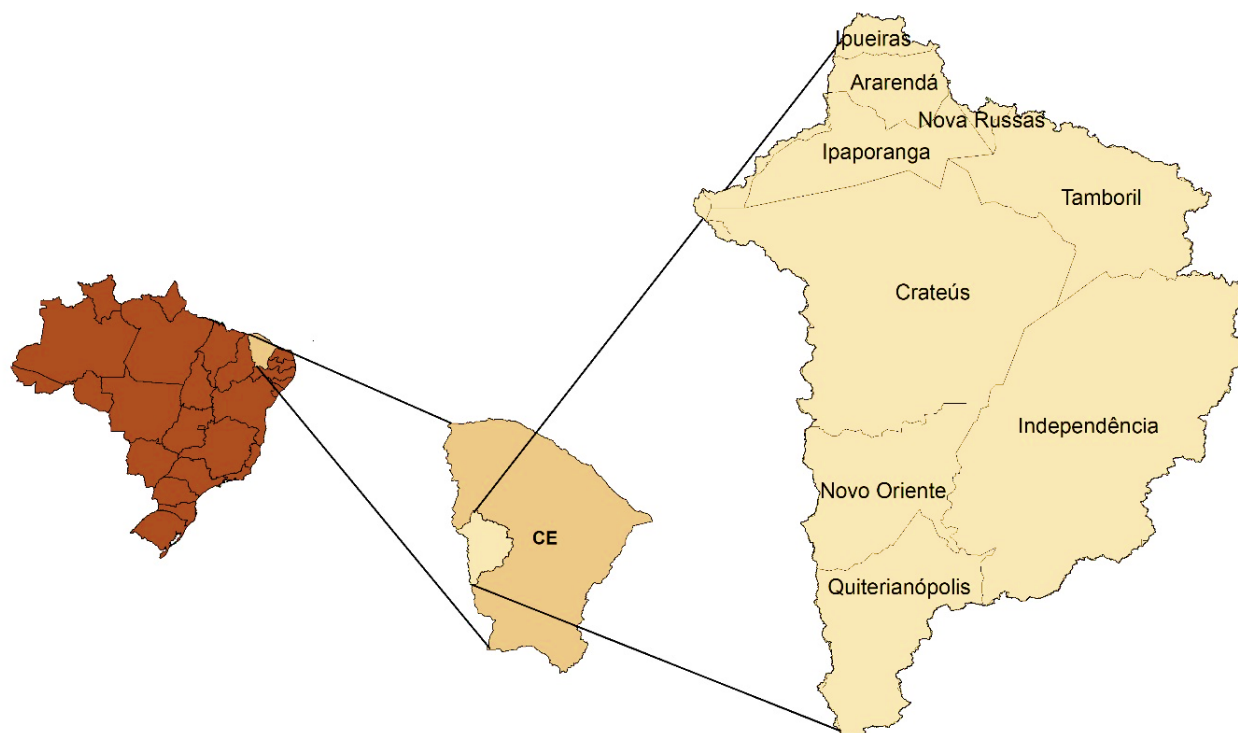


Figura 2 - Localização da Bacia dos Sertões de Crateús e seus municípios contribuintes
Fonte: Autores (2026).

2.2 Obtenção dos dados

Este estudo realizou uma estimativa do número de barragens de terra para a Bacia dos Sertões de Crateús com base em imagens de satélite. 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 no Google Earth, os espelhos d'água da amostra foram reduzidos somente a reservatórios com áreas maiores que 5 hectares (por serem áreas de maiores reservatórios e mais representativas) e que possuíam barragens de terra, sendo excluídos os reservatórios naturais, as barragens de concreto e os reservatórios que possuíam aspecto de lago artificial, ou seja, os que pela a imagem de satélite não aparentavam possuir a estrutura que indicavam a existência de uma barragem.

Para a obtenção da área de acumulação de água recorreu-se ferramentas (ArcGis 10.3) que utilizam Sistemas de Informações Geográficas (SIG), em que se manuseou um mapa (shape) com os espelhos d'água superficiais da área de estudo, disponibilizado 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'água da bacia.

Identificou-se 390 espelhos d'água 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 3). Destaca-se que uma das principais limitações

dessa etapa é a triagem da amostra ser baseada na resolução das imagens de satélites e do julgamento pessoal dos autores do que representa uma barragem de terra no Google Earth.

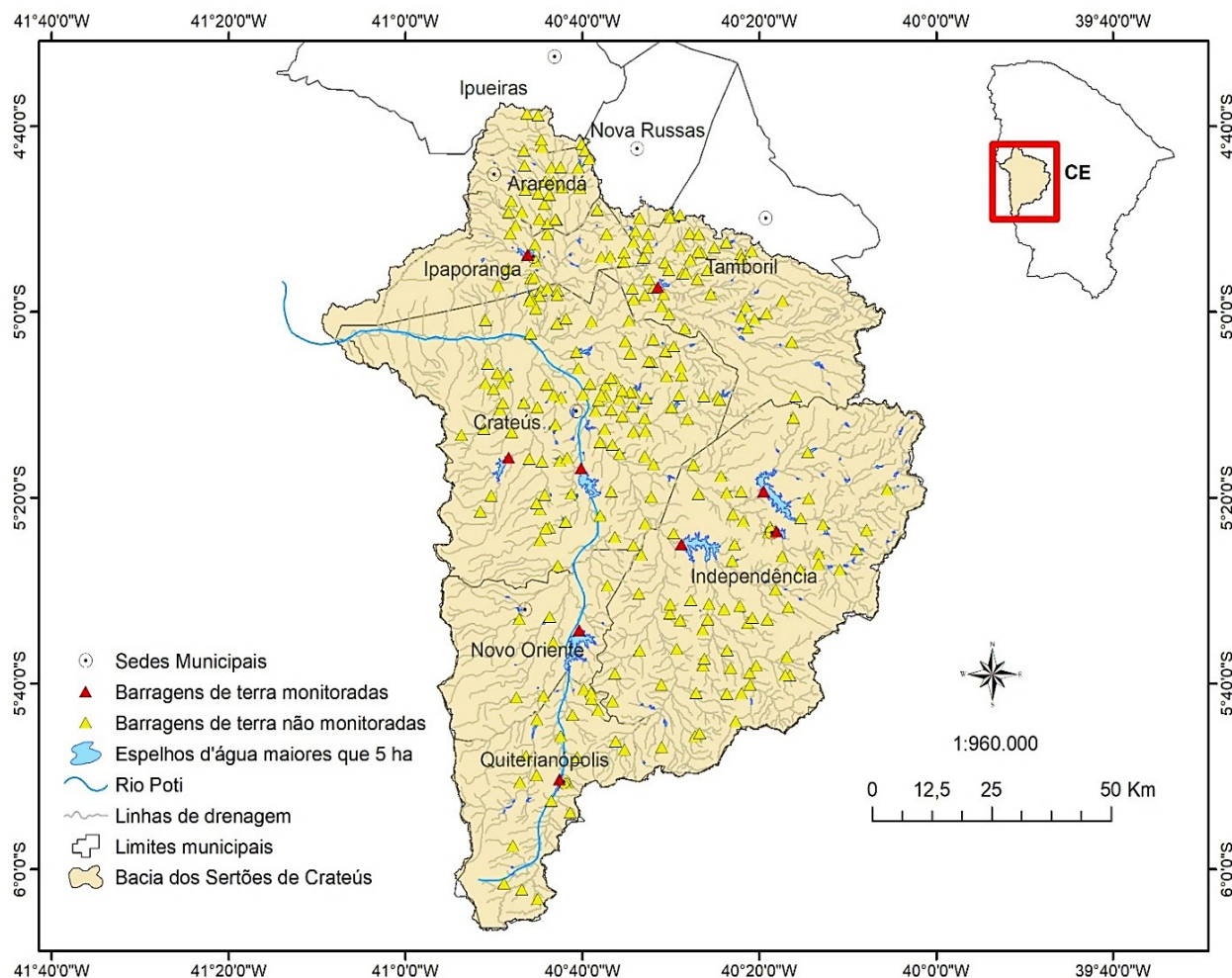


Figura 3 - Localização das barragens de terra na Bacia dos Sertões de Crateús

Fonte: Autores (2026).

2.3 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), medi-

se o comprimento horizontal dos taludes de jusante dos 282 barramentos de terra da Bacia dos Sertões de Crateús por meio da ferramenta Régua do Google Earth. Com isso, foi possível estimar a altura das barragens desse estudo relacionando o comprimento horizontal encontrado com a declividade dos taludes de jusante da bacia. A altura dos barramentos foi obtida isolando o termo diferença de altura (DV) da expressão da declividade, mostrada a seguir:

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

Onde:

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

DV: diferença de altura (vertical);

DH: distância horizontal dos taludes de jusante;

2.4 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 equação 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;

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 (Araújo *et al.* 2012). 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. Utilizou-se inicialmente o fator de forma único considerado na proposta de Molle (1994a), com valor de 2,70 ($\alpha = 2,70$). Estudos como os de Araújo *et al.* (2012) na bacia do Banabuiú e Fernandes (2018) na sub-bacia do Baixo Jaguaribe, também utilizaram o fator de forma inicial de 2,70 sugerido por Molle (1994a) e tiveram resultados satisfatórios em suas análises.

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. 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 (Figura 6), 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.

De acordo com Araújo *et al.* (2012) 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. Porém, para a Bacia dos Sertões de Crateús, somente são conhecidos os fatores de forma de reservatórios com médio a grande porte (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 m ²			A espelho > 10 milhões m ²		
Açude	Área (m ²)	α	Açude	Área (m ²)	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: Autores (2026).

Desse modo, para a calibração dos fatores de forma de açudes classificados como pequeno 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 açudes de pequeno porte (A espelho < 1.000.000 m²) seja utilizado um fator de forma 4,740 ($\alpha = 4,740$) e médio porte (A espelho > 1.000.000 m²) seja utilizado um fator de forma 2,095 ($\alpha = 2,095$). Esses valores de fator 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, buscou-se encontrar a vinculação linear referente as delimitações superficiais das barragens e suas respectivas capacidades, sendo elas colocadas em uma mesma escala logarítmica.

2.5 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 exemplificada no estudo de Molle (1994b), é possível realizar uma nova filtragem dos reservatórios da Bacia dos Sertões de Crateús pautada na capacidade dos reservatórios, sabendo-se 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;

2.6 Validação dos Métodos

A validação dos métodos utilizados nesse estudo consiste em comparar os resultados obtidos para os volumes e alturas da barragens estimados 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, e levantamentos de campo realizados no município de Crateús na barragem do Açude São Francisco (Figura 4).



Figura 4 - Barragem do Açude São Francisco, Crateús - CE
Fonte: Autores (2026).

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 deu-se por meio do estabelecimento de uma proporção que fixou 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 altura das barragens (Figura 5).

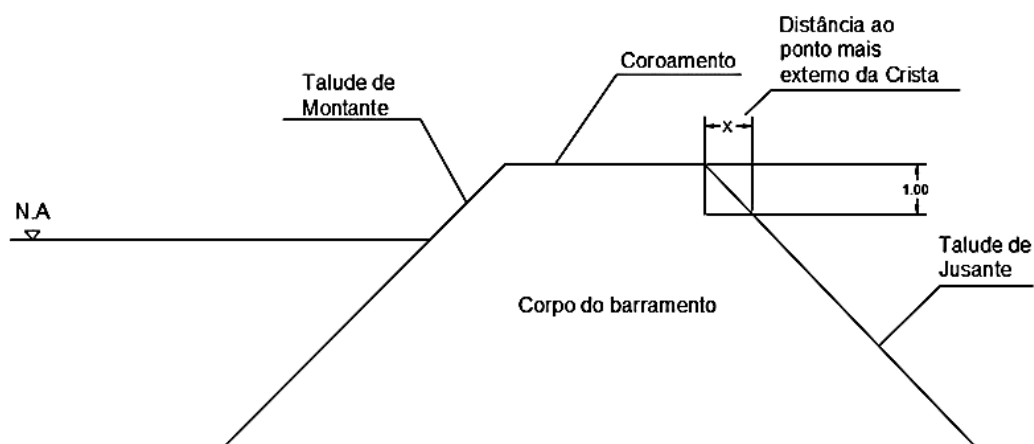


Figura 5 - Seção de uma barragem exemplificando o método da inclinação do talude de jusante
Fonte: elaborado a partir de Fernandes (2018).

2.7 Enquadramento na Lei 14.066/2020

Segundo a Lei de Segurança de Barragens 14.066/2020, 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, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas;
- Categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador.

Conforme descrito na legislação, a classificação por Categoria de Risco (CRI) em alto, médio ou baixo considera as características técnicas da barragem, seu estado de conservação e o cumprimento do Plano de Segurança da Barragem (PSB). Já a classificação por Categoria de Dano Potencial Associado (DPA) é realizada com base nos impactos econômicos, sociais, ambientais e no risco de perdas de vidas humanas. Para o enquadramento das barragens, foi realizada uma análise individual das alturas e volumes estimados de cada reservatório da bacia, resultando na qualificação das barragens em conformidade com a Lei nº 14.066/2020.

3. Resultados e Discussões

3.1 Alturas Estimadas

Os resultados para o cálculo das estimativas das alturas das barragens dependem 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 6), nota-se que próximo as barragens existem regiões com denominações segundo a Embrapa ‘Forte Ondulado’. Esses locais possuem declives entre 20% a 45% e estão presentes nas proximidades de todas as barragens da amostra.

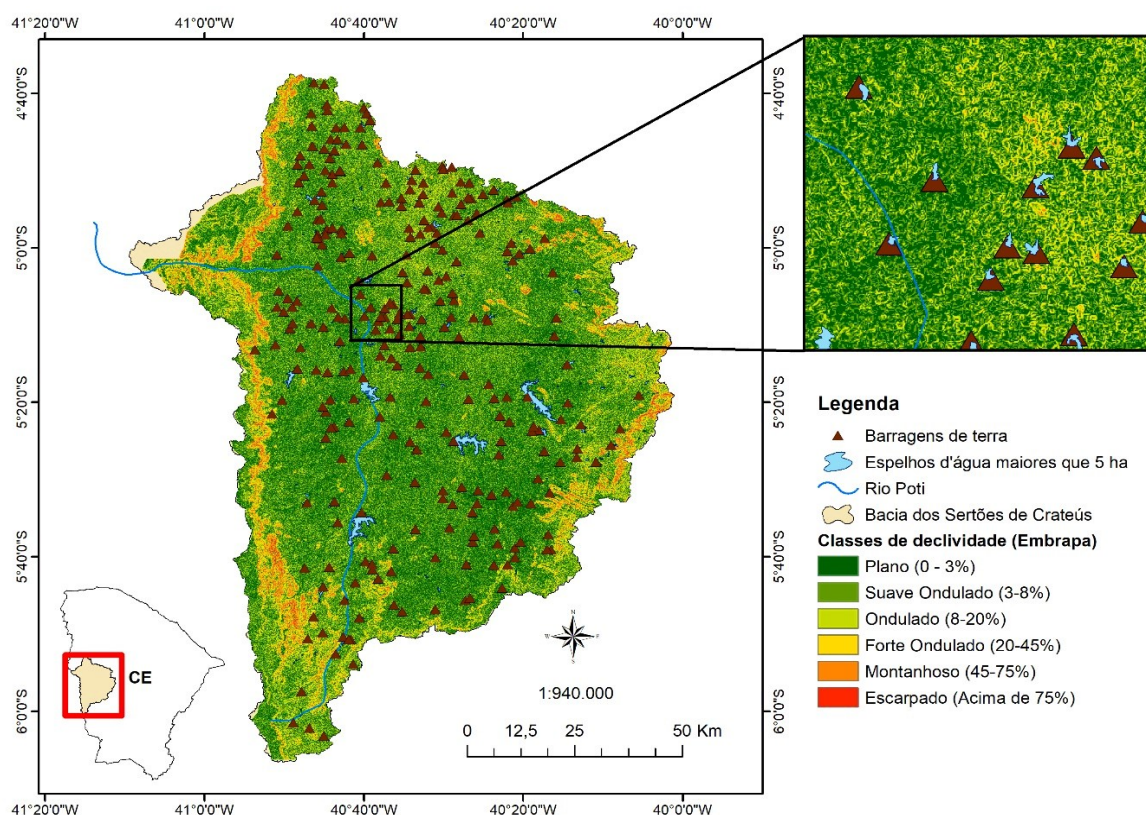


Figura 6 - Mapa de declividade da Bacia dos Sertões de Crateús
Fonte: Autores (2026).

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.

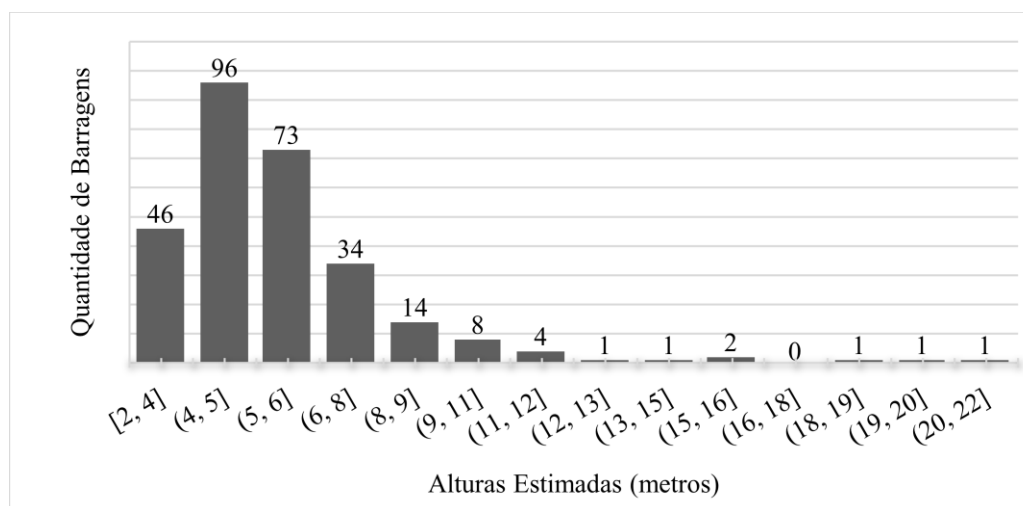


Gráfico 1 - Variação das alturas estimadas das barragens de terra da amostra
Fonte: Autores (2026).

Pode-se observar que os reservatórios da amostra possuem barramentos com uma média de 5,63 metros de altura. Observando o Gráfico 1, nota-se que os reservatórios mais recorrentes possuem barragens entre 4 a 6 metros de altura. Por fim, a dispersão dos dados analisados retornou um desvio padrão de 2,56 metros.

3.2 Volumes Estimados

Os resultados obtidos pela estimativa dos volumes da Bacia dos Sertões de Crateús podem ser observados no Gráfico 2. Percebe-se que a amostra analisada é bastante heterogênea pois uma parte significativa dos reservatórios estão na faixa de armazenamento entre 30.000 m³ a 330.000 m³, em contrapartida a outros que estão na casa dos milhões de metros cúbicos. Assim, existem reservatórios com volumes significativos acima dos 10.000.000 m³ chegando até mais de 100.000.000 m³. 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.

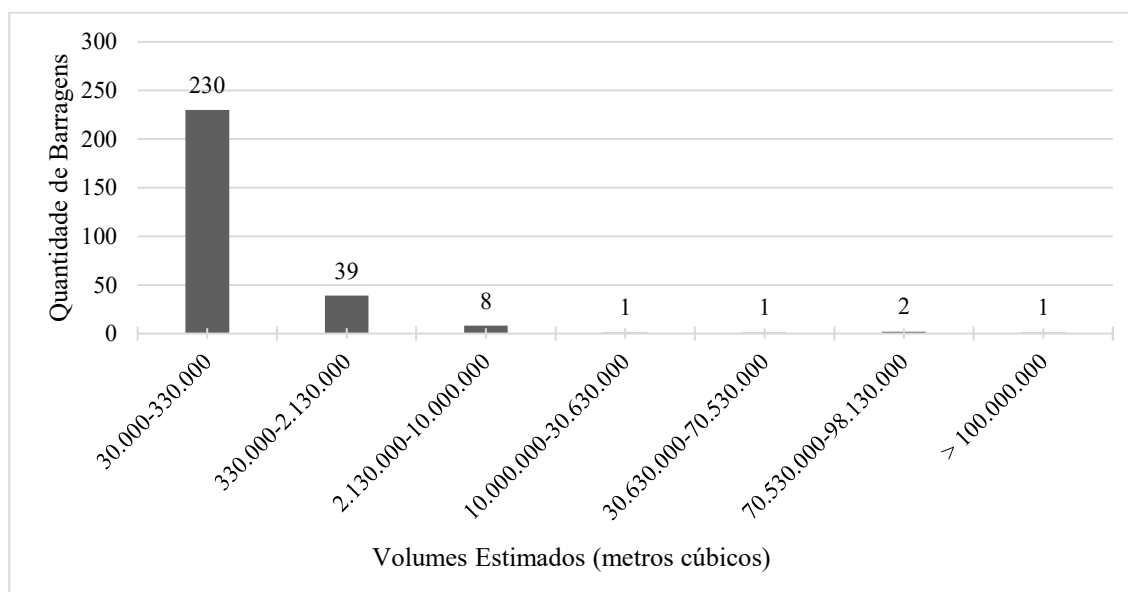


Gráfico 2 - Variação dos volumes estimados dos reservatórios da amostra
Fonte: Autores (2026).

Outros resultados que podem ser observados é a média de volume desses reservatórios de 1.776.080,82 m³ e o desvio padrão de 11.123.980,78 m³ que indica que os pontos da amostra estão espalhado por uma ampla gama de valores (amostra heterogênea).

3.3 Classificação dos reservatórios

A Bacia dos Sertões de Crateús tem-se mostrado até então bastante heterogênea, com ampla gama de valores estimados para volumes e alturas. Assim, fez-se a classificação dos reservatórios pela capacidade estimada para as 282 possíveis barragens 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 7 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).

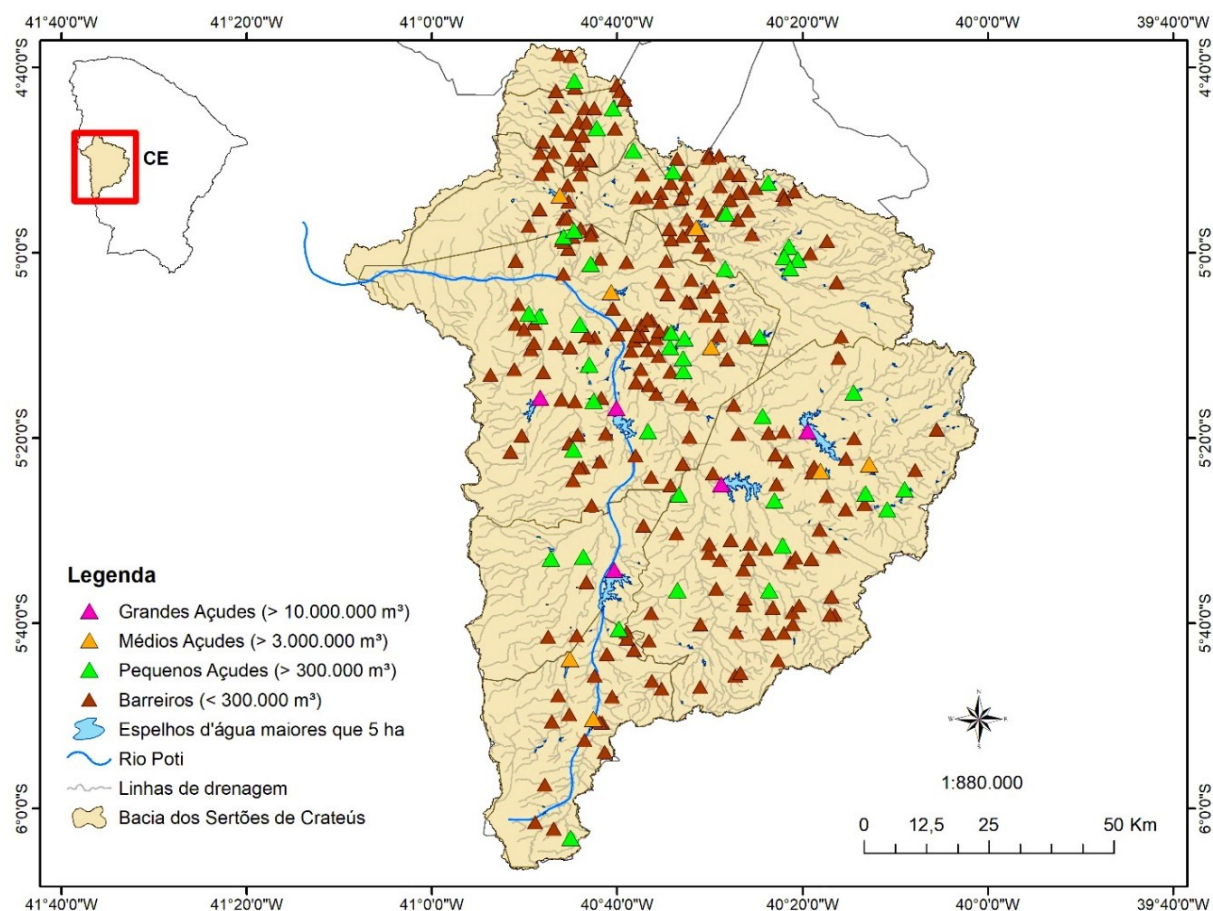


Figura 7 - Localização dos Barreiros e Pequenos, Médios e Grandes Açudes
Fonte: Autores (2026).

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 m³ - 3.000.000 m³	42
Médios Açudes	3.000.000 m³ - 10.000.000 m³	8
Grandes Açudes	maiores que 10.000.000 m³	5
Barreiros	< 300.000 m³	227

Fonte: Autores (2024).

3.4 Validação dos Métodos

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

No Quadro 1 estão exemplificadas 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 1 - 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: Autores (2026).

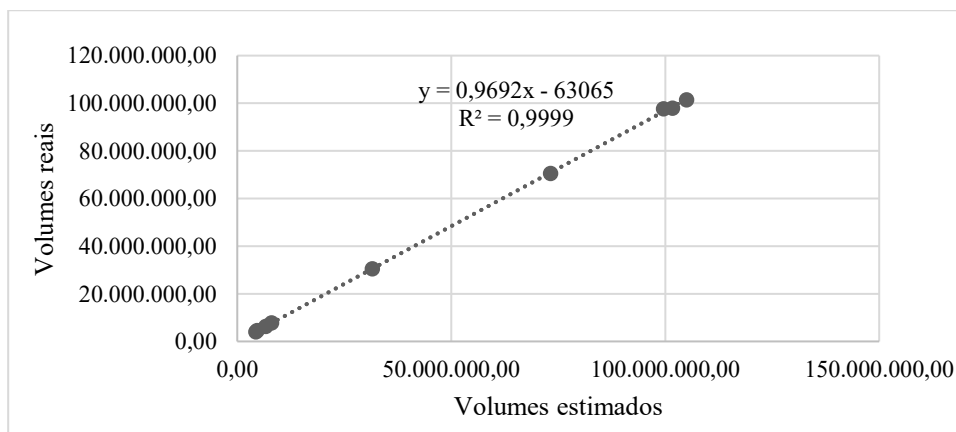
Todos os açudes utilizados na validação dos dados (Quadro 6) tiveram seus volumes e alturas reais comparados aos volumes e alturas estimados por esse estudo. As Tabelas 3 e 4, trazem os valores de variação dessa comparação e o erro relativo percentual da estimativa. A análise dos comparativos referentes 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 apresentam os Gráficos 3 e 4.

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

Açude	Volume			Erro Relativo
	Real	Estimado	Variação	
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: Autores (2026).

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



Fonte: Autores (2026).

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 medido 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. Consequentemente, o erro relativo percentual foi o mais alto, aproximadamente 14%. Esse resultado pode ter sua

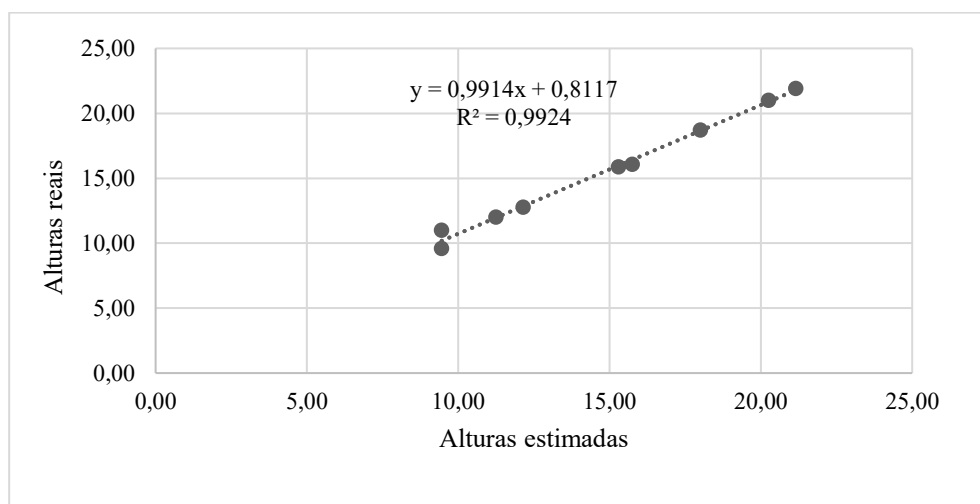
explicação no fato do talude de jusante dessa barragem possuir inclinações diferentes ao longo do seu comprimento. A inclinação média coletada em campo foi de 65 %, conferindo a essa barragem uma altura média de 11 metros.

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

Açude	Altura			Erro Relativo
	Real	Estimada	Variação	
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: Autores (2026).

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



Fonte: Autores (2026).

3.5 Enquadramento na Lei 14.066/2020

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 2 e 3, 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 2. Para o Estado de Conservação (EC), verificou-se pelas imagens do Google Earth a existência ou não de possíveis eclusas e se nos taludes das barragens existia indícios de crescimento de vegetação.

A verificação do DPA dos Pequenos Açudes e dos Barreiros (Quadro 3), um dos critérios de enquadramento dos reservatórios na Lei 14.066/2020, 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 2 - Categoria de Risco (CRI) para os Pequenos Açudes da amostra

Características Técnicas (CT)								
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)			
Tipos Analisados	Documentação de Projeto	Equipe de Segurança	Monitora-mento e Inspeção	Relatórios	Confiabili-dade das estruturas	Percolaçã o/ Eclusas	Deterio-ração dos Taludes	Total
Pequenos Açudes	Inexistente	Sem resp. técnico	Não aplica	Não emite	Sem informaçã o	Umidade/ Sem eclusas	Crescimen-to de Vegetação	
PONTOS	8	8	6	5	-	4	5	36

CRI = CT + OS + EC = 60 (Classificado como ALTA)

CRI = CT + OS + EC = 60 (Classificado como ALTA)

Fonte: Autores (2026).

Quadro 3 - Dano Potencial Associado (DPA) para os Pequenos Açudes e Barreiros da amostra

Dano Potencial Associado (DPA)						
Tipos Analisados	Capacidade (m³)	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: Autores (2024).

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 14.066/2020, com uma diversidade de açudes pequenos, médios e grandes, sendo 09 delas monitoradas pelo Poder Público (Figura 8).

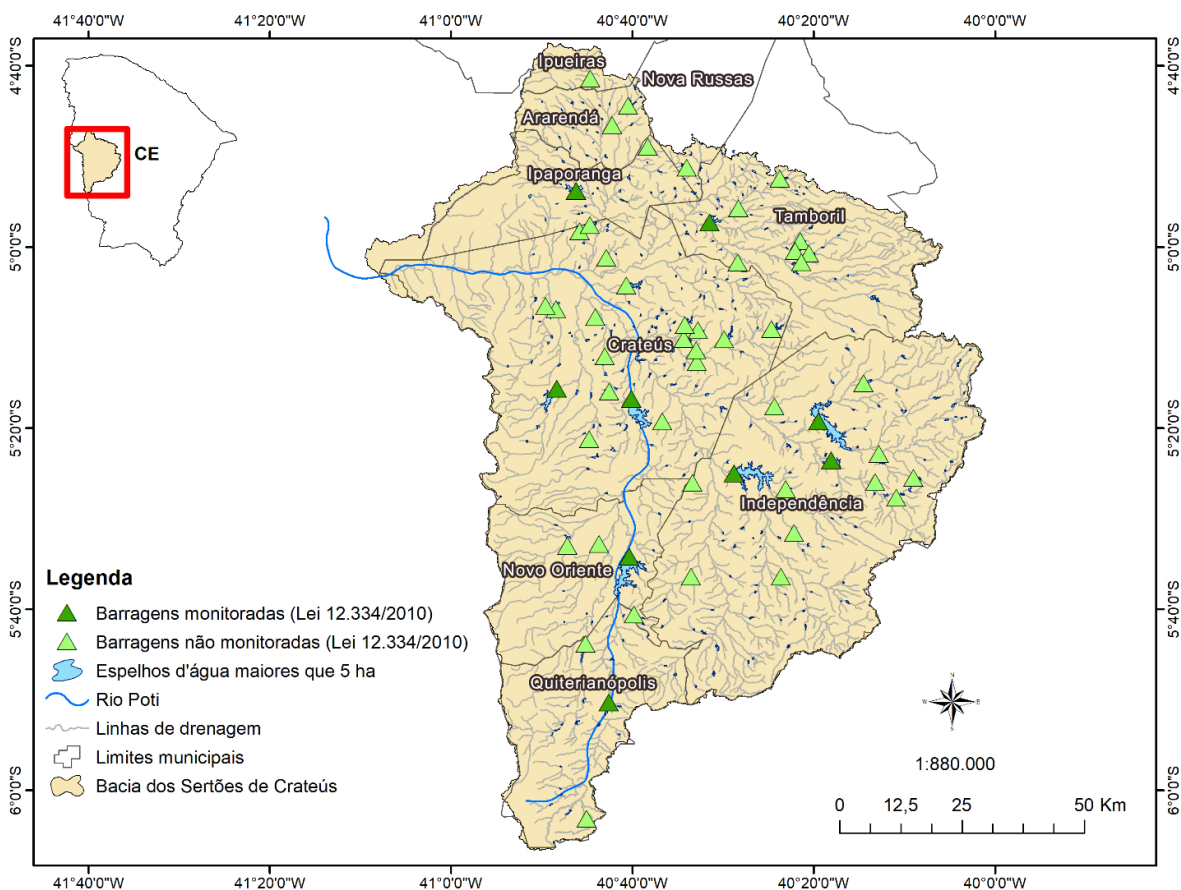


Figura 8 - Localização das barragens enquadradas na Lei 12.334/2010

Fonte: Autores (2026).

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. Considerações finais

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'água do Ceará feito pela FUNCME e por imagens de satélite obtidas do Google Earth, foi possível identificar 390 espelhos d'água 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'água 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 simplificada 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 14.066/2020, 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.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro concedido por meio do Edital nº 06/2023 – FUNCAP Universal, no âmbito do projeto “Mudanças Climáticas, Adaptação e Conflitos pelo Uso da Água: Novos Instrumentos de Governança Adaptativa” (Processo nº UNI-0210-00316.01.00/23), bem como à Universidade Federal do Ceará (UFC) pelo suporte institucional à realização desta pesquisa.

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.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil) (Org.). Relatório de Segurança de Barragens 2019. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2020. Disponível em: Acesso em: 10 out. 2024.

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Relatório de Segurança de Barragens - RSB 2017, Brasília: ANA, 2018.
- 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.
- 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.
- BIZIAMI, V. B. Mambo. Rompimento De Pequena Barragem Do Semiárido Cearense: O Caso Do Açude Escola No Município de Pentecoste-CE. 2023. 33f. Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção-Ceará, 2023.
- COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). Guia Básico de Segurança de Barragens. São Paulo: 2019.
- Cunha, A.P.M.A., et al., 2019. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. out. Atmosphere, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 1-20, 24 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos10110642>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/11/642>. Acesso em: 28 set. 2024.
- FERREIRA, J. G. A transposição das águas do Rio São Francisco na resposta à seca do Nordeste brasileiro. Cronologia da transformação da ideia em obra. Campos Neutrais. Revista Latino-Americana de Relações Internacionais, v. 1, n. 2, p. 53-72, 2019.
- 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.
- MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F de A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 26-42.
- 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).
- 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.
- NASA. Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>. Acesso em 17 nov. 2019.
- 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.
- 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.
- 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%BAs.pdf>. Acesso em 15 nov. 2019.
- ZATELLI, K. S. *Segurança das barragens de mineração ao redor do mundo*: arcabouço legal. 2019. Disponível em: <https://www.matanativa.com.br/blog/seguranca-barragens-mineracao-mundo/>. Acesso em: 15 set. 2024.