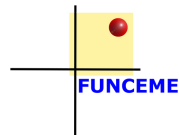


**CEARÁ**  
GOVERNO DO ESTADO  
Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH

## **Relatório Técnico**

# **ESPELHOS D'ÁGUA-CE 2024**

**CONJUNTURA DOS ESPELHOS D'ÁGUA SITUADOS NO ESTADO  
DO CEARÁ, REFERENTE AO ANO DE 2024**



**ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH**  
**FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME**

## **Relatório Técnico**

# **ESPELHOS D'ÁGUA-CE 2024**

**CONJUNTURA DOS ESPELHOS D'ÁGUA SITUADOS NO ESTADO  
DO CEARÁ, REFERENTE AO ANO DE 2024**

**Execução:**  
**Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente - Gepem**

**Fortaleza-CE**  
**2024**



## ESTADO DO CEARÁ

**Elmano de Freitas da Costa**

Governador

## SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

**Fernando Matos Santana**

Secretário

## FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME

**Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins**

Presidente

**Francisco Hoilton Araripe Rios**

Diretor Técnico

**Luís César Pinho**

Diretor Administrativo/Financeiro

**Manuel Rodrigues de Freitas Filho**

Gerente de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente

## EQUIPE TÉCNICA EXECUTORA

**Manuel Rodrigues de Freitas Filho**

Geógrafo, Dr.

**Thais de Oliveira Casela**

Geógrafa, Me.

**Níveo Moreira da Rocha**

Geógrafo, Me.

**Denis Barbosa de Lima**

Geógrafo, Me.

**Heloisa Freitas Porto**

Geógrafa

**Francisco Sergio Rocha**

Geógrafo

**Antônio Rodrigues dos Santos Neto**

Geógrafo

**Daniel Pontes de Oliveira**

Engenheiro Agrônomo, DR.

# Sumário

<b>01</b>	<b>Apresentação .....</b>	<b>05</b>
<b>02</b>	<b>Procedimentos Metodológicos .....</b>	<b>06</b>
	2.1 Adaptação do Script base.....	06
	2.2 Insumos utilizados.....	08
	2.3 Tratamento dos dados.....	09
	2.4 Padronização e Postgres.....	10
	2.5 Validação dos dados: Padronização do mapeamento.....	12
	2.6 Metadados .....	28
	2.7 Ficha técnica.....	29
<b>03</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>30</b>
<b>04</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>35</b>
<b>05</b>	<b>Bibliografia Consultada .....</b>	<b>36</b>

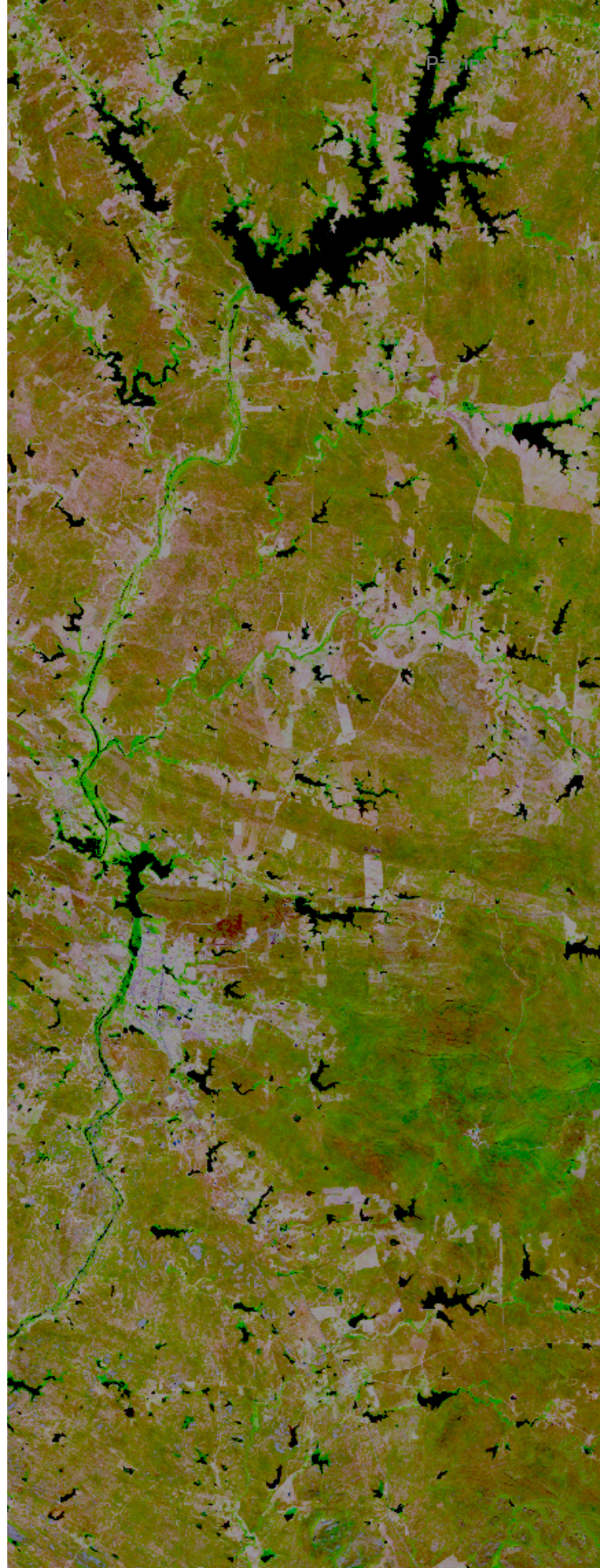
# 1 APRESENTAÇÃO

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - Funceme, por meio da Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente-GEPEM, detentora de uma experiência em vários mapeamentos temáticos, tem como meta institucional o monitoramento dos espelhos d'água (açudes e lagoas), com o propósito de subsidiar a formulação de políticas públicas e a tomada de decisão relativa à gestão dos recursos hídricos nas diversas bacias hidrográficas do estado do Ceará.

As bacias hidrográficas abrangidas são: Acaraú, Alto Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Salgado, Banabuiú, Coreaú, Curú, Litoral, Médio Jaguaribe, Metropolitana, Serra da Ibiapaba e Sertões de Crateús.

O monitoramento dos espelhos d'água proporciona informações sobre a posição, a distribuição espacial e evolução sistemática da situação da açudagem, por meio do mapeamento e quantificação anual dos açudes públicos e privados e das lagoas existentes no Estado do Ceará, com área a partir de 0,3 ha. Essas informações auxiliam no planejamento estratégico e na concepção de metodologias de gerenciamento hídrico em todo o estado.

Para tanto, este documento apresenta os procedimentos que foram adotados pelos operadores para o mapeamento dos espelhos d'água 2024, garantindo maior segurança e confiabilidade dos dados. O objetivo é facilitar o entendimento dos processos executados, de forma que as técnicas empregadas possam ser facilmente assimiladas, utilizadas e até aprimoradas em estudos posteriores.



**Figura 01** - Imagem de satélite Sentinel-2 de 2024, mostrando um recorte espacial do estado do Ceará.

Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2025)



## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Devido à necessidade de adaptação, foram implementadas mudanças significativas na metodologia, que anteriormente limitava-se à extração de espelhos d'água permanentes, focando apenas nas lâminas d'água perenes ao longo do ano.

No entanto, em 2024, o estado do Ceará apresentou um regime de chuvas atípico, com precipitações acima da média em diversas regiões, de modo que tornou-se essencial o mapeamento da área máxima anual dos espelhos d'água, abrangendo tanto áreas perenes quanto intermitentes.

Essa abordagem ampliada possibilitará, futuramente, a execução de um script que calcule as diferenças entre as áreas máximas e mínimas dos espelhos d'água registradas em cada período do ano, para , fornecer dados sobre a amplitude total de variação.

Com isso, será possível realizar uma caracterização estatística mais detalhada e abrangente dos espelhos com variações extremas, o que auxiliará na identificação de áreas que demandam políticas específicas de conservação e controle de uso da água ao longo do ano, sobretudo em regiões críticas.

Neste contexto, o método atualizado supera as limitações da metodologia anterior, que restringia o uso dos dados em modelagens hidrológicas mais complexas.

A principal adaptação foi a modificação do script base, que sofreu mudanças significativas, ajustado para capturar a área máxima anual dos espelhos d'água.

Os demais elementos da metodologia anterior (MV.2), que envolvem critérios de processamento e organização dos dados, foram mantidos ou tiveram modificação menos expressiva.

A metodologia continua alinhada com a identificação de espelhos d'água, entretanto, foram implementadas novas melhorias que ampliam a abrangência e elevam a precisão dos resultados

### 2.1. ADAPTAÇÃO DO SCRIPT BASE

O script anterior organizava os valores do conjunto de dados com base na resposta de pixel de água para cada mês e calculava a mediana anual. Esse valor mediano representava a condição intermediária de presença de água ao longo do ano, equilibrando os períodos mais secos e mais úmidos.

A mediana suaviza flutuações extremas, facilitando a identificação de espelhos d'água perenes. Essa característica é viável para a criação de mapas de referência hídrica, pois destaca as áreas de presença constante de água, uma vantagem para modelagens que demandam regularidade hídrica.

O produto final do script, portanto, eram os espelhos d'água mais perenes, ao eliminar variações sazonais e destacar as áreas de água mais estáveis ao longo do ano. Conforme ilustrado na figura a seguir, a imagem apresenta o script na versão metodológica 2.0, estruturado em uma matriz que dispõe os valores mensais de "resposta de água" numa escala de 1 a 10 ao longo do ano.

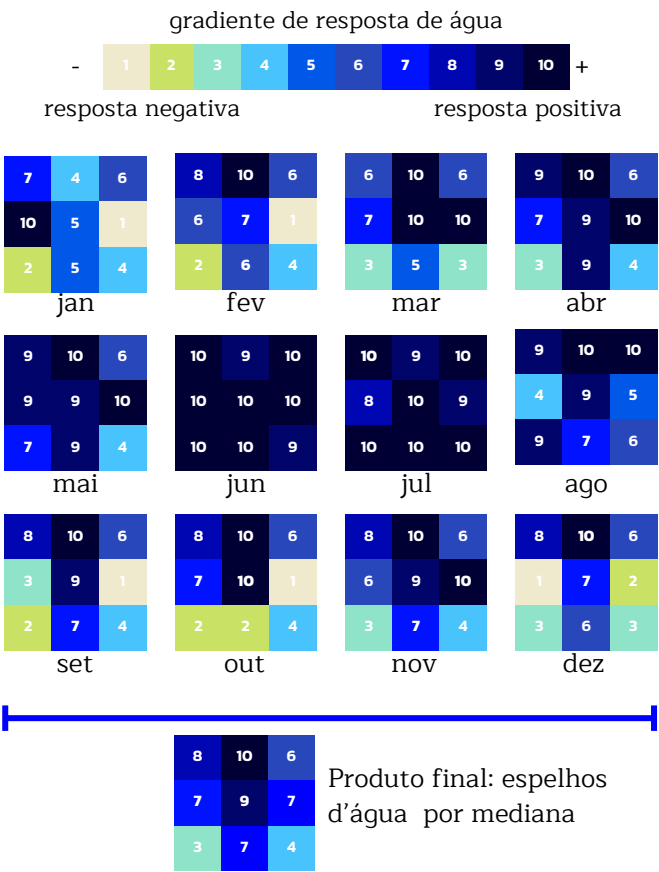


Figura O2 – Matriz mensal de resposta de água dos espelhos ao longo do ano e produto final por mediana, elaborado através do script no GEE  
Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2025)

O "produto final" é mostrado na parte inferior como uma matriz compactada de valores medianos de resposta espectral de água para cada posição ao longo do ano, identificando os espelhos d'água. Para 2024, foi então aplicada uma mudança metodológica e conceitual no script.

Ao focar na mediana, no entanto, a metodologia ignorava informações sobre a amplitude das variações sazonais, relevantes para análises como a avaliação de risco de inundação em períodos de cheia, visto que ao excluir as variações hídricas pode subestimar a presença de espelhos d'água temporários ou sazonais, reduzindo sua eficácia em estudos que visam compreender variações intermitentes de corpos d'água.

Em anos com padrões de precipitação extremos, como seca intensa ou chuvas excessivas, o uso da mediana pode não refletir com precisão o comportamento anual dos espelhos d'água. Para 2024, foi então aplicada uma mudança metodológica e conceitual no script.

O novo script permitiu observar a presença perene e sazonal de água, capturando informações sobre meses específicos de seca e cheia, possibilitando uma visão mais precisa da dinâmica hídrica ao longo do ano.

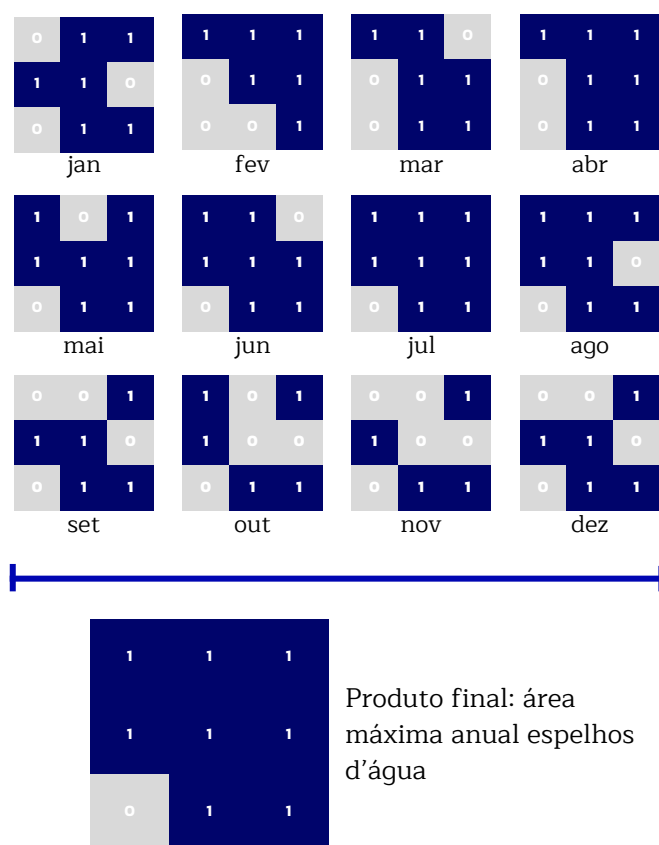
Ao registrar variações mensais, é possível entender melhor a resposta do espelho d'água às oscilações climáticas, facilitando uma futura análise de amplitude anual para identificar períodos de máxima e mínima ocupação de água e avaliar a resposta dos espelhos d'água a eventos climáticos.

Este novo método, ao registrar a presença mensal de água, oferece uma abordagem mais robusta para estudos ambientais, permitindo a incorporação das flutuações ao longo do ano. De modo que elimina a restrição da metodologia anterior, que se focava na mediana e perdia detalhes das variações sazonais, enriquecendo os dados para modelagens hidrológicas e planejamentos de gestão hídrica.

A figura a seguir ilustra o novo método aplicado ao script, metodologia versão 3.0, mostrando uma matriz com a presença ou ausência de água em uma área monitorada ao longo de cada mês do ano. Cada célula contém um valor binário:

- 1 (azul escuro) indica presença de água (resposta positiva de água);

- O (cinza claro) indica ausência de água (sem resposta de água).



**Figura 03** – Novo método aplicado ao script, representado por uma matriz mensal de resposta de água dos espelhos ao longo do ano.

Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2025)

A adoção do produto final "área máxima anual dos espelhos d'água" representa uma evolução significativa na análise hidrológica, permitindo uma visão mais abrangente dos recursos hídricos ao longo do ano.

Essa nova abordagem, ao mapear a extensão máxima dos corpos d'água, incluindo áreas perenes e intermitentes, fornece uma base mais robusta para estudos de impacto, gestão hídrica e modelagem hidrológica.

A metodologia revisada responde à variabilidade climática, especialmente em anos de chuvas atípicas, contribuindo para uma compreensão detalhada das dinâmicas hídricas anuais.

## 2.2 INSUMOS UTILIZADOS

Para garantir resultados planejados para o mapeamento, foram levantados documentos geocartográficos e adquiridas imagens de satélite **Sentinel-2** com resolução espacial de 10 metros ao longo de 2024. As imagens foram obtidas através da plataforma **Google Earth Engine (GEE)**, utilizando um script desenvolvido pela Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM).

O script emprega a mediana das imagens, o que permitiu a criação de uma imagem que representa a área máxima dos corpos d'água ao longo do ano. Dessa forma, em vez de compilar apenas as imagens pós-quadra chuvosa, o projeto gerou uma composição mensal cumulativa, cobrindo a variação dos espelhos d'água ao longo do ano.

A utilização do GEE, uma plataforma de computação em nuvem, possibilitou o processamento rápido e contínuo dos dados geoespaciais, facilitando a realização de múltiplas análises na mesma área em um tempo reduzido.

Esse sistema também otimizou métodos de trabalho, da aquisição de imagens ao mapeamento supervisionado, resultando em um arquivo vetorial com a estimativa dos espelhos d'água.

### GOOGLE EARTH ENGINE - GEE

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma de computação em nuvem desenvolvida pelo Google para a análise e processamento de dados geoespaciais em larga escala.

Ele combina um vasto repositório de imagens de satélite e dados geoespaciais com poderosas ferramentas de processamento, permitindo que pesquisadores e profissionais realizem análises ambientais, monitoramento de mudanças na superfície terrestre e estudos sobre uso do solo, clima e recursos naturais de forma eficiente.

## SENTINEL - 2

O Sentinel - 2 é uma missão de imagem multiespectral, de alta resolução e de ampla faixa, que apoia os estudos de monitorização terrestre do Copernicus, incluindo a monitorização da vegetação, do solo e da cobertura hídrica, bem como a observação de vias navegáveis interiores e zonas costeiras.

As imagens do Sentinel-2 contêm 13 bandas espectrais, resolução espacial de 10m e resolução temporal de 5 dias. Para este trabalho, foram utilizadas as bandas 11, 8 e 4.



**Figura 04** - Mosaico da imagem de satélite Sentinel-2, de maio a julho de 2024, composição em cores RGB (bandas 11, 8, 4), com resolução espacial de 10 metros.  
Elaboração: GEPEM, 2025

## 2.3 TRATAMENTO DOS DADOS

A utilização da plataforma GEE possibilitou a otimização dos métodos de trabalho, desde a aquisição das imagens até o mapeamento supervisionado, resultando na geração de um arquivo vetorial com a estimativa dos espelhos d'água.

No entanto, foi necessário realizar um pós-tratamento dos dados gerados no GEE para aprimorar a análise pelos operadores, reduzir o tempo necessário e eliminar demandas desnecessárias ao longo do processo de análise. Para isso, foram aplicados os seguintes processos:

**a) Limpeza de ruídos** - áreas que não necessariamente podem ser consideradas resposta espectral de água ou pequenas áreas que não correspondem a compatibilidade da escala, portanto foram excluídas áreas menores que 0,2 ha, definida como área mínima mapeada nesse projeto.

**b) Limpeza de anéis** - áreas consideradas buracos nos polígonos, portanto foi aplicado o processo de excluir buracos com menos de 0,2 ha

**c) Correção de geometria** - processo automático que tenta criar uma representação válida de uma dada geometria inválida sem perder nenhum dos vértices de entrada.



## 2.4 PADRONIZAÇÃO E POSTGRES

Com o objetivo de garantir a consistência dos dados gerados pelo GEPEM/Funceme, foram executadas padronizações para validar os registros e corrigir os dados, implementando melhorias nas informações georreferenciadas. Essas ações visaram identificar quaisquer inconsistências e/ou ausências nas entradas da tabela de atributos, que poderiam ser causadas por erros sistemáticos, grosseiros ou humanos

### A) NOMECLATURA DO DADO:

Com base nas diretrizes estabelecidas para a manipulação do banco de dados da Funceme no PostgreSQL/PostGIS, o nome da tabela referente aos espelhos d'água teve que seguir algumas normas e procedimentos para garantir segurança e controle adequados. Destacam-se os seguintes:

- O nome da tabela deve ser significativo, evitar abreviações que dificultem o entendimento do objetivo da tabela;
- Utilizar letras minúsculas e evitar acentuação no nome da tabela;
- Quando o nome da tabela for composto por mais de uma palavra, estas devem ser separadas por underscores “\_”;
- Escolher um nome que identifique claramente o conteúdo da tabela;
- Iniciar o nome da tabela com “tb”, indicando que se trata de uma “table” no banco de dados institucional. Exemplo: tb\_nome\_tabela.

Seguindo essas diretrizes, o nome final da tabela referente aos espelhos d'água ficou conforme abaixo:

**tb\_espelhos\_dagua\_ce\_2024**

### B) DESCRIÇÃO E PADRONIZAÇÃO DOS CAMPOS

Considerando as normas previamente mencionadas como padronização para os campos ou colunas dos dados, com exceção da última e com a inclusão de algumas adições, destacam-se as seguintes diretrizes:

- Não usar preposições;
- Atribuir nomes distintos para dados distintos;
- Evitar abreviações. Se necessário, escrever a palavra abreviada por extenso no comentário.

Com base nessas diretrizes, os campos ficaram definidos da seguinte forma:

**id** - identificação da feição;

**bacia** - nome da bacia hidrográfica que pertence o espelho  
(expressão: `geomintersects('bacia_hidrografica_ce', 'bacia'))`;

**nm\_mun** - nome do município que pertence o espelho  
(expressão: `geomintersects('limite_municipal_ce_ibge_sirgas_2000_utm_24s', 'nm_mun')`);

**cd\_espl\_mx** - código do espelho área máxima (detalhado nos próximos tópicos)  
(expressão: `aggregate('tb_espelhos_dagua_cotamx_ce', 'max', 'cd_espl_mx', intersects($geometry, geometry(@parent)))`)

**nome\_espelho** - nome do espelho se existente  
(expressão: `aggregate('tb_espelhos_dagua_cotamx_ce', 'max', 'nm_espl', intersects($geometry, geometry(@parent)))`;



**tipo\_entrada** - representa o nível de modificação sobre o dado original, no caso o mapeamento feito pelo GEE

(mapa de valores: 0 [automática], 1 [Manual] e 2 [Semi-automática]);

**fonte\_imagem** - fonte da imagem de satélite;

**ano\_imagem** - ano da imagem de fonte (2024);

**area\_ha** - área de cada espelho em hectares (expressão: round(\$area /10000,10));

**responsavel** - responsável pela vetorização/analise do espelho (expressão: @project\_author);

**data\_analise** - data de vetorização/analise do espelho (expressão: now( ));

**aquicultura** - se o espelho representa uma área ocupada por aquicultura (mapa de valores: 0 [false] e 1 [true]).

### C) SEQUÊNCIA DO CAMPO FID/ID NO POSTGIS

O código SQL foi executado na plataforma pgAdmin.funceme, onde ocorreu a administração e o desenvolvimento de códigos abertos para PostgreSQL da Funceme.

O script criou uma sequência chamada **tb\_espelhos\_dagua\_ce\_fid\_seq** na tabela **tb\_espelhos\_dagua\_ce**, do esquema **nurha\_gestao\_hidrica**, iniciando em 6650 e incrementando em 1 a cada novo valor. Os valores da sequência variaram de 1 a 2147483647 e foram armazenados em cache.

O script garantiu que o campo fid fosse único e incremental, evitando sobreposição de valores e assegurando um identificador único para cada registro na tabela.

Em seguida, a propriedade fid da tabela **tb\_espelhos\_dagua\_ce** é modificada para utilizar a sequência recém-criada como padrão para gerar valores automaticamente. Finalmente, o campo fid é designado como chave primária da tabela. Segue o script:

#### CREATE SEQUENCE IF NOT EXISTS

```
nurha_gestao_hidrica.tb_espelhos_dagua_
ce_fid_seq
```

#### INCREMENT 1

```
-- Marca o início de onde a sequencia
começava, sendo sujeito a alteração
```

```
START 6650
```

```
MINVALUE 1
```

```
MAXVALUE 2147483647
```

```
CACHE 1;
```

#### ALTER SEQUENCE

```
nurha_gestao_hidrica.tb_espelhos_dagua_
ce_fid_seq
```

```
OWNER TO grupo_malhadagua;
```

#### ALTER TABLE

```
nurha_gestao_hidrica.tb_espelhos_dagua_
ce
```

```
ALTER COLUMN fid SET DEFAULT
```

```
nextval('nurha_gestao_hidrica.tb_espelhos_
dagua_ce_fid_seq');
```

```
-- Adicionar fid como chave primária
```

#### ALTER TABLE

```
nurha_gestao_hidrica.tb_espelhos_dagua_
ce
```

```
ADD PRIMARY KEY (fid);
```

### D) CÓDIGO DO ESPELHO ÁREA MÁXIMA

O código de área máxima da camada "tb\_espelhos\_cotamx\_ce" foi concebido com 10 dígitos, considerando o número total de espelhos d'água mapeados e também prevendo a possibilidade de expansão futura do banco de dados. Essa informação é incorporada à camada "tb\_espelho\_dagua\_ce".

A escolha de 10 dígitos para o código foi baseada na capacidade de representar um número significativo de áreas máximas mapeadas, garantindo assim a flexibilidade necessária para a inclusão de novos registros sem comprometer a integridade do sistema. Isso permite que o banco de dados possa acomodar um aumento no número de áreas mapeadas ao longo do tempo, mantendo sua eficiência e funcionalidade.

Dessa forma, o código de área máxima foi projetado para ser robusto o suficiente para atender às necessidades atuais e futuras do projeto, proporcionando uma base sólida para a gestão e análise dos dados de espelhos d'água.

Segue abaixo a compartimentação da codificação:



**cd\_uf (unidade de federação):** os dois primeiros dígitos do geocódigo representam a Unidade da Federação, isto é, o estado brasileiro ao qual o espelho pertence.

**cd\_bacia:** os dois dígitos seguintes no geocódigo identificam a bacia hidrográfica que cobre a extensão do espelho.

**cd\_espelho:** os seis dígitos finais são específicos do espelho, com base na totalidade dos espelhos atuais e com margem de crescimento.

### E) PADRONIZAÇÃO DO PROJETO BASE

Com o propósito de preservar a padronização e automatização do processo, foi concebido um projeto base no software QGIS, contendo todas as camadas requeridas para o mapeamento de espelhos d'água 2024, juntamente com suas respectivas simbologias e formulários de atributos.

Este projeto foi intitulado como "proj\_espelhodagua\_ce\_2024" e uniformizado para a projeção 31894 (código EPSG, referente ao SIRGAS 2000, UTM/Zona 24S), assim como todas as camadas que o constituem.

### 2.5 VALIDAÇÃO DOS DADOS: PADRONIZAÇÃO DO MAPEAMENTO

Conforme previamente abordado, foram delineadas diretrizes rigorosas para validação da classificação gerada pelo script, com o intuito de assegurar que a qualidade do produto final não esteja intrinsecamente ligada à interpretação subjetiva do operador.

Essa abordagem visa, de forma incisiva, mitigar a influência da análise visual e, assim, promover uma consistência robusta dos dados durante a fase de validação.

Com base nesse fundamento, optou-se por manter certas padronizações da metodologia anterior (MV.2.0), enquanto outras foram cuidadosamente revisadas ou suprimidas nesta nova versão, conforme destacado a seguir.

## A) ESCALA DE MAPEAMENTO E EXTRAÇÃO

Como principal ferramenta para o mapeamento, foram empregadas imagens do satélite Sentinel-2, com uma resolução espacial de 10 metros, adequada à escala 1:50.000. Consequentemente, foram definidas as seguintes escalas de trabalho para revisão das características:

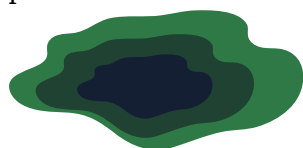
Escala do produto - 1:50.000

Escala de varredura - 1:15.000

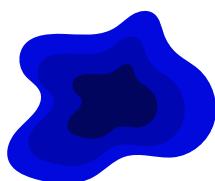
Escala de extração - 1:2.000

## B) RESPOSTA ESPECTRAL DE ÁGUA

Considerando a composição colorida das imagens do satélite Sentinel-2, onde a banda 11 é representada em vermelho, a banda 8 em verde e a banda 4 em azul (RGB1184), diversas respostas espectrais para água foram identificadas, apresentando tonalidades de azul, preto e verde, conforme a classificação a seguir: para



Tons de verde com azul  
(água com presença de  
macrófitas).



Tons de azul escuro  
(espelhos d'água)



Azul ciano  
(água barrenta)



Tons de preto e marrom escuro  
(espelhos com maior  
profundidade).

## C) PADRONIZAÇÕES MANTIDAS

As padronizações mantidas representam critérios baseados na conceituação dos espelhos d'água como reservatórios, ou áreas com potencial para essa função, além de assegurar que os aspectos visuais permitam identificar locais específicos nos mapas, respeitando sua continuidade histórica e precisão geográfica.

Dessa forma, busca-se fortalecer a integridade e a confiabilidade do mapa como registro cartográfico ao longo do tempo.

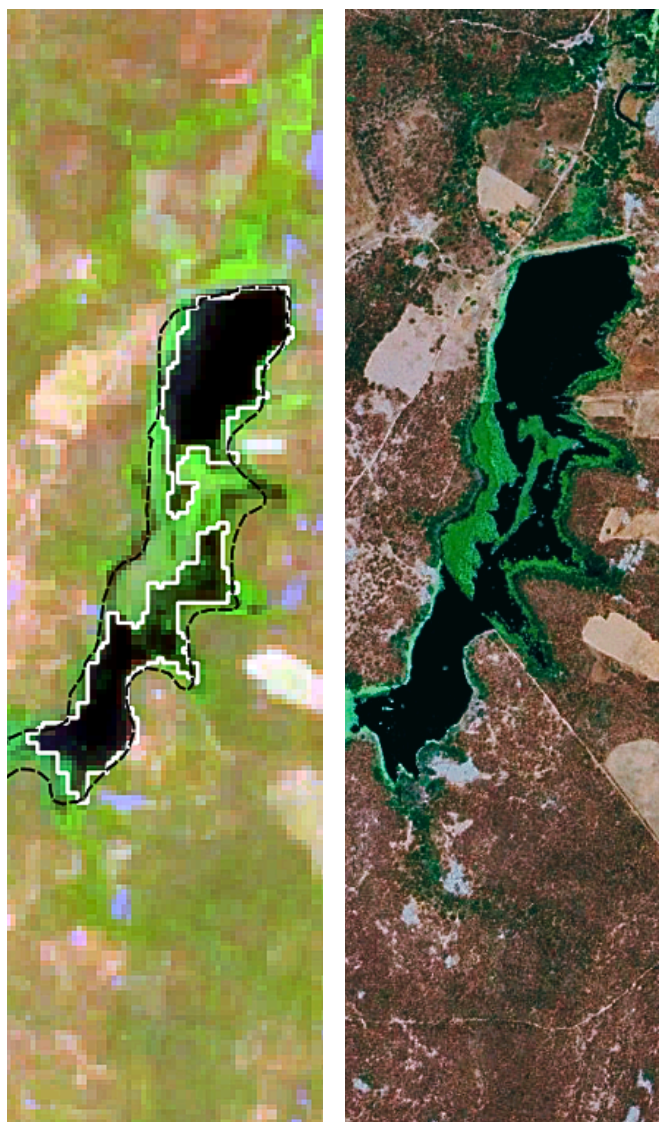
### MESCLAGEM FEIÇÕES

Espelhos d'água que pertencem a uma mesma “área de influência” podem, em determinados anos, aparecer desconectados devido a fatores sazonais, como variações nos níveis de precipitação, diferenças no regime hidrológico ou até mesmo condições específicas de mapeamento, como a presença de macrófitas aquáticas, podem gerar obstruções que induzem à aparente desconexão entre esses corpos hídricos.

Apesar dessa separação visual, esses espelhos d'água permanecem hidrológicamente interligados em períodos de cheia ou integram um mesmo sistema de drenagem. A consideração dessas interconexões é essencial para análises mais precisas, uma vez que reflete a dinâmica sazonal e a funcionalidade hídrica real dessas áreas.

Para garantir que a área total represente de forma fiel a extensão do recurso hídrico na “área de influência”, os espelhos desconectados foram agrupados e incorporados em uma única feição geográfica.

Esse processo permite um cálculo mais preciso da área total, evitando a subestimação das dimensões reais do sistema hídrico em análise. Assim, a metodologia considera não apenas a distribuição dos espelhos no momento do mapeamento, mas também sua relação com o ambiente hidrográfico e sua dinâmica sazonal.



**Figura 05** – Validação dos espelhos d'água e integração de áreas desconexas, no município de Quixeramobim: à esquerda, imagem do Sentinel-2 (2024); à direita, imagem do Google Earth Pro (2023).

### Análise da área:

No exemplo acima (Figura 5), evidencia-se um caso de espelho d'água fragmentado pela presença de macrófitas. Para balizar a delimitação da feição, a linha branca representa a resposta espectral da água em 2024, enquanto a linha preta tracejada indica a cota máxima do espelho d'água segundo a série histórica da FUNCEME.

Neste contexto, em conformidade com o exposto, as imagens de 2024, com melhor resolução espacial, corroboram a conexão entre as áreas fragmentadas, evidenciando a necessidade de integrá-las em uma única feição para assegurar uma representação mais precisa e um cálculo de área final mais consistente.

### Procedimentos de análise:

- Consulta ao arquivo de espelhos d'água cota máxima para ajudar a tirar dúvidas (indicada pela linha tracejada preta na figura anterior);
- Compreender a hidrodinâmica local para avaliar se os espelhos d'água pertencem a um mesmo sistema de drenagem contínuo, sem interrupções significativas entre eles. A análise considera a presença de barramentos ou outras estruturas que possam individualizar os reservatórios, separando-os funcionalmente dentro do sistema;
- Verificação das imagens anteriores no Google Earth Pro, com alta resolução espacial, para assim confirmar que a área em branco representa um espelho d'água com macrófitas na superfície, conforme ilustrado anteriormente.



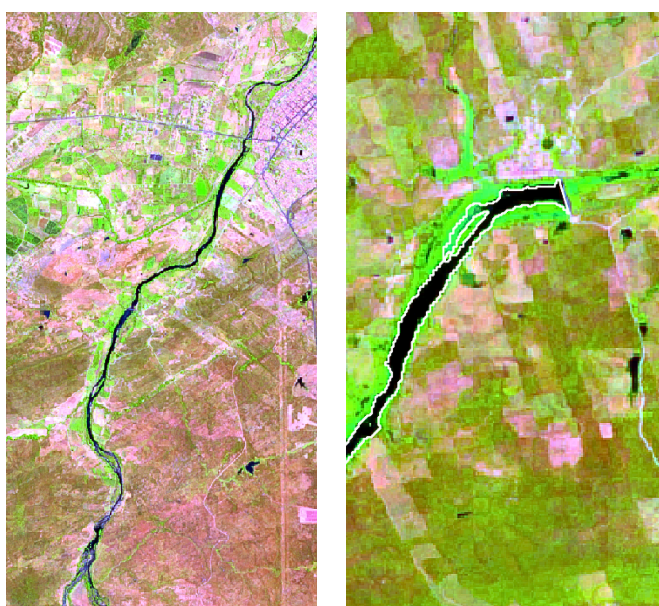
## CURSOS D'ÁGUA

Este mapeamento de espelhos d'água adota um critério metodológico claro, no qual meandros de rios são excluídos da análise, dado que o foco do projeto está direcionado a corpos hídricos com potencial para atuarem como reservatórios.

A distinção entre rios e espelhos d'água é essencial para assegurar que os resultados reflitam áreas de retenção hídrica relevantes, capazes de atender a finalidades como abastecimento, irrigação e armazenamento estratégico.

Diferentemente dos rios, que possuem fluxo contínuo e características hidrodinâmicas marcadas pela movimentação constante, os espelhos d'água mapeados apresentam áreas de retenção, frequentemente associadas ao armazenamento de água, entretanto, há exceções significativas a essa regra:

- rios que apresentam formação de lagos, devido à presença de barramentos.



**Figura 06** – Validação dos espelhos d'água e distinção entre rios e reservatórios através de imagens Sentinel-2 (2024): à esquerda, no município de Icó, um meandro contínuo que deve ser excluído na validação; à direita, no município de Saboeiro, um curso d'água represado por barramento e formação de um lago, destacado pela linha branca.

Nesse caso, essas áreas alagadas são incluídas no mapeamento, uma vez que os barramentos transformam o regime hidrológico natural do rio, criando feições que se assemelham a reservatórios.

Essa modificação altera a funcionalidade do corpo hídrico, convertendo-o de um sistema de escoamento contínuo para uma área de armazenamento e retenção, tornando-se relevante para o objetivo do estudo.

- áreas estuarinas que possuem mais de 150 metros de largura dentro da área de influência da foz, que considera a região afetada pelas oscilações da maré.



**Figura 07** – Validação dos espelhos d'água e distinção entre rios e reservatórios com base em imagens Sentinel-2 (2024): destaque para um meandro estuarino na área de influência da foz, com largura superior a 150 m, localizado entre os municípios de Fortim e Aracati.

Essas áreas são marcadas pela interação dinâmica entre o fluxo fluvial e o regime das marés, resultando em zonas de transição entre os ecossistemas terrestres e marinhos. A área de influência da foz é definida como a região geográfica que sofre alterações diretas causadas pelas oscilações das marés, tanto no nível da água quanto na salinidade.

### 150 M DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA FÓZ

A adoção de uma **dimensão mínima de 150 metros** permite priorizar estuários e corpos d'água que possuem impacto contínuo e funcionalidade reconhecida no sistema hidrológico.

Além disso, esse critério garante a inclusão exclusiva de feições hídricas com representatividade espacial significativa e registro cartográfico consistente ao longo do tempo, por isso foram mantidas neste mapeamento.

Dessa forma, contribui para a confiabilidade e a padronização das análises, assegurando que os dados mapeados sejam pertinentes e alinhados aos objetivos do projeto.

### LAGOAS INTERDUNARES

As lagoas interdunares são corpos d'água caracterizados por sua formação entre dunas móveis, predominantemente localizadas em regiões costeiras.

Essas lagoas apresentam contornos dinâmicos, que podem variar significativamente ao longo dos meses e anos devido às condições ambientais e à mobilidade natural das dunas.

Essa instabilidade geomorfológica torna o mapeamento dessas feições um desafio, especialmente em projetos que buscam padronização e relevância espacial dos dados.

Devido à alta densidade de pequenas lagoas interdunares, foi necessário estabelecer um critério de corte para o mapeamento.

Como parte desse critério, definiu-se que apenas lagoas com **área superior a 5 hectares** seriam consideradas para análise detalhada.

Esse limite assegura a inclusão de feições que apresentam maior impacto hidrológico e ambiental, reduzindo a complexidade do processo de mapeamento e excluindo feições menores, cuja relevância pode ser limitada.

Após a seleção inicial com base no tamanho, é realizada uma verificação adicional sobre a perenidade da lagoa, utilizando imagens históricas disponíveis no Google Earth Pro. Essa etapa é fundamental para distinguir lagoas permanentes de formações temporárias ou sazonais.

Se a análise da série histórica comprovar a perenidade da lagoa, ela deve ser mantida no mapeamento, pois representa uma feição estável e relevante.

No entanto, lagoas efêmeras ou que demonstram inconsistência ao longo do tempo devem ser excluídas para evitar distorções nos resultados finais.

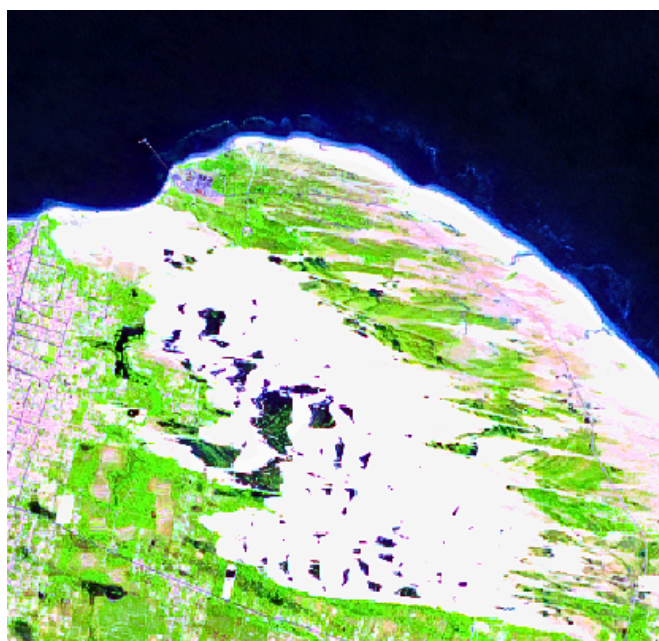
Essa abordagem metodológica não apenas garante maior precisão no mapeamento, mas também reflete a necessidade de priorizar feições hídricas com relevância funcional e ecológica dentro do contexto do projeto.

### Procedimentos de análise:

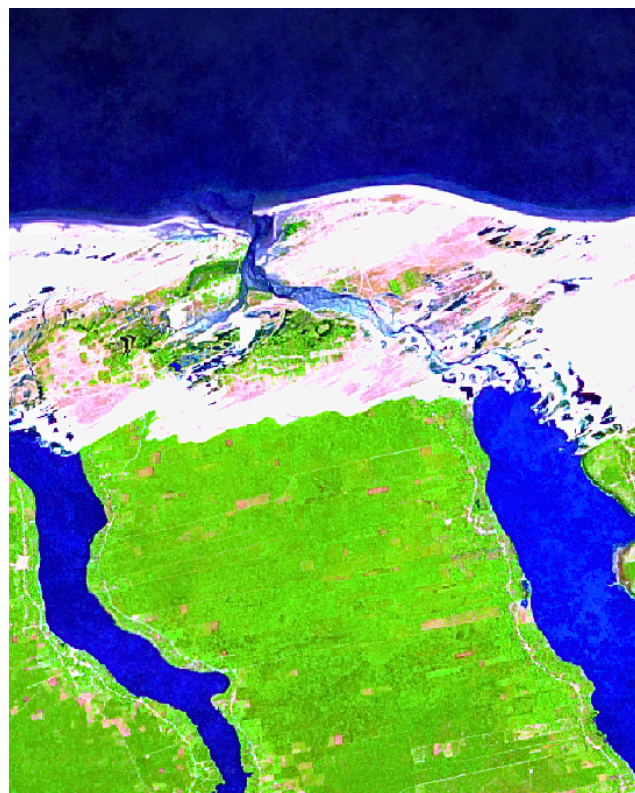
- Verificar se a lagoa possui **mais de 5 hectares** de forma contínua, se não atender a esse critério, recomenda-se excluir a feição.



- Se a lagoa atender ao critério anterior, deve-se verificar a perenidade da lagoa utilizando imagens Google Earth Pro, que por possuírem alta resolução espacial e o histórico de imagens de anos anteriores, permitem assim confirmar a perenidade das lagoas.
- Constatado que a lagoa interdunar apresenta perenidade na série histórica, recomenda-se mantê-la. Caso contrário, deve ser excluída.



**Figura 08** – Validação dos espelhos d'água: Lagoas interdunares localizadas nos municípios de Paracuru e Itarema, respectivamente, com base em imagens Sentinel-2 (2024).



**Figura 09** – Validação dos espelhos d'água: Lagoas interdunares localizadas no município de Camocim, com base em imagens Sentinel-2 (2024).

## ÁREAS COM ALTA SAZONALIDADE

A metodologia M.3, ao compilar a área máxima anual de 2024 dos espelhos d'água, identificou a presença de terrenos temporariamente encharcados e planícies fluviais, o que evidenciou a necessidade de revisar este tópico e distinguir com maior precisão as variações detectadas.

Com o objetivo de eliminar áreas sazonais que não atendem à definição de espelhos d'água em sua extensão máxima, considerando exclusivamente a sazonalidade adequada para a caracterização de um reservatório.

Observou-se que, na imagem de satélite de validação (Sentinel-2, mosaico de maio a julho de 2024), a resposta espectral não se apresenta nos tons de azul e preto, previamente característicos de corpos d'água, mas em tonalidades de verde e marrom, associadas à presença de vegetação úmida e/ou solos saturados temporariamente, típicos de áreas com terrenos encharcados ou de planícies aluviais sazonais.

### Procedimentos de análise:

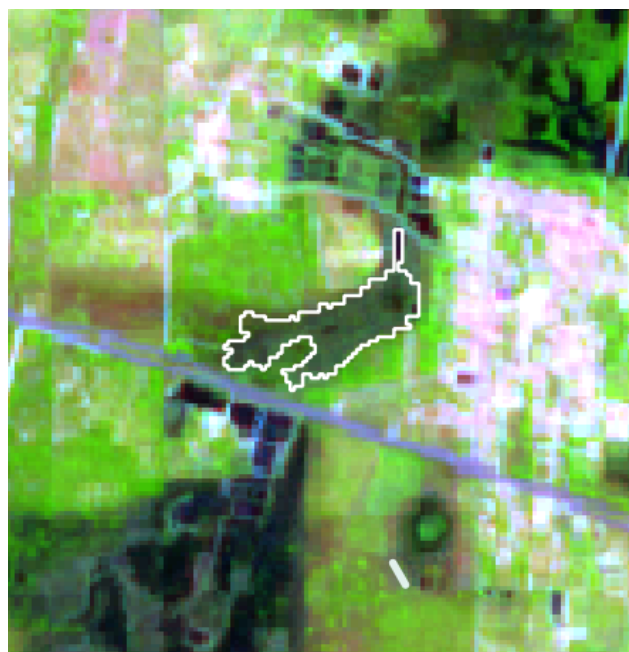
- Áreas marginais sazonais (para excluir): alagadiços, terrenos encharcados e planícies aluviais.

Embora integrem a dinâmica dos sistemas fluviais, essas áreas não possuem profundidade suficiente para serem classificadas como reservatórios.

Devido à elevada variação anual, sobretudo durante o período chuvoso, essas áreas podem, em determinados momentos, manifestar-se temporariamente como áreas com alta concentração de “água”, resultando em uma falsa resposta espectral de corpos d'água.

Dessa forma, torna-se fundamental realizar uma análise complementar da área e de suas características por meio de imagens de satélite de alta resolução espacial e de séries temporais anteriores.

As imagens a seguir exemplificam a importância da validação cruzada entre dados de diferentes resoluções e períodos, permitindo uma classificação mais precisa e confiável dos espelhos d'água.



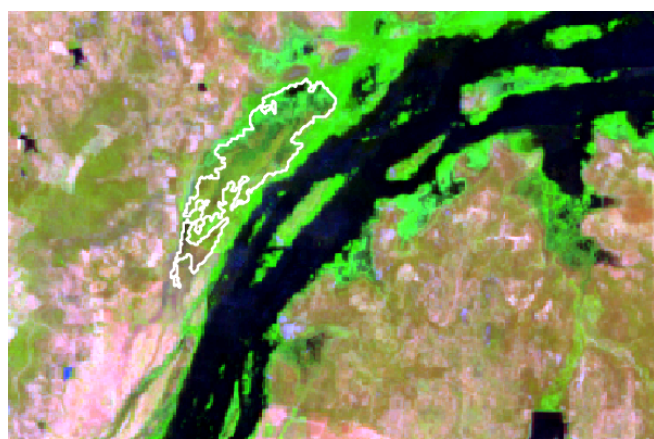
**Figura 10** – Validação de área alagada identificada como espelho d'água no município de Beberibe, com base em imagens Sentinel-2 (2024) e destacada em branco.





**Figura 11** – Análise complementar da área alagada identificada como espelho d'água no município de Beberibe, com base nas imagens do Google Earth Pro para os anos de 2016 (parte superior) e 2024 (parte inferior).

A imagem a seguir apresenta a evolução das áreas alagadas associadas ao sistema de drenagem do Açude Castanhão. Em 2012, o reservatório encontrava-se próximo de sua capacidade máxima, resultando em uma extensa área inundada. Em contrapartida, no ano de 2024, observa-se uma significativa redução da área alagada, correspondente a menos da metade da capacidade máxima do reservatório.



**Figura 12** – Validação de área alagada identificada como espelho d'água do Açude Castanhão, com base em imagens Sentinel-2 (2024) e destacada em branco.



**Figura 13** – Análise complementar da área alagada identificada como espelho d'água do Açude Castanhão, com base nas imagens do Google Earth Pro para os anos de 2012 (parte superior) e 2024 (parte inferior).

Esta variação é claramente evidenciada na resposta espectral dos pixels identificados pelo script como água e destacados pela linha branca, onde os tons para o período de maio a junho se mostraram próximos de um verde amarronzado.

Ao comparar com imagens de maior resolução espacial, observa-se que o terreno não se encontra efetivamente alagado. Portanto, a área delimitada foi excluída devido à ausência de alagamento real, conforme indicado pela resposta espectral, que revelou tons distantes do azul/preto esperado para um espelho d'água. As figuras abaixo ilustram exemplos desse tipo de ocorrência.





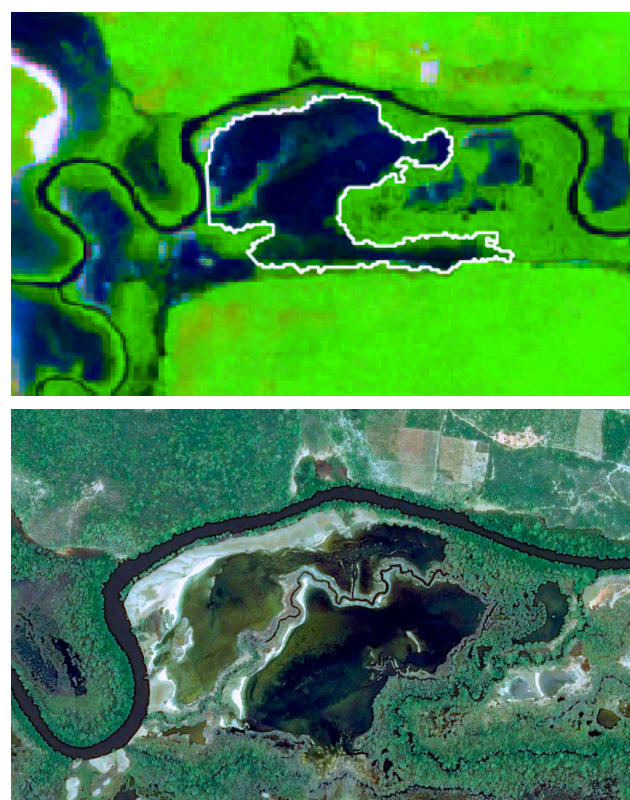
**Figura 14** – Validação de área alagada identificada como espelho d'água no município de Jaraguana, com base em imagens Sentinel-2 (parte superior) e Google Earth Pro (parte inferior), ambas referentes ao ano de 2024.



**Figura 15** – Validação de área alagada identificada como espelho d'água no município de Itaúba, com base em imagens Sentinel-2 (parte superior) e Google Earth Pro (parte inferior), ambas referentes ao ano de 2024.

Esses alagadiços são caracterizados por uma resposta espectral consistente ao longo do tempo, refletindo a capacidade das águas de permanecerem em estado saturado durante o período chuvoso.

Nas figuras a seguir, essas características são evidenciadas pela variabilidade sazonal de inundação nos meandros do Rio Mundaú, ilustrada por imagens do Google Earth Pro de 2013 e do Sentinel-2 de 2024, parte inferior e superior, respectivamente. Apesar do intervalo de 10 anos entre as imagens, ambas apresentam a mesma representação hídrica, destacando a persistência desse padrão ao longo do tempo.



**Figura 16** – Validação de área alagada identificada como espelho d'água no Rio Mundaú, com base em imagens Sentinel-2 (parte superior) e Google Earth Pro (parte inferior), referentes ao ano de 2024 e 2013, respectivamente.



Isso é refletido na resposta espectral dessas áreas ao longo do tempo, evidenciando uma estabilidade na condição de alagamento dentro desses limites.

### LIMITE DA DELIMITAÇÃO

A limitação da delimitação refere-se ao processo de estabelecer um marco final para a captura e representação das feições cartográficas, com o objetivo de evitar que a resposta espectral dos espelhos d'água, particularmente em rios, se estenda além do necessário para a análise.

Esse fenômeno ocorre devido à natureza dinâmica e variável das feições aquáticas, que, em algumas representações, podem se alongar de forma excessiva e imprecisa.

Para mitigar esse problema, adotou-se um critério específico de corte, definindo um limite de largura a partir do qual o mapeamento das feições é interrompido. Esse critério assegura que apenas as áreas de relevância analítica sejam incluídas, preservando a precisão e a utilidade dos dados geoespaciais na escala do estudo.

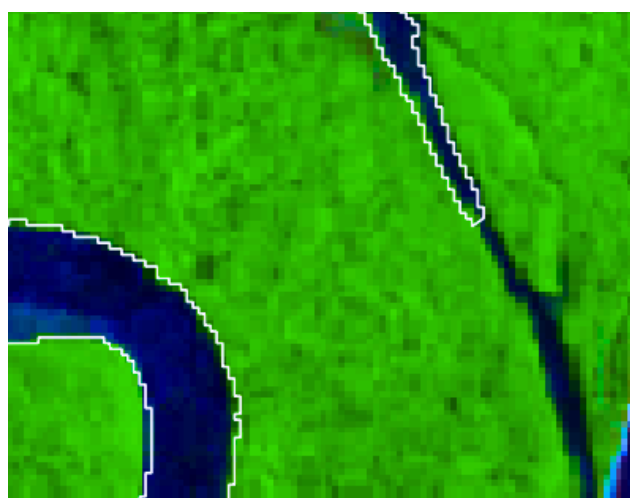
O ponto de corte das feições deve ser determinado com base na largura do canal do rio, utilizando o seguinte critério: quando a largura for inferior a 20 metros, ou o equivalente a 2 pixels em resolução espacial, a feição será ajustada ou finalizada.

**20 M DE LARGURA MÍNIMA ENTRE AS MARGENS**

ESSE MESMO CRITÉRIO SE APLICA A TODOS OS ESPELHOS D'ÁGUA, NÃO SOMENTE AOS RIOS

As feições com largura inferior a esse limite devem ser tratadas conforme esse critério, exceto em áreas onde o algoritmo já identifique naturalmente uma redução nas margens do curso d'água.

Essa abordagem evita a inclusão de áreas com características geométricas irrelevantes para o mapeamento, garantindo que o processo de delimitação seja mais preciso e alinhado com as condições reais do terreno.



**Figura 17** – Validação dos limites de delimitação dos espelhos d'água, com ênfase nos rios (parte superior), destacados em branco e ampliados (parte inferior), no município de Acaraú, com base em imagens do satélite Sentinel-2 (2024).

## MACRÓFITAS

Em contraste com a metodologia M.2, que se concentrava exclusivamente na delimitação de espelhos d'água permanentes e, conseqüentemente, excluía, em grande parte, as áreas ocupadas por macrófitas devido à sua natureza sazonal, a metodologia atual (M.3) adota uma abordagem mais abrangente e dinâmica.

Essa mudança permite a inclusão de áreas com presença sazonal de macrófitas, cuja dinâmica sofre variações ao longo do ano, proporcionando uma representação precisa e abrangente das flutuações temporais desses ambientes aquáticos.

Portanto, apesar da manutenção da padronização, algumas adaptações foram necessárias. Esse processo exigiu uma revisão detalhada e a subsequente modificação de certos parâmetros de análise, em virtude da alteração na metodologia de aquisição dos espelhos d'água e na extração das áreas máximas anuais.

As mudanças metodológicas implementadas, particularmente no que se refere à forma de captura e processamento das imagens, demandaram a redefinição de critérios visuais e espaciais, com o objetivo de garantir uma maior precisão na identificação dessas áreas em diferentes períodos de tempo.

Tais ajustes foram necessários para melhorar a qualidade e a consistência dos dados, assegurando que as representações cartográficas refletissem de maneira fiel as características dinâmicas dos espelhos d'água ao longo do tempo.

## Procedimento de Análise

- Proposta Anterior: enfatizava a necessidade de uma análise minuciosa e individualizada de espelhos d'água com alta concentração de macrófitas.

O foco estava na investigação detalhada do ambiente circundante e no uso de imagens históricas para interpretar a dinâmica da área ao longo do tempo. Isso visava minimizar possíveis erros de interpretação decorrentes da presença de macrófitas, visto que o script capturava apenas os espelhos mais permanentes ao longo do ano analisado.

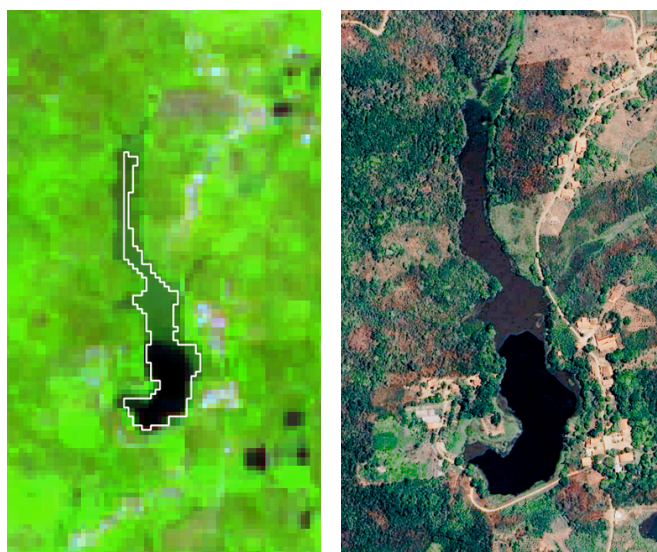
- Proposta Atual: a metodologia atual reflete uma mudança de perspectiva, adotando a **manutenção da delimitação existente**, baseada na máxima extensão anual dos espelhos d'água.

Essa abordagem considera as macrófitas como parte integrante das características naturais da área, sem a necessidade de análises detalhadas adicionais.

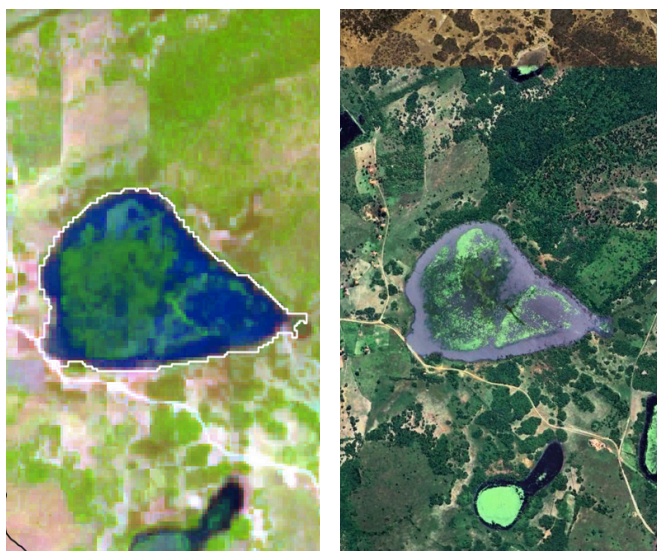
## Nível de Detalhamento

- Proposta Anterior: altamente detalhada, demandava uma avaliação caso a caso, exigindo consultas às imagens históricas e uma compreensão aprofundada das condições locais ao longo do tempo.
- Proposta Atual: mais prática e abrangente, assume as delimitações existentes como adequadas, alinhando-se à atualização metodológica que incorpora as variações sazonais na extensão dos espelhos d'água.

Em suma, a proposta anterior era mais detalhista e voltada para a análise específica de casos complexos, enquanto a proposta atual é mais abrangente e simplificada, refletindo as atualizações metodológicas que incorporam as macrófitas como parte das características naturais da delimitação máxima anual, eliminando a necessidade de ajustes adicionais. As figuras abaixo ilustram exemplos desse tipo de ocorrência.



**Figura 18** – Validação de espelhos d'água com macrófitas: à esquerda, destacado em branco, a presença de macrófitas em um espelho d'água no município de Redenção, identificado por meio de imagens do satélite Sentinel-2 (2024). À direita, a mesma área analisada com base em imagens de alta resolução do Google Earth Pro.



**Figura 19** – Validação de espelhos d'água com macrófitas: à esquerda, destacado em branco, a presença de macrófitas em um espelho d'água no município de Jaraguatama, identificado por meio de imagens do satélite Sentinel-2 (2024). À direita, a mesma área analisada com base em imagens de alta resolução do Google Earth Pro.

## ÁREAS EDITÁVEIS POR FERRAMENTAS

Este tópico aborda os ajustes manuais realizados em feições mapeadas para corrigir ou refinar os resultados gerados automaticamente por scripts. Embora tais ajustes sejam raramente necessários na nova metodologia, optou-se por mantê-los na revisão metodológica, uma vez que constituem uma etapa de edição vetorial e não conceitual.

Assim, sua aplicação depende diretamente da base conceitual definida nos tópicos anteriores, garantindo que qualquer modificação realizada esteja em conformidade com os princípios e objetivos estabelecidos.

- Expansão de feições: refere-se à inclusão de áreas não capturadas pelo script, mas que possuem comportamento espectral semelhante ao da água.
- Redução de feições: relaciona-se à remoção de áreas capturadas pelo script, mas que apresentam comportamento espectral distinto da resposta de água ou possivelmente um área alagada sazonalmente.

Destaca-se que, para evitar interpretações incorretas, não serão incluídas imagens ilustrativas das edições vetoriais, uma vez que este processo é fundamentado em uma conceitualização previamente estabelecida e, portanto, pode apresentar variações dependendo do contexto.

A inserção de imagens poderia gerar falsas interpretações sobre a aplicação das edições, comprometendo a integridade da análise. Assim, recomenda-se que, antes de realizar qualquer modificação, seja realizada uma avaliação detalhada da área em questão.



Esta análise pode ser feita por meio do estudo do contexto local ou através da comparação com imagens anteriores disponíveis no Google Earth Pro, garantindo maior precisão e consistência na aplicação das edições.

### C) PADRONIZAÇÕES EXCLUÍDAS

As padronizações excluídas estão relacionadas ao ajuste vetorial das feições pelo operador. No entanto, o novo script não apenas otimiza o uso de recursos e o tempo investido, mas também possibilita uma avaliação mais focada e representativa da qualidade dos dados. Ao comparar o novo método com áreas amostrais do estado do Ceará, observou-se que ele se manteve consistente e eficaz.

#### ÁREAS OCUPADAS COM AQUICULTURA

Na reavaliação metodológica conduzida pelo corpo técnico, foi destacado que as áreas de aquicultura demandam atenção especializada.

Considerando que o departamento GEPEM-FUNCME já possui um projeto dedicado ao monitoramento e mapeamento das áreas ocupadas por atividades aquícolas, identificou-se a ocorrência de sobreposição de esforços, resultando em retrabalho no processo de mapeamento dos espelhos d'água.

Dessa forma, optou-se pela exclusão dessas áreas do conjunto de dados de espelhos d'água, sem prejuízo à integridade das informações. Essa decisão foi fundamentada na necessidade de otimizar o fluxo de trabalho e garantir a continuidade do monitoramento das áreas aquícolas em um projeto específico.

Ressalta-se que as feições excluídas não atendiam aos critérios de reservatório ou potencial hídrico previamente estabelecidos, corroborando a adequação do ajuste metodológico.

- Proposta anterior: a metodologia previa a inclusão de um campo específico na tabela de atributos para identificar e marcar as áreas destinadas à aquicultura, permitindo o ajuste das feições com o objetivo de separar essas áreas dos espelhos d'água convencionais.
- Proposta atual: após análise técnica, a equipe concluiu que a marcação das áreas ocupadas com aquicultura introduzia atrasos significativos no processo de mapeamento e se caracterizava com retrabalho. Diante disso, decidiu-se pela exclusão dessas feições do conjunto de dados, realocando-as ao projeto específico conduzido pelo GEPEM-FUNCME, garantindo eficiência metodológica e evitando redundâncias.



Figura 20 – Áreas ocupadas com aquicultura no município de Aracati, destacadas em branco e com base em imagens Sentinel-2 (2024).

## RELAÇÃO BARRAGEM E ESPELHOS

A análise das interações entre barragens e espelhos d'água também passaram por ajustes metodológicos significativos, refletindo avanços no entendimento dos dados hidrológicos e na necessidade de maior precisão nas representações espaciais.

A nova abordagem tem como foco principal identificar a área máxima anual dos espelhos d'água, uma métrica que melhor representa o potencial hídrico sem se concentrar em dinâmicas temporais. Essa decisão foi fundamentada no fato de que os espelhos d'água, mesmo quando agregados ao longo de um ano de análise, pertencem a uma mesma área funcional.

A ausência de imagens anuais que cubram todo o período hidrológico (tendo como base apenas imagens de maio a julho) impede uma representação completa e temporalmente consistente. Assim, a segregação dos espelhos baseada em recortes temporais específicos não representaria a realidade hídrica integral e introduziria vieses na análise.

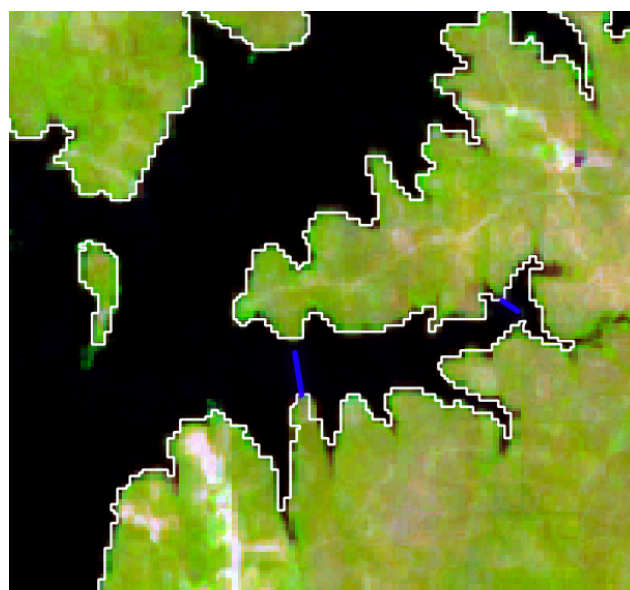
- Proposta anterior: focava na análise detalhada das interações entre barragens e espelhos d'água, considerando cenários como a inundação completa de barragens ou a criação de descontinuidades hídricas.

Em casos de sobreposição, as feições eram mantidas, enquanto descontinuidades exigiam a subdivisão dos espelhos d'água para garantir maior precisão na representação e na análise.

- Proposta atual: análise dessas interações foi descontinuada, priorizando a identificação da área máxima anual dos espelhos d'água. Essa mudança reflete a decisão de tratar os espelhos como pertencentes a uma única área funcional ao longo do ano, eliminando subdivisões baseadas em recortes temporais específicos. No entanto, exceções são feitas nos casos em que a ruptura ou descontinuidade for capturada automaticamente pelo próprio script, garantindo que tais eventos sejam corretamente representados no mapeamento.

Embora a metodologia antiga tenha oferecido insights valiosos sobre as interações locais entre barragens e espelhos d'água, o foco atual em métricas anuais consolidadas representa uma evolução alinhada com as demandas de simplificação e precisão dos dados.

A centralização no potencial máximo hídrico e a exclusão de análises temporais detalhadas garantem a eficiência do trabalho, mantendo a confiabilidade necessária para os estudos hidrológicos e a tomada de decisão em gestão hídrica.



**Figura 21** – Relação entre barragens (em azul) e espelhos d'água (em branco) no município de Madalena, com base em imagens Sentinel-2 (2024).

## ÁREAS EDITÁVEIS POR FERRAMENTAS

Este tópico descreve os ajustes manuais que foram removidos na etapa metodológica atual. Esses ajustes visavam corrigir ou refinar os resultados gerados automaticamente pelos scripts. Contudo, tais modificações foram excluídas da metodologia vigente, pois interferem diretamente na definição da área máxima dos espelhos d'água, conceito essencial para a abordagem analítica adotada.

A remoção desses ajustes garante uma representação mais precisa e consistente das áreas mapeadas, alinhando-se melhor à concepção e aos objetivos da metodologia atual.

- Adição anéis: refere-se às áreas de sedimentação localizadas dentro do anel externo do espelho d'água. Essas áreas, não capturadas pelo script, eram incluídas manualmente com base em observações visuais.
- Remoção anéis: refere-se à remoção de anéis internos gerados pelo script em áreas onde não há sedimentação, mas que o algoritmo indicava erroneamente como parte do espelho d'água.

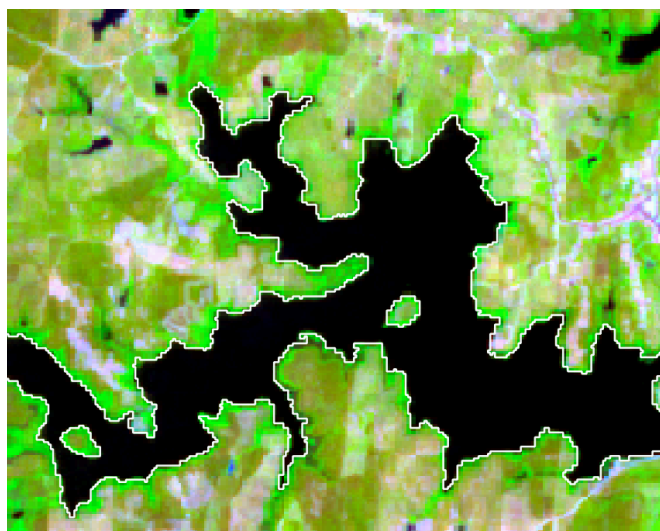


Figura 22 – Espelhos d'água com anéis internos, no município de Solonópole e com base em imagens Sentinel-2 (2024).

No entanto, com a atualização metodológica, essa prática foi descontinuada. A partir da nova abordagem, os anéis gerados automaticamente pelo script devem ser mantidos sem alterações, garantindo maior consistência e fidelidade na representação das áreas mapeadas, sem a intervenção de ajustes manuais que poderiam comprometer a integridade dos dados.

## C) PADRONIZAÇÃO ADICIONADA

A padronização adicionada consistiu na introdução de um novo parâmetro ou ajuste na metodologia anteriormente estabelecida, com a finalidade de aprimorar a precisão, consistência e confiabilidade dos resultados obtidos.

Essa modificação foi implementada para superar uma limitação observada durante a análise do novo script. Ao considerar os espelhos d'água em sua totalidade anual, o script acabou identificando feições não relacionadas à água, devido à semelhança nas respostas espectrais dessas áreas com as dos corpos d'água.

Esse ajuste visa corrigir essa distorção, garantindo que as interpretações sejam mais precisas e alinhadas com a realidade do terreno.

## SOMBRA DE AFLOREAMENTO ROCHOSO

Na metodologia atual (MV.3), foi identificado um novo ponto relacionado à interpretação das sombras de afloramentos rochosos, que foram erroneamente classificadas como espelhos d'água. Essas sombras são geradas por superfícies altimétricas elevadas onde as rochas estão expostas na superfície do solo.



Em terrenos inclinados, a projeção dessas sombras aumenta a complexidade da interpretação e dificulta a aplicação de classificações automáticas, uma vez que podem ser confundidas com corpos d'água devido à semelhança nas respostas espectrais.

Para evitar tais ambiguidades, optou-se por excluir essas feições durante a validação dos espelhos. Essa abordagem visa aumentar a precisão e a consistência dos resultados, garantindo uma análise mais fiel das áreas de espelhos d'água.

2.6 METADADOS

Título:  
Espelhos d'água do Ceará - 2024

Descrição:  
O mapeamento dos espelhos d'água de 0.3 hectares faz parte do Projeto Espelhos D'Água, que tem como objetivo gerar informações para subsidiar a tomada de decisão, ações de planejamento e gestão do setor de Recursos Hídricos. O resultado fornece a situação, quantificação, posição e a distribuição espacial dos espelhos d'água no território cearense, contribuindo para a relação de atividades técnicas do setor.

Idioma: Português

Palavras-chaves: Espelhos D'água; Recursos Hídricos; Mapeamento; Geoprocessamento

Crédito/Autor:  
Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente - GEPEM / Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - Funceme

Status: Finalizado  
Ano de elaboração: 2024/2025

Escala do produto: 1:150.000  
Escala de extração: 1:5.000

Sistema de referência de coordenadas: SIRGAS 2000/UTM ZONA 24S (EPSG: 31984)

Plataforma de trabalho: QGIS/Google Earth Engine (GEE)

Insumos: Sentinel 2 - imagens de satélite para o ano de 2024, com resolução espacial de 10m

Etapas de produção:  
O mapeamento semiautomático teve início na plataforma Google Earth Engine (GEE) mediante a compilação das imagens e a geração dos dados vetoriais resultantes da classificação dos espelhos, realizada por meio de um script de domínio institucional. Posteriormente, procedeu-se à revisão manual das áreas iguais ou superiores a 0,2 hectares (ha).

Data do metadados: 04/06/2024

Campos:  
fid - identificação da feição  
cd\_bacia - código da bacia do qual o espelho pertence  
cd\_mun - código do município do qual o espelho pertence  
id\_espl\_mx - código do espelho área máxima  
nm\_espl - nome do espelho área máxima  
tp\_entrada - tipo de entrada  
fonte\_img - fonte da imagem de satélite utilizada para o mapeamento  
ano\_img - ano da imagem de satélite utilizada para o mapeamento  
area\_ha - área em hectares dos espelhos d'água  
responsavel - operador responsável pela análise/vetorização  
dt\_vetorizacao - data de vetorização  
controle\_analise - controle do operador verificar se a feição já foi analisada  
aquicultura - espelhos que são áreas ocupadas com aquicultura  
revisor - operador responsável pela revisão dos espelhos  
dt\_revisao - data de vetorização

Mapa de valores:  
tp\_entrada: 0 (Automático), 1 (Manual), 2 (Semi-automático)  
controle\_analise: 0 (Automático), 1 (Manual), 2 (Semi-automático)  
aquicultura: 0 (não ocupado com aquicultura), 1 (ocupado com aquicultura)

2.7 FICHA TÉCNICA

Especificações Cartográficas	
Datum horizontal:	SIRGAS2000
Sistema de Coordenadas:	Projetadas   UTM Zona 24S (EPSG: 31984)
Escala do produto:	1:50.000
Escala de extração:	1:5.000
Ambiente de trabalho:	Processamento: Google Earth Engine Tratamento dos dados: QGIS/PostGIS
Imagem-base:	Sentinel -2

### 3 RESULTADOS

A quantificação dos espelhos d'água, foi determinada a partir da água armazenada no corpo hídrico (açude e/ou lagoa), identificada na imagem correspondente ao ano do mapeamento.

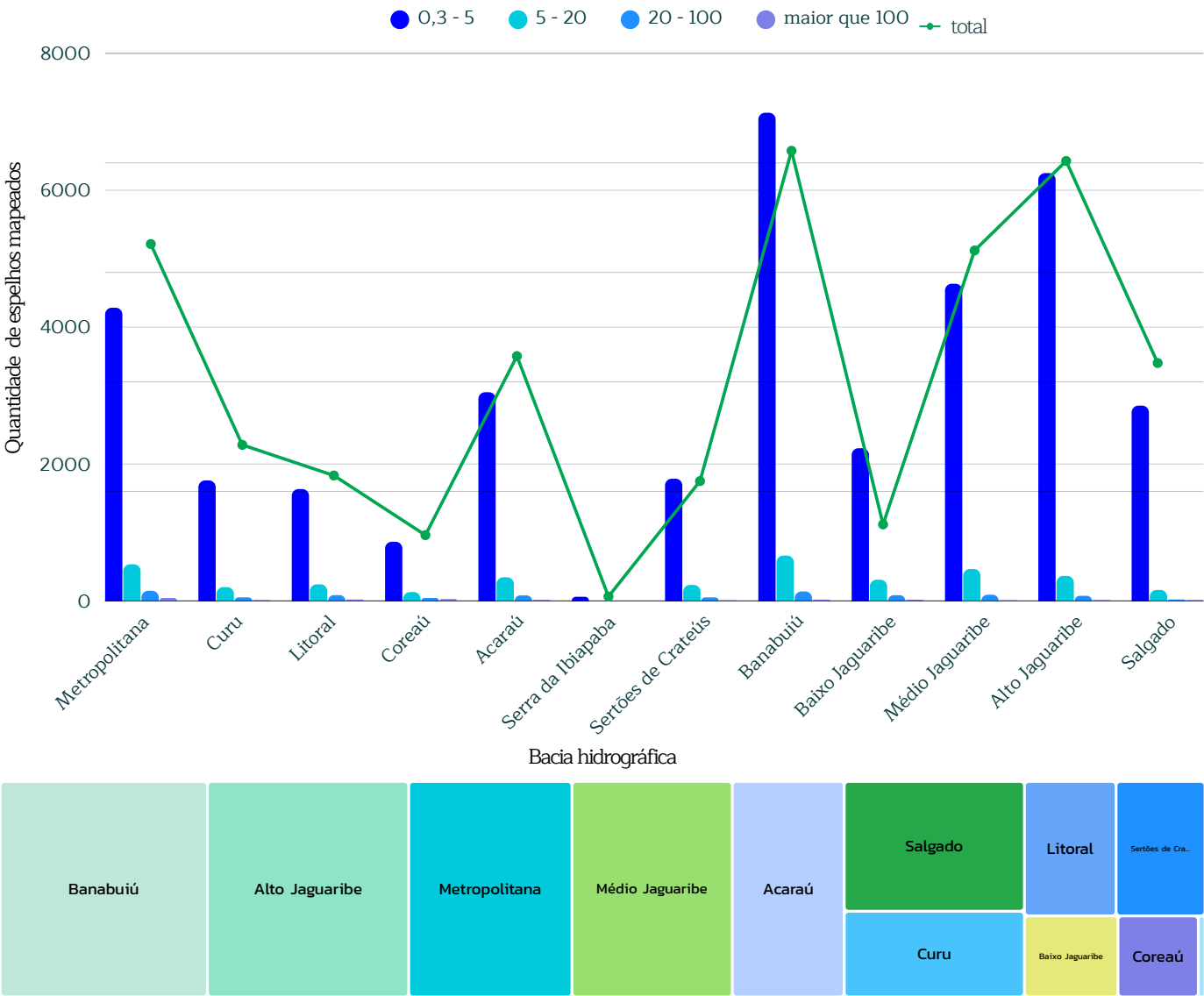
A análise dos resultados permitiu a visualização da distribuição espacial e densidade dos corpos d'água a partir de mapas, tabelas e gráficos, por área assim distribuídos: 0,3 - 5; 05 - 20; 20 - 100 e >100.

No entanto, é importante salientar que, dependendo das condições climáticas locais (ano seco ou ano chuvoso), pode ocorrer uma redução ou acréscimo da área dos açudes e lagoas mapeados.

Esse mapeamento, utilizando o software QGIS 3.30, permitiu o cálculo de área de cada espelho d'água e geração de estatísticas (Tabela 1), os quais permitirão diversos tipos de análises relacionadas a distribuição espacial e situação dos espelhos d'água, tanto a nível estadual como por bacia hidrográfica.

**Tabela 01** – Quantificação dos espelhos d'água nas bacias hidrográficas mapeadas, categorizados por classes de área (hectares), com ano base em 2024.  
Elaboração: GEPEM, 2025

Bacias Hidrográficas	Quantidade de espelhos mapeados por intervalos de área (ha)				
	0,3 - 5	5 - 20	20 - 100	> 100	Total
Metropolitana	5441	829	203	45	6518
Curu	2387	347	105	10	2849
Litoral	1793	376	95	26	2290
Coreaú	989	146	41	25	1201
Acaraú	3857	487	108	19	4471
Serra da Ibiapaba	69	8	1	1	79
Sertões de Crateús	1870	249	60	9	2188
Banabuiú	7127	900	166	28	8221
Baixo Jaguaribe	1056	246	77	18	1397
Médio Jaguaribe	5425	769	184	22	6400
Alto Jaguaribe	7370	551	96	18	8035
Salgado	4053	245	33	14	4345
Total mapeado	41437	5153	1169	235	47994



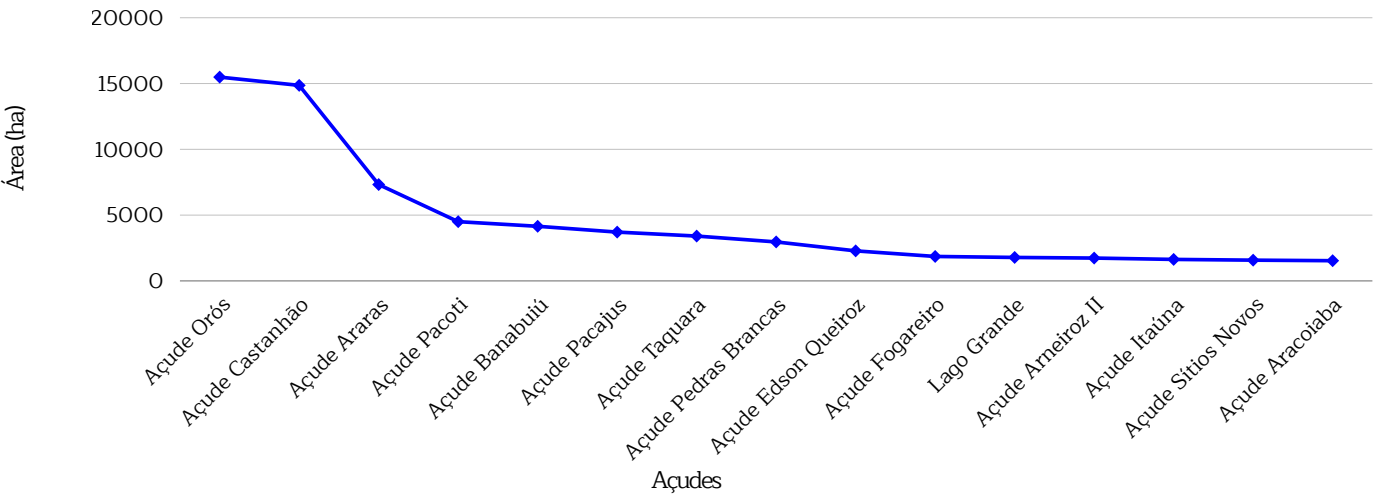
**Gráfico 01** – Quantificação dos espelhos d'água nas bacias hidrográficas mapeadas, categorizados por classes de área em hectares (superior); e proporção de contribuição de cada bacia hidrográfica pelo número total de espelhos d'água (inferior), ambos com ano base em 2024  
Elaboração: GEPEM, 2025

A análise da distribuição espacial dos espelhos d'água mapeados em 2024 no estado do Ceará, considerando áreas iguais ou superiores a 0,3 hectares, revelou resultados substanciais. O levantamento identificou uma área total de 291 mil hectares, distribuída em aproximadamente 48 mil espelhos d'água. Desse total, a maior parte, equivalente a 86,36% (41437 espelhos), possui áreas iguais ou inferiores a 5 hectares, demonstrando a predominância de pequenos reservatórios no território estadual, conforme observado no gráfico e tabela acima. Isso reflete a fragmentação do sistema hidrográfico estadual, onde a soma de pequenos açudes desempenha um papel importante no contexto geral, apesar de sua contribuição isolada ser limitada.

Entre as bacias hidrográficas, a do rio Banabuiú destacou-se como a de maior concentração de espelhos d'água, totalizando 8.221 unidades, o que representa 17,12% do total mapeado. Essa bacia é de grande importância hídrica para o Ceará, abrigando reservatórios estratégicos como o Açude Banabuiú, com uma área de 4 mil hectares em 2024, além dos açudes Pedras Brancas e Fogareiro, com 2,9 mil e 1,8 mil hectares, respectivamente.

Seguida da bacia do Alto Jaguaribe que apresentou 8.035 espelhos d'água, correspondendo a 16,74 % do total. Esta região é notável por abrigar o Açude Orós, cuja área foi estimada em aproximadamente 16 mil hectares em 2024. Por sua vez, a bacia do Médio Jaguaribe também merece destaque, especialmente pela presença do Açude Castanhão, o maior reservatório do Estado, porém em virtude da quadra chuvosa, no ano de 2024, apresentou espelho d'água com área de aproximadamente 15 mil hectares no mesmo período.

Esses dados evidenciam a relevância dos grandes reservatórios para o abastecimento hídrico e a sustentabilidade ambiental do Estado, enquanto a expressiva quantidade de pequenos espelhos d'água ressalta a complexidade e a fragmentação do sistema hidrográfico cearense. A análise detalhada dessas estruturas é essencial para a gestão integrada dos recursos hídricos e para a formulação de políticas públicas que assegurem a segurança hídrica no Estado.



**Gráfico 02-** Quantificação das áreas dos principais açudes do Ceará, organizadas em ordem decrescente, com ano base em 2024.  
Elaboração: GEPEM, 2025

Ao analisar os açudes com maior representação territorial, como destacado no gráfico acima, observa-se uma queda progressiva na área dos espelhos d'água após o Açude Castanhão. Esse fenômeno reflete a concentração de grandes açudes em um número restrito de estruturas, que detêm a maior capacidade de armazenamento hídrico no Estado.

Essa distribuição assimétrica entre grandes e pequenos açudes demonstra a importância de estratégias diferenciadas de manejo e monitoramento. Enquanto os grandes reservatórios exigem atenção contínua para preservar sua capacidade de abastecimento e controle de cheias, os pequenos e médios açudes devem ser integrados de forma eficiente ao planejamento hídrico, especialmente em áreas de maior vulnerabilidade. Assim, é necessário promover um equilíbrio entre a conservação dos grandes reservatórios e o fortalecimento da resiliência hídrica por meio do aproveitamento dos pequenos e médios açudes, garantindo a sustentabilidade hídrica em curto e longo prazo.

3.1 ESPELHOS D'ÁGUA MAPEADOS EM 2024, POR BACIAS HIDROGRÁFICAS

“O mapeamento dos espelhos d'água identificou uma área total de **291 mil hectares**, distribuída em cerca de **48 mil espelhos d'água**.”

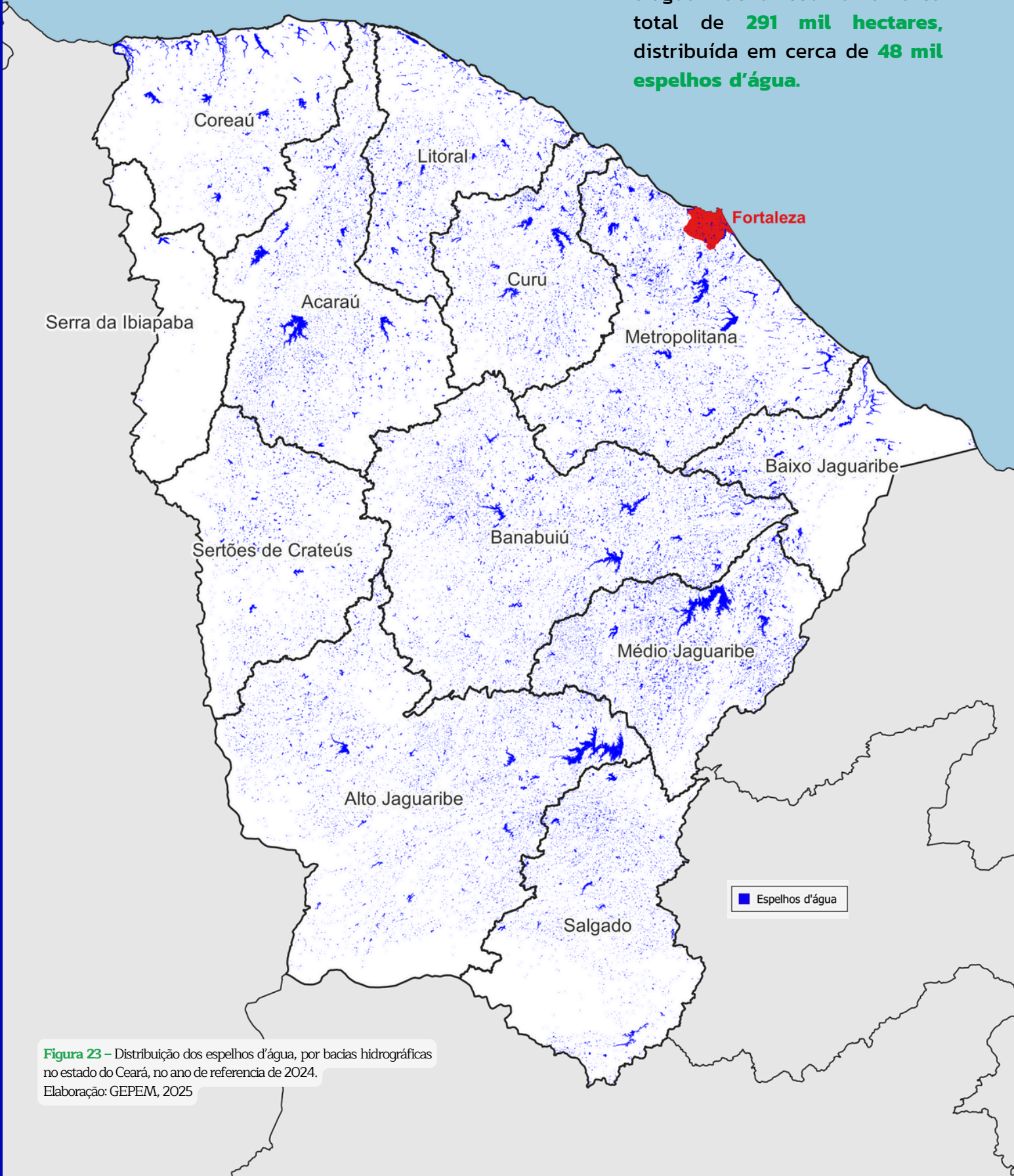


Figura 23 – Distribuição dos espelhos d'água, por bacias hidrográficas no estado do Ceará, no ano de referência de 2024. Elaboração: GEPEM, 2025



## SITUAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS EM 2024

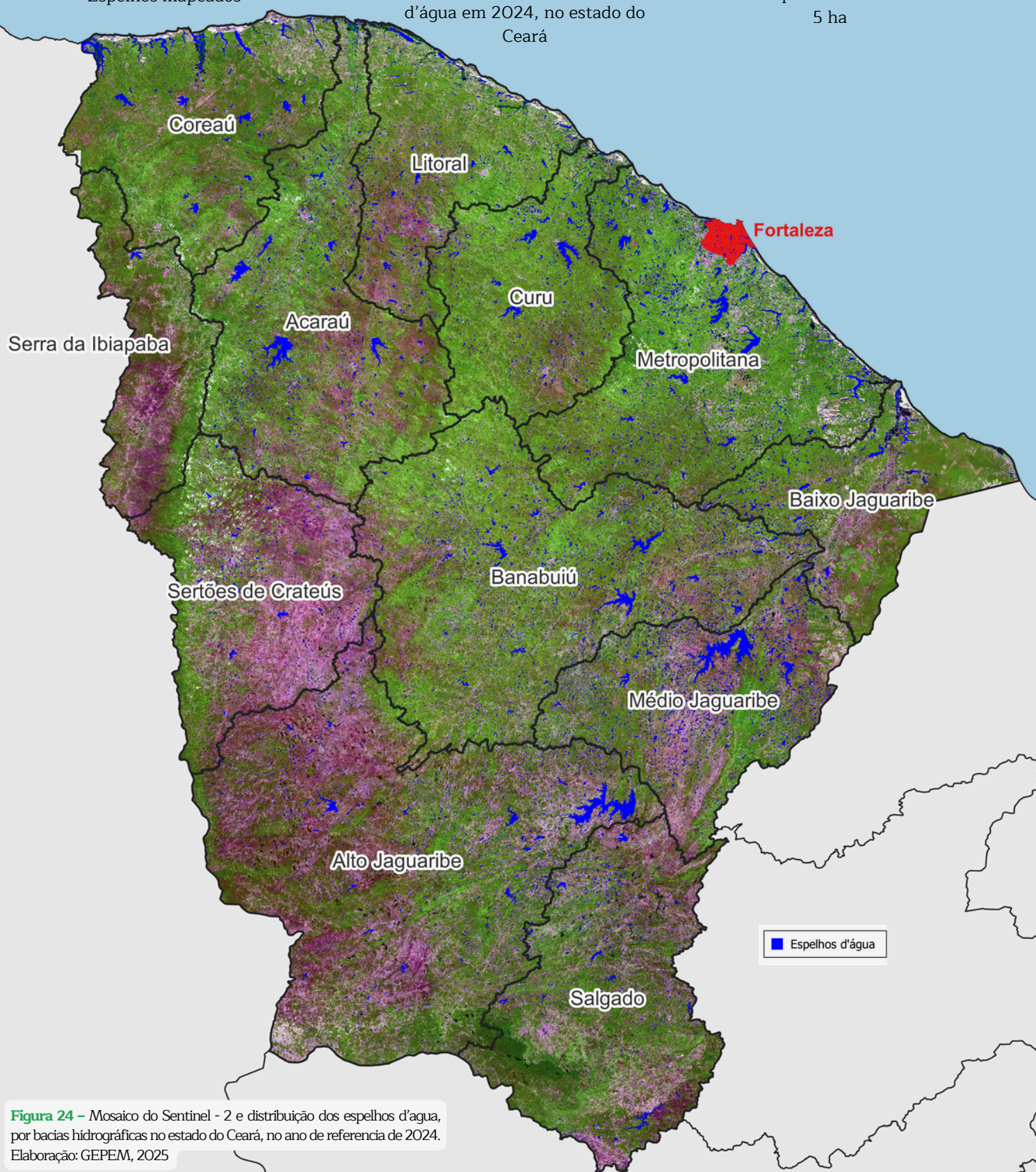
48 mil

Espelhos mapeados

1,5%

Cobertura territorial dos espelhos  
d'água em 2024, no estado do  
Ceará

86%

São espelhos inferiores à  
5 ha

**Figura 24** – Mosaico do Sentinel - 2 e distribuição dos espelhos d'água, por bacias hidrográficas no estado do Ceará, no ano de referência de 2024. Elaboração: GEPEM, 2025



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de dados e técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento levaram à elaboração deste estudo que mostra a dinâmica da açudagem no estado do Ceará a partir do mapeamento das suas bacias hidrográficas para o ano de 2024, dando continuidade para os anos subsequentes, como forma de gerar um histórico e um banco de dados rico em informações que possam ser utilizadas também por outros órgãos na gestão dos recursos hídricos.

### DESTAQUE 1

A importância da utilização de técnicas de sensoriamento remoto para o gerenciamento de recursos naturais é um fato consolidado no mundo das geotecnologias. As imagens orbitais da série SENTINEL, têm se mostrado especialmente úteis no mapeamento e análise temporal dos espelhos d'água com área a partir de 0,3 hectares, permitindo o acompanhamento da evolução de cenários da oferta hídrica ao longo de um determinado período, informação muito útil para o planejamento e gestão dos recursos hídricos a curto, médio e longo prazo.

### DESTAQUE 2

O uso da plataforma Google Earth Engine ofereceu ao mapeamento mais agilidade, qualidade e precisão. Com a grande disponibilidade de imagens de satélite (históricas e atuais), de forma gratuita e pré-processada, torna-se possível a atualização e elaboração de novos mapeamentos.

### DESTAQUE 3

O mapeamento sistemático dos espelhos d'água no estado do Ceará, torna-se uma ferramenta necessária à tomada de decisão, dado aos períodos de estiagem que assolam o Estado. Contudo, este mapeamento apresenta notória importância pela sua utilização como suporte ao gerenciamento dos recursos hídricos e ao planejamento de ações públicas para a mitigação dos efeitos da seca, sobretudo em regiões onde há maior vulnerabilidade diante deste fenômeno natural.

## 5 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

FEYISA, G. L.; MEILBY, H.; FENSHOLT, R.; PROUD, S. R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 2014, 140, p. 23-35. <https://doi:10.1016/j.rse.2013.08.029>;

FUNCEME. Mapeamento dos espelhos d'água do Brasil. Relatório técnico, 2008. 108 p.

FUNCEME. Guia operacional para elaboração das cartas dos espelhos d'água do Brasil. Convênio Ministério da Integração Nacional. MI. Agência Nacional das Águas. ANA. Fortaleza. 2006.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R.E. Digital Image Processing. 2nd edition. Prentice- Hall. Upper Saddle River – NJ, 2002.

JENSEN, J. R.; Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Estados Unidos da America: Prentice hall, 2005 - 526 p. SBN: 0131453610.

MEADEN, Geoffery; AGUILAT-MANJARREZ, José, Advances in Geographic Information Systems and Remote Sensing for Fisheries and Acquaculture, 2013. FAO, 98p.

MOLLE, F. Marcos históricos e reflexões sobre açudagem e seu aproveitamento. SUDENE, DPG. PRN. HME. Convênio SUDENE/ORSTOM/TAPI. (Hidrologia, 30). p. 193. Recife (Pe), 1994.

VOLCKER Claudio Michael; SCOTT, Philip, SIG e sensoriamento remoto para a determinação do potencial da aquícultura no baixo São João – RJ, Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, 2008, p. 196-215.

WOODHOUSE, Iain , Introduction to Microwave Remote Sensing, 2015., Editora Speckled Press, 398p. (eBook);

ARAÚJO E SILVA, C. P.; DO AMARAL, R. F.; DO NASCIMENTO ARAÚJO, P. V.. Granulometria e morfometria de sedimentos superficiais costeiros: o complexo de lagoas interdunares da APA Jenipabu, Rio Grande do Norte, Brasil. HOLOS, [S. l.], v. 6, p. 1-18, 2020.

SANTOS, T. J. A. Análise multitemporal das lagoas da região dos Lençóis Maranhenses entre 1985 e 2020. 2021. 119 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGE)) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.



