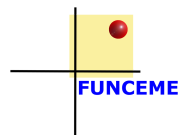


Relatório Técnico v.2023

ESPELHOS

D'ÁGUA - CE



ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME

MAPEAMENTO DOS ESPELHOS D'ÁGUA DO ESTADO DO CEARÁ, REFERENTE AO ANO DE 2023

Relatório Técnico v.2023

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

Marcos Robério Ribeiro Monteiro - 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, Doutor em Geografia

Thais de Oliveira Casela, Geógrafo, Mestre em Geografia

Denís Barbosa de Lima, Geógrafo, Mestre em Geografia

Níveo Moreira da Rocha, Mestre em Geografia

Heloisa Freitas Porto, Geógrafa

Francisco Sérgio Rocha, Geógrafo

Mario Rodrigues Pinto de Sousa Filho, Geógrafo, Mestre em Geografia

Thiago Silva Ferreira, Eng. Civil

Francillene Fernandes Silva, Geógrafo, Mestre em Geografia

Daniel Pontes de Oliveira, Eng. Agrônomo, Doutor em Ecologia e Recursos Naturais

Antônio Rodrigues dos Santos Neto, Geógrafo

Sumário

01	Apresentação	05
02	Procedimentos Metodológicos	06
	2.1 Insumos utilizados.....	06
	2.2 Script Google Earth Engine – GEE.....	07
	2.3 Tratamento dos dados.....	08
	2.4 Padronização e Postgres.....	09
	2.5 Padronização do projeto base.....	12
	2.6 Validação dos dados: Padronização do mapeamento.....	13
	2.7 Metadados 25.....	25
03	Resultados	26
04	Considerações finais	30
05	Bibliografia Consultada	31

1 APRESENTAÇÃO

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 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.

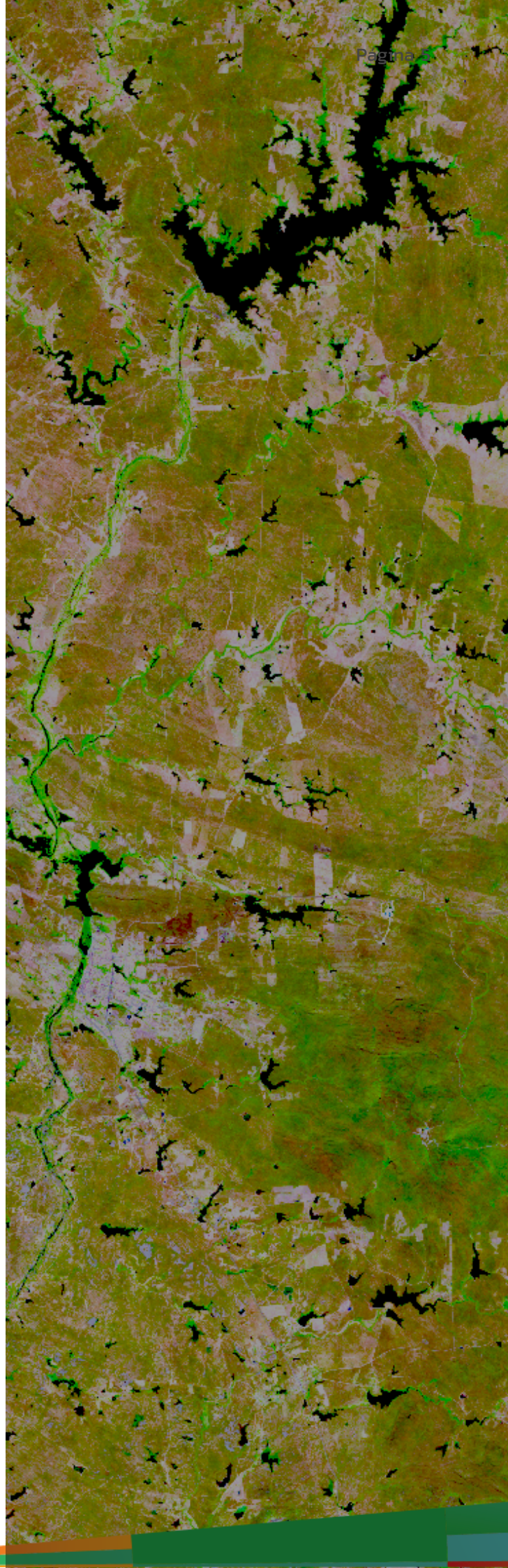
As bacias hidrográficas abrangidas são: Acaraú, Alto Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Baixo Salgado, Banabuiú, Coreaú, Curú, Litoral, Médio Jaguaribe, Metropolitana, Serra da Ibiapaba e Sertões de Crateús.

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 0,2 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 2023, 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 2023, mostrando um recorte espacial do estado do Ceará.

Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2024)



2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com base na vasta experiência acumulada pela FUNCEME em projetos de mapeamento, foi desenvolvida uma abordagem metodológica detalhada, visando a criação de um documento que não apenas descrevesse os processos executados, mas que também facilitasse a compreensão e a replicação dessas práticas por outras equipes.

Para isso, a metodologia foi cuidadosamente ajustada para atender às exigências específicas do projeto em questão. Este ajuste considerou diversos fatores, como a compatibilidade com os equipamentos computacionais disponíveis, os softwares utilizados na análise e processamento de dados, o volume de trabalho a ser realizado e a qualificação técnica da equipe envolvida.

Nesse contexto, toda a metodologia aplicada na elaboração dos espelhos d'água, referentes aos períodos de 2022 e 2023, foi completamente reformulada e aprimorada. As melhorias visam não apenas otimizar a eficiência dos processos, mas também garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos.

O novo modelo metodológico incorpora as melhores práticas identificadas em projetos anteriores, além de inovações que emergiram das mais recentes pesquisas na área de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

2.1 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 2023, adequada para aprimorar os resultados do projeto. 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).

A frequência de revisitamento de cada cinco dias permite uma ampla variabilidade de imagens, o que é crucial para mitigar a presença de nuvens nas análises. Essa característica é particularmente importante no contexto do Ceará, que, em grande parte de sua série histórica anual, enfrenta alta cobertura de nuvens devido à sua localização na zona costeira.

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. 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.

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.

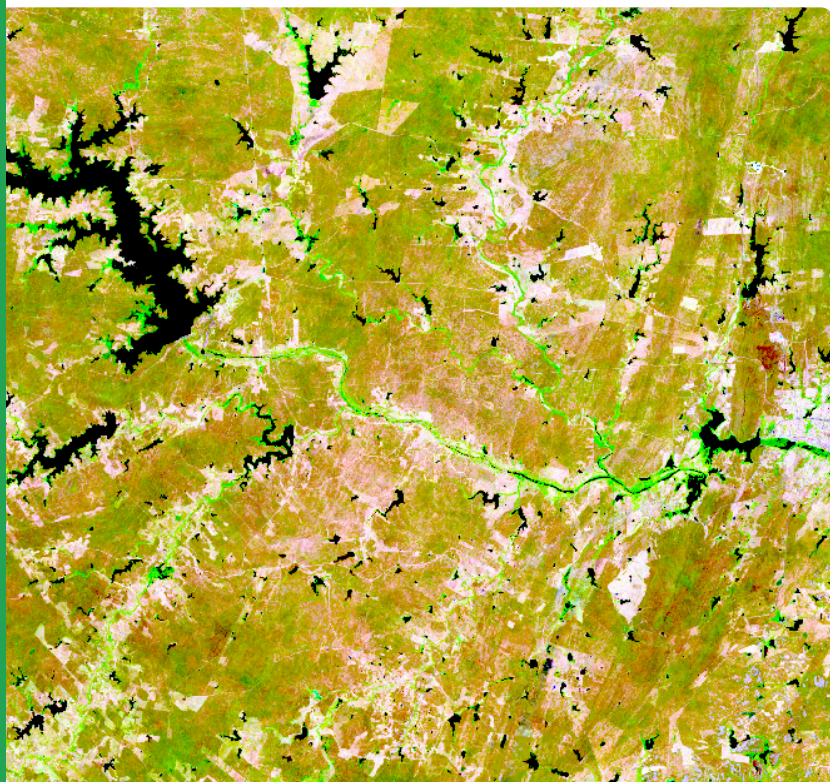


Figura 02 - Imagem de satélite Sentinel-2 do ano de 2023, composição em cores RGB (bandas 5, 4 e 3), com resolução espacial de 10 metros.
Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2024)

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.

Os dados 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.

2.2 SCRIPT GOOGLE EARTH ENGINE - GEE

O script organiza 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 representa 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 são os espelhos d'água mais perenes, destacando as áreas de água mais estáveis ao longo do ano ao eliminar variações sazonais.

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. A versão 1.0 era aplicada antes da estruturação na plataforma GEE e no banco de dados PostGIS.

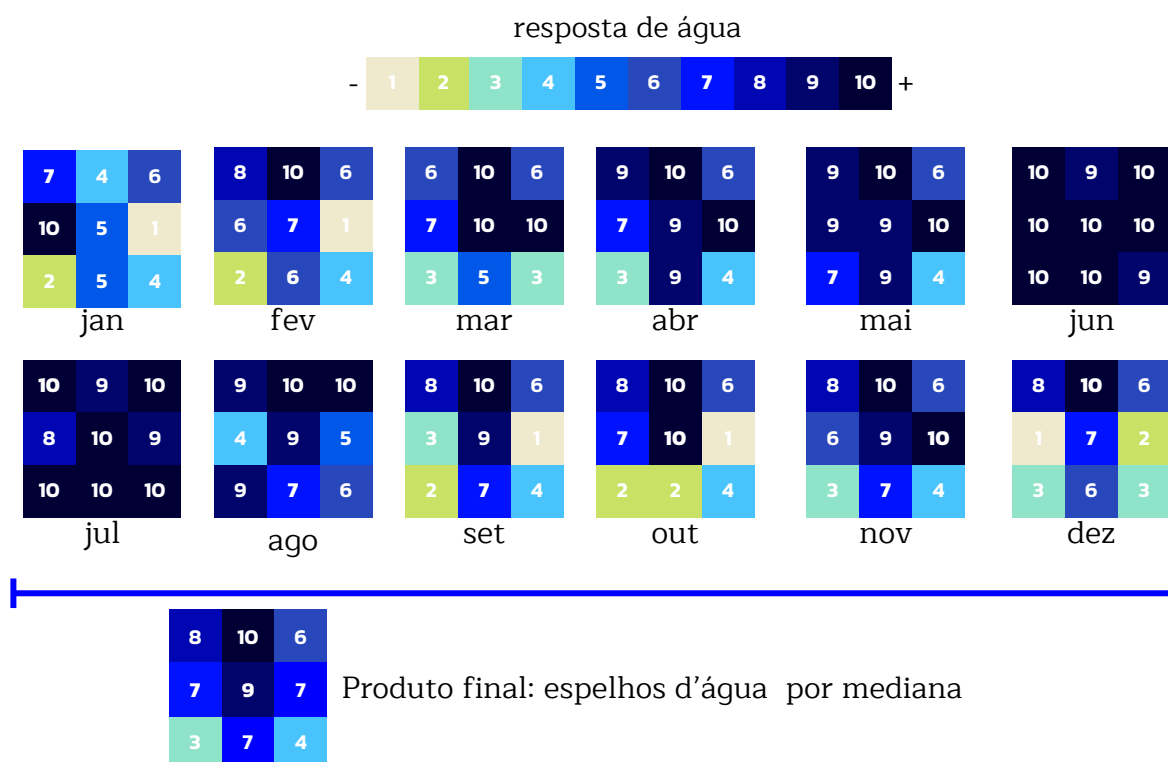


Figura 03 - Matriz mensal de resposta de água dos espelhos ao longo do ano e produto final por mediana, elaborado através do script no GEE.
Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2024).

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.

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

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_u tm_24s', 'nm_mun')`);

nome_espelho - nome do espelho se existente;

tipo_espelho - representa qual a característica do espelho

(mapa de valores: 0 [original] e 1 [Natural]);

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 (2022);

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]).

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, com o valor inicial de 6650 estabelecido com base no número de espelhos d'água identificados automaticamente no Google Earth Engine (GEE), evitando sobreposição de valores e assegurando um identificador único para cada registro na tabela.

Esse script cria uma sequência chamada **tb_espelhos_dagua_ce_fid_seq** na tabela **tb_espelhos_dagua_ce** do esquema **nurha_gestao_hidrica**. A sequência começa a partir do número 6650 e é incrementada em 1 a cada novo valor. Os valores da sequência variam de 1 a 2147483647 e são armazenados em cache.

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);
```

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_espeho_dagua_ce" através de uma fórmula detalhada anteriormente.

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.

2.5 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 2023, juntamente com suas respectivas simbologias e formulários de atributos.

Este projeto foi intitulado como "proj_espelhodagua_ce_2023" e uniformizado para a projeção 31894 (SIRGAS 2000, UTM/Zona 24S), assim como todas as camadas que o constituem.

CAMADAS

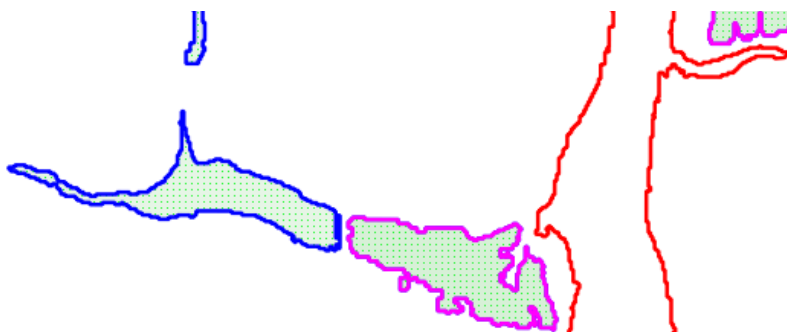
■ POSTGIS

■ Consulta ao banco

- ☐ barragem_ceara
- ☐ tb_limite_municipal_ce_ibge
- ☐ tb_espelhos-dagua_cotamax_ce
- ☐ tb_bacia_hidrografica_ce
- ☐ tb_limite_municipal_ce_ibge

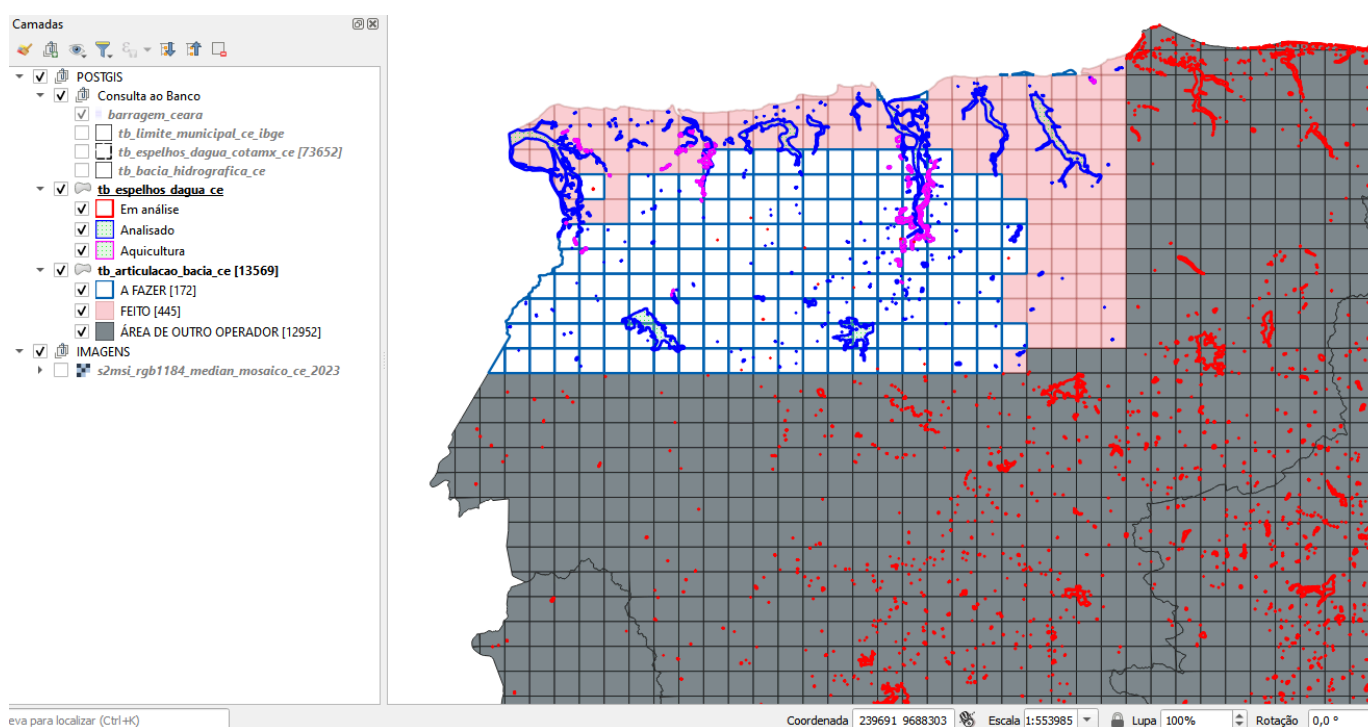
No projeto, essas camadas são de natureza consultiva e não em modo editável, ou seja, destinam-se a agregar informações aos dados dos espelhos d'água, conforme previamente descrito na especificação dos campos.

- ☒ **tb_espelhos_dagua_ce**
 - ☒ **Em análise**
Regra: "controle_analise" is true
 - ☒ **Analisado**
Regra: "controle_analise" is true
 - ☒ **Aquicultura**
Regra: "aquicultura" is true



A simbologia para os dados dos espelhos d'água foi estabelecida com base em conjuntos de regras, com o intuito de distinguir os diferentes tipos de espelhos d'água e facilitar a análise de suas particularidades. Cada regra foi associada a uma cor específica, conforme demonstrado acima.

VISUALIZAÇÃO GERAL NA TELA DO QGIS



2.6 VALIDAÇÃO DOS DADOS: PADRONIZAÇÃO DO MAPEAMENTO

Conforme previsto, a abordagem de mapeamento implementada pelo script no Google Earth Engine (GEE) não seria totalmente abrangente para identificar todos os espelhos d'água. Isso resultaria em casos de digitalização que não corresponderiam às respostas espectrais da água, enfatizando a necessidade da etapa de validação do trabalho.

Portanto, foram estabelecidas algumas diretrizes para a análise da classificação, visando garantir que a qualidade do produto não dependa exclusivamente do operador. Isso visa minimizar a interpretação visual e aumentar a consistência dos dados. Dentre as situações identificadas para padronização, destacam-se as seguintes:

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:

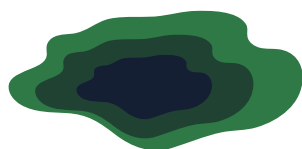
Escala do produto - 1:50.000

Escala de varredura - 1:15.000

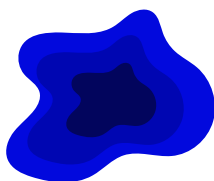
Escala de extração - 1:2.000

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:



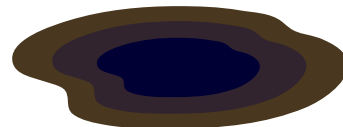
Tons de verde com azul
(macrófitas).



Tons de azul escuro



Azul ciano (água barrenta)



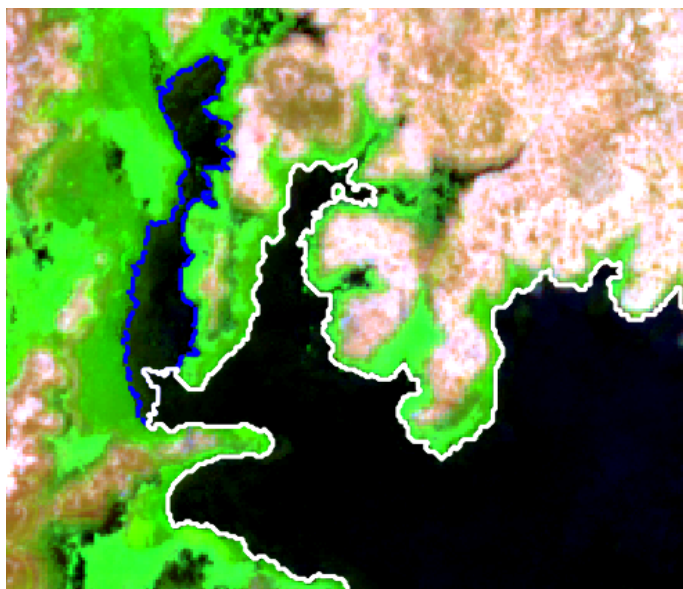
Tons de preto e marrom escuro
(espelhos com maior profundidade).

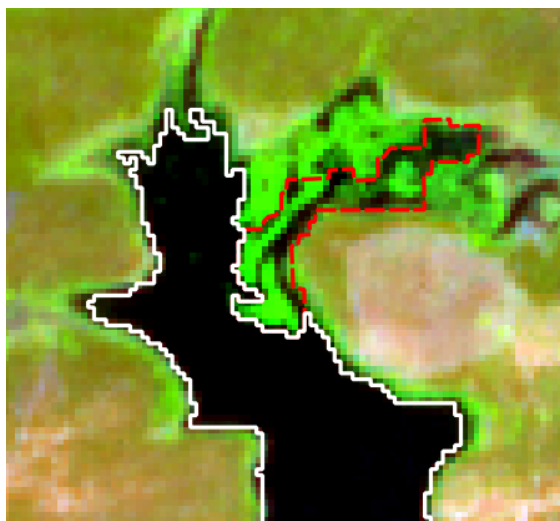
C) ÁREAS EDITÁVEIS POR FERRAMENTAS AVANÇADAS

ÁREA PARA EXPANDIR

Análise da área: áreas com comportamento espectral próximo da resposta de água, tonalidades de preto a verde escuro (indicadas pela linha tracejada azul), que não foi capturado pelo script;

Procedimento: remodelar a feição (indicada pela linha branca) para expandir as bordas (linha azul), conforme ilustrado na figura ao lado.

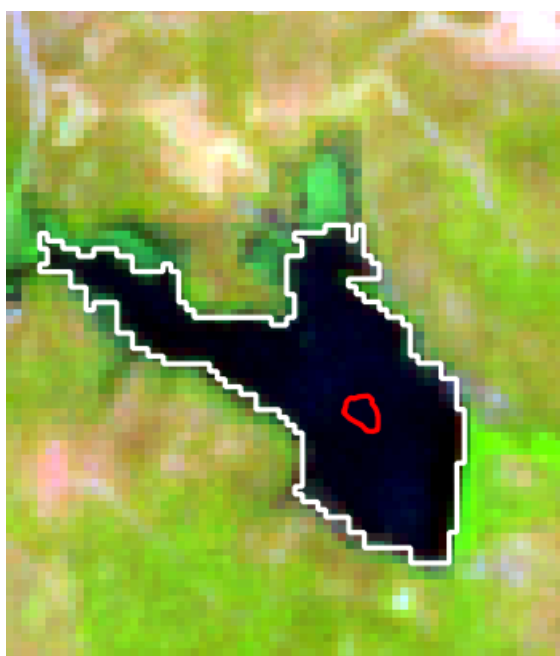




ÁREA PARA REDUZIR

Análise da área: áreas com comportamento espectral distante da resposta de água, tonalidades de verde claro e limão (indicadas pela linha tracejada vermelha), que foram capturados pelo script;

Procedimento: remodelar a feição para reduzir as bordas, eliminando a porção que não corresponde à resposta esperada para água (linha tracejada vermelha), conforme ilustrado na figura ao lado.

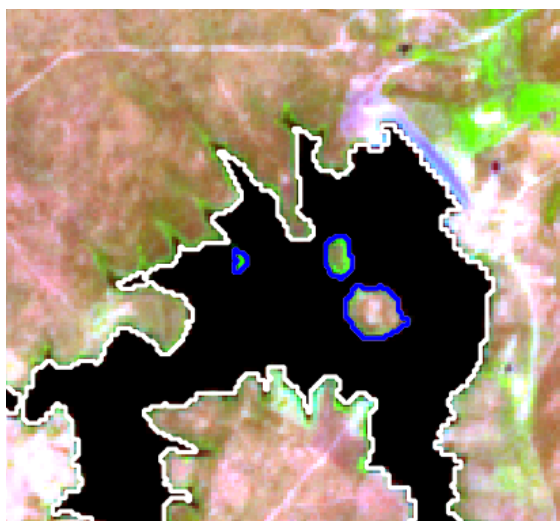


REMOVER ANÉIS

Análise da área: também pode ocorrer a situação inversa, na qual não há uma área de sedimentação dentro do polígono do espelho d'água (indicado pela linha branca), mas o script gerou um anel interno (linha vermelha), conhecido como "buraco".

Procedimento: utilizar a ferramenta avançada de edição para excluir o anel.

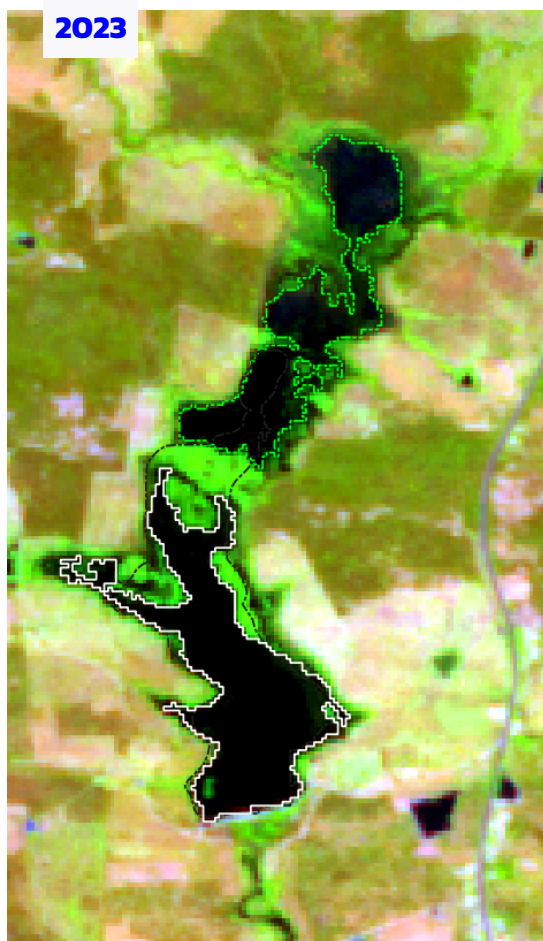
São casos mais raros de ocorrer, visto que foi aplicada a função de remoção de buracos no tratamento dos dados, mas é importante explicá-los quando necessário.



ADICIONAR ANÉIS

Análise da área: os anéis são áreas de sedimentação localizados dentro do anel externo do espelho d'água (representado em branco na figura ao lado). Portanto, essa área que não representa água deve ser removida através da criação de um anel interno (indicado pela linha azul).

Procedimento: utilizar a ferramenta avançada de edição para adicionar um anel.

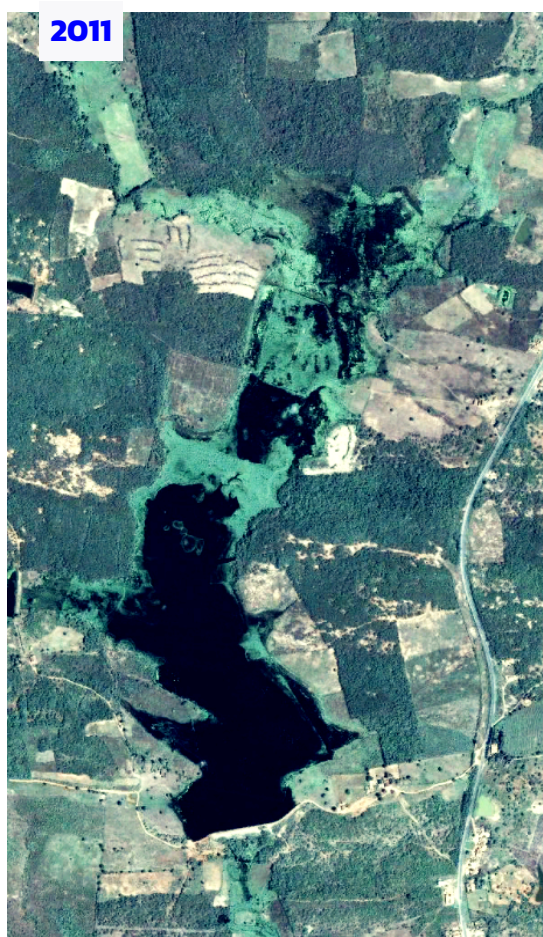


MESCLAR FEIÇÕES

Análise da área: os dados gerados de espelhos d'água são anuais, portanto sua área varia também conforme o volume de precipitação anual, sendo assim, existem espelhos que pertencem a uma mesma "área de influência", entretanto estão desconectados no ano do mapeamento, ou espelhos que tiveram sua máxima registrada pela primeira vez. Portanto, para o cálculo da área, esses espelhos desconectados precisam ser incorporados em uma única feição.

Procedimento:

- Consulta ao arquivo de espelhos d'água cota máxima para ajudar a tirar dúvidas (indicada pela linha tracejada preta na figura inferior esquerda);
- 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 as imagens anteriores no Google Earth Pro, com uma resolução melhor foi possível confirmar que a área em branco representava um espelho d'água com macrófitas na superfície, conforme ilustrado na figura abaixo.



Após a integração dos fragmentos de espelhos d'água, as áreas descontínuas pertencentes a uma mesma "área de influência" foram mescladas, consolidando-as em uma única feição. No exemplo abaixo, antes da unificação, a área apresentava uma variação que incluía uma extensão adicional em relação à sua área máxima previamente registrada, destacada pela linha tracejada verde.

D) ÁREA COM MACRÓFITAS

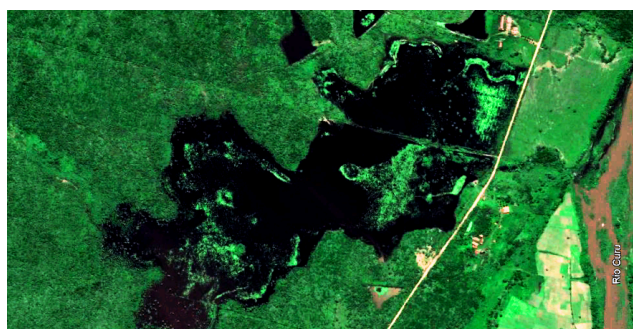
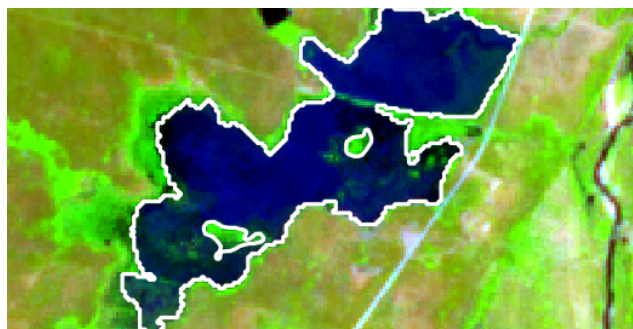
Os espelhos com alta concentração de macrófitas, demandam uma atenção especial, exigindo uma análise detalhada do ambiente circundante e das imagens anteriores disponíveis no Google Earth Pro.

ÁREA PARA MANTER

Análise da área: um caso similar ao anterior, entretanto, diferentemente, essa área pertence a um espelho d'água de porte e profundidade elevados. Portanto, podemos considerar que essa área é um espelho d'água com uma porção coberta por macrófitas.

Ao revisitar as imagens anteriores no Google Earth Pro, com uma resolução melhor, podemos confirmar que a área em branco representa um espelho d'água com macrófitas na superfície, conforme ilustrado na figura abaixo.

Procedimento: não alterar ou excluir a área, a mesma deve permanecer como está. Apenas remodelar, se necessário.



“ —

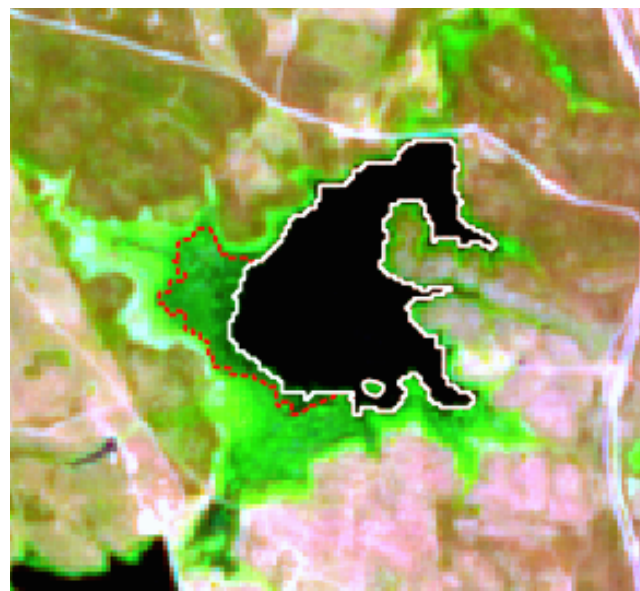
Macrófitas são plantas aquáticas que crescem em corpos d'água como lagos, rios e lagoas, caracterizadas por serem visíveis a olho nu e desempenharem um papel crucial nos ecossistemas aquáticos.

ÁREA PARA EXCLUIR

Análise da área: neste caso específico, observa-se uma área que pode ser considerada um alagadiço (destacado em vermelho) e outra com tonalidade mais escura (destacado em branco), que pode ser identificada como um espelho d'água.

Ao revisitar imagens anteriores no Google Earth Pro, com resolução mais detalhada, constatamos que a área destacada em vermelho, conforme ilustrado na figura abaixo, não corresponde a um espelho d'água, mas sim a um alagadiço com alta concentração de macrófitas.

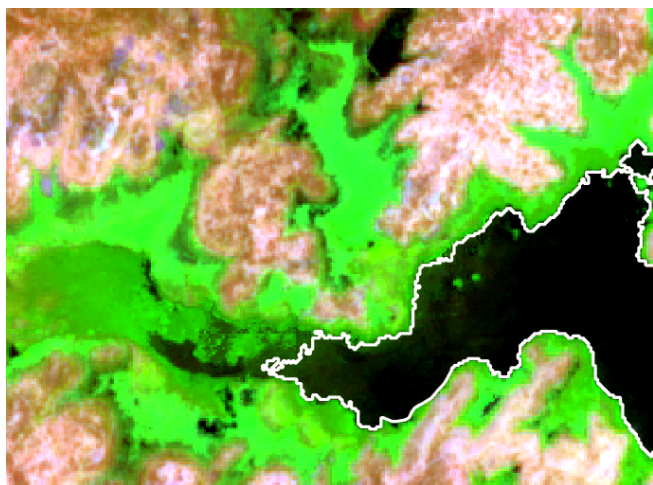
Procedimento: excluir ou remodelar apenas a feição considerada alagadiço (em vermelho).



LIMITE DA DELIMITAÇÃO

Análise da área: é importante destacar a dificuldade em definir claramente onde começa e termina a área de um espelho d'água que contém macrófitas.

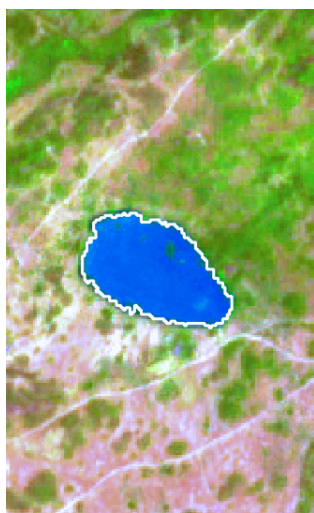
Recomendação: em situações onde essa mensuração é desafiadora, é aconselhável manter a delimitação da área conforme determinado pelo script.



E) ÁREA COM ALTA SEDIMENTAÇÃO

Análise da área: áreas com tons de azul ciano são espelhos cuja água apresenta alta sedimentação, “água barrenta”;

Recomendação: não excluir a área, apenas remodelar a borda, se necessário.



F) ÁREAS OCUPADAS COM AQUICULTURA

Análise da área: aquicultura pode ser identificada pela proximidade com rios, pela forma retangular e concentração dos tanques/viveiros, cuja coloração varia tons de azul e verde escuro.

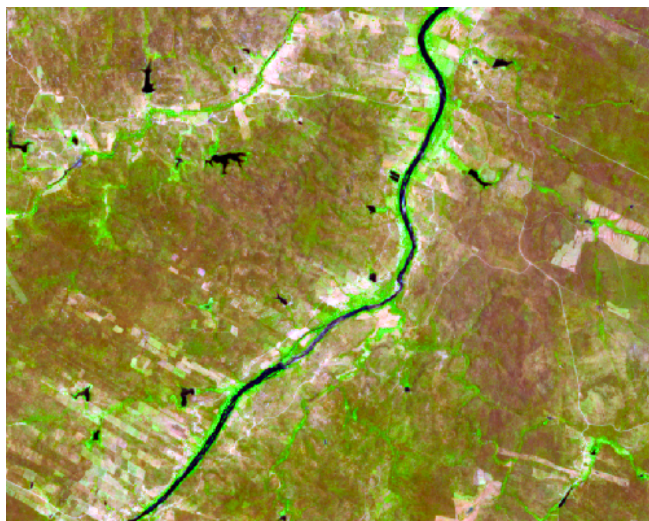
Recomendação: marcar a opção “aquicultura” na caixa de informações da feição, conforme ilustrado na figura ao lado, e ajustar conforme necessário.

Após selecionar “aquicultura”, foi adotada uma cor diferenciada dos espelhos d'água, para destacar a feição das demais, conforme descrito na seção 2.4 - Padronização do projeto.

A seguir, apresentam-se alguns exemplos de aquicultura:



G) RIOS E LAGOAS



CURSOS D'ÁGUA

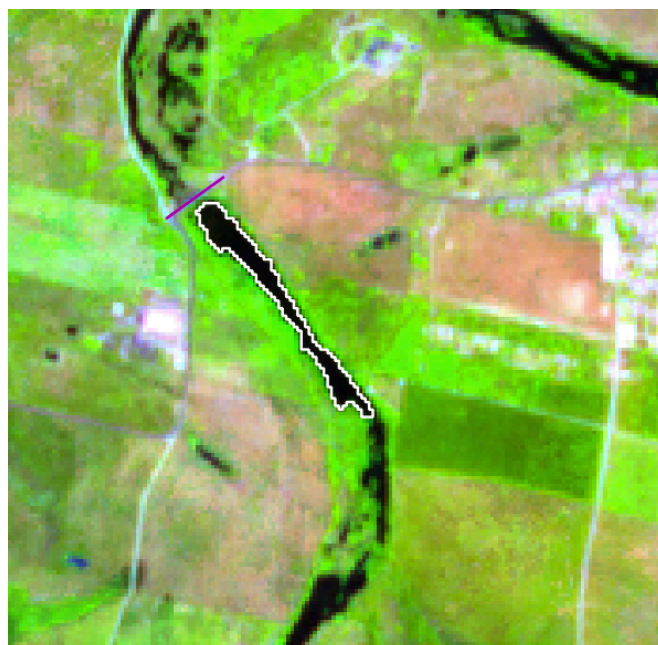
Análise da área: rios não são considerados como espelhos d'água para esse mapeamento, visto que o foco desse projeto contempla espelhos com potencial de reservatórios. A menos que se alarguem devido à presença de um barramento.

Procedimento: exclusão dos polígonos, exceto em casos excepcionais, descritos abaixo.

Exceção: pode ocorrer que cursos d'água sejam interceptados por barragens, nessas situações, recomenda-se realizar a análise da área.

Procedimento: manter apenas as áreas onde se observar um rio com alargamento do curso d'água seguido por um estreitamento, causados pela presença de um barramento. Aqueles que não apresentarem esse aumento da lâmina d'água devem ser excluídos.

Segue dois exemplos:



No primeiro (figura à esquerda), a barragem causa um leve alargamento da margem do rio, porém este não se estreita novamente; assim, essa feição deve ser excluída.

No segundo (figura à direita), o rio sofre alargamento das margens e depois estreitamento, indicando seu potencial uso para reservatório; nesse caso, recomenda-se manter a feição.

ÁREA DE INFLUÊNCIA DA FOZ

Análise da área 1: os rios não são considerados como espelhos d'água para esse mapeamento, considerando a mesma análise anterior. A exceção se aplica aos estuários que apresentarem mais de 150 m de largura na área de influência da foz.

A área de influência da foz considera a região afetada pelas oscilações da maré.

Procedimento: exclusão dos polígonos de rios que possuem menos de 150 m de largura na área de influência da foz.

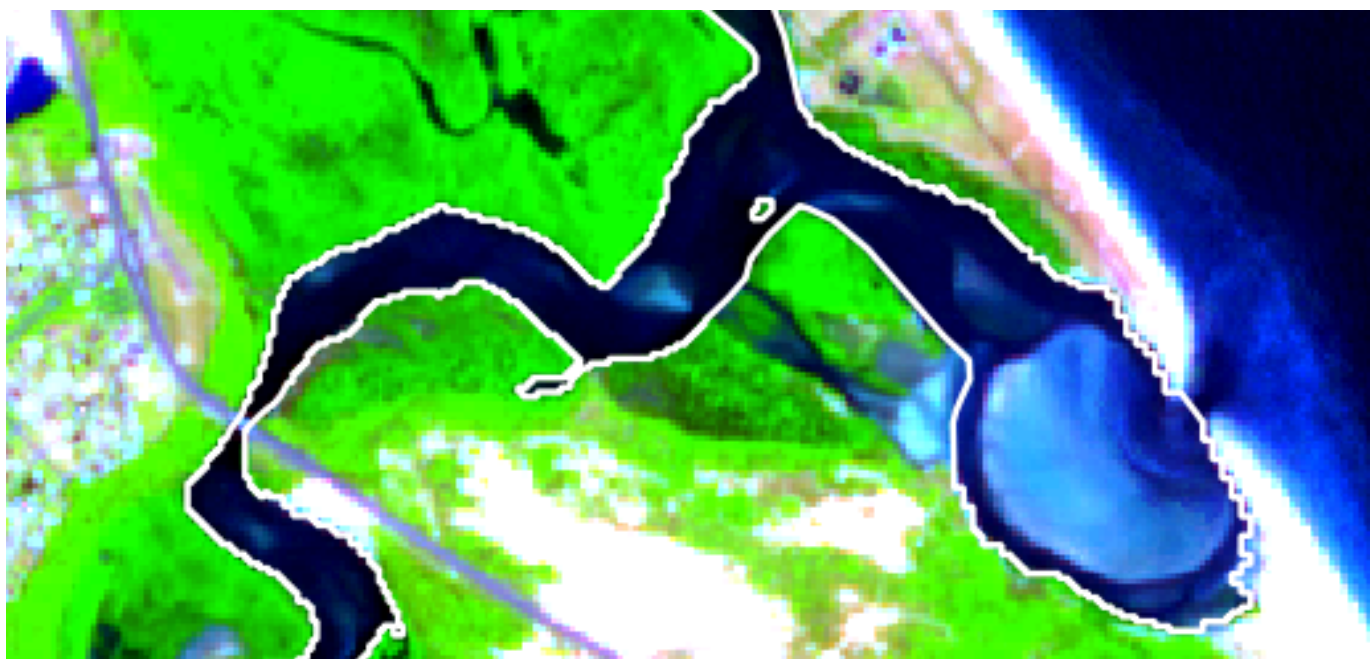


150 M DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA FOZ

Análise da área 2: este caso abrange a área de influência de uma foz, que apresenta bancos de areia com resposta espectral azulada. Isso significa que, dependendo da maré, essa área pode conter água ou não. Em contraste, os bancos de areia com coloração branca permanecem totalmente sem água, mesmo sob influência da maré.

Procedimento: se a resposta espectral for azulada, a feição não deve ser ajustada. No entanto, se for branca pura, recomenda-se remodelar ou criar um anel.

No caso da figura ao lado, não é necessário fazer ajustes.

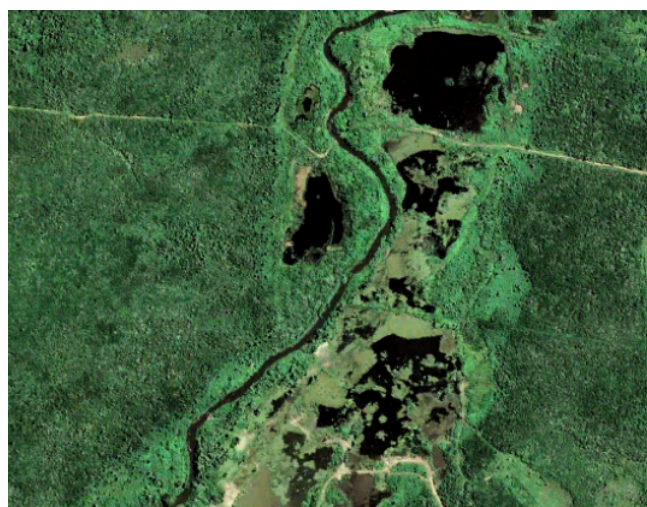
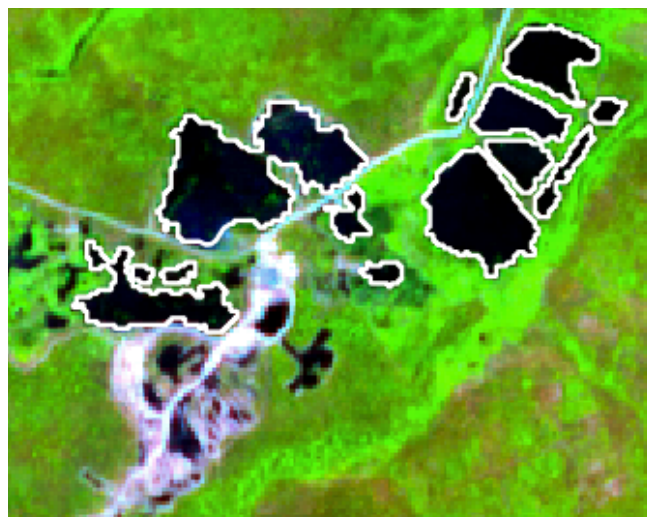
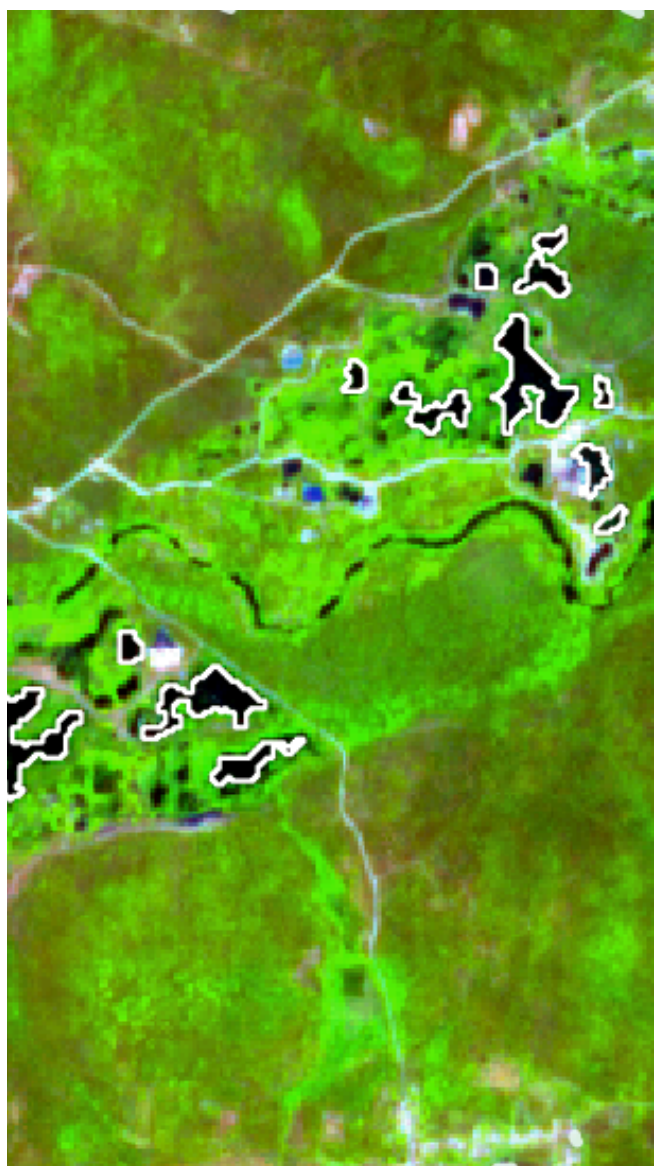


ÁREAS MARGINAIS (BAIXIOS E/ALAGADIÇOS)

Análise da área: os terrenos marginais dos rios podem formar uma espécie de enseada, que por ocasião das vazantes, a água se empoça. Essas áreas apresentam maior oscilação conforme o período chuvoso. Portanto, para remover essas áreas sazonais, faz-se necessário a análise da área. Segue dois exemplos e suas recomendações:

Primeira análise (figura abaixo): a área apresenta um relevo plano com pequenas áreas “empoadas”, analisando as imagens anteriores no Google Earth Pro, com uma resolução melhor, podemos confirmar que as áreas em branco são sazonais e com altitudes que não variam mais que 1 metros.

Procedimento: exclusão dessas feições.



Segunda análise (figura acima): a área apresenta um relevo um pouco mais acidentado com áreas “empoadas” mais expressivas. Foi aplicado o mesmo método de revistar as imagens anteriores no Google Earth Pro, para confirmar que as áreas em branco não são sazonais e que estão sobre áreas com altitudes que variam mais que 3 metros. Portanto, possuem maior capacidade de reservatório.

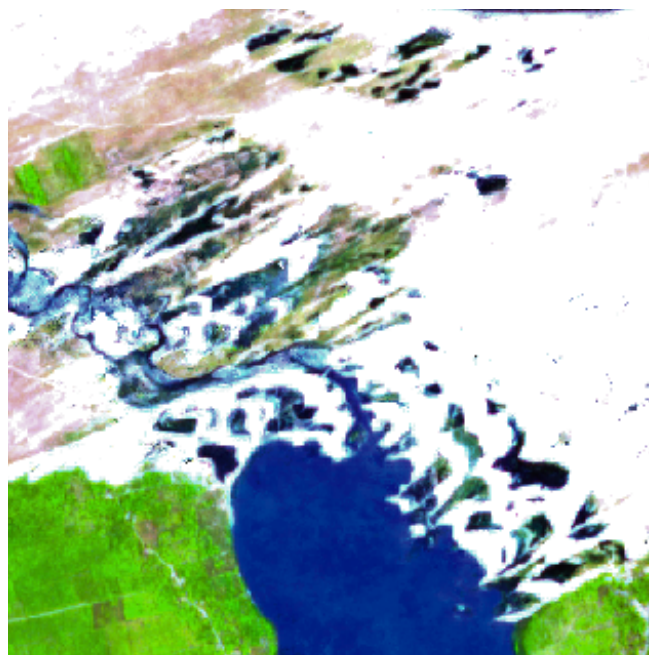
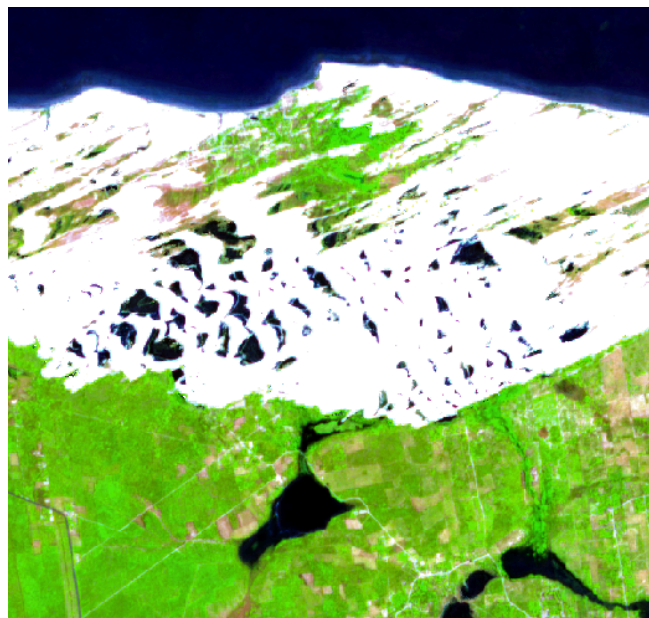
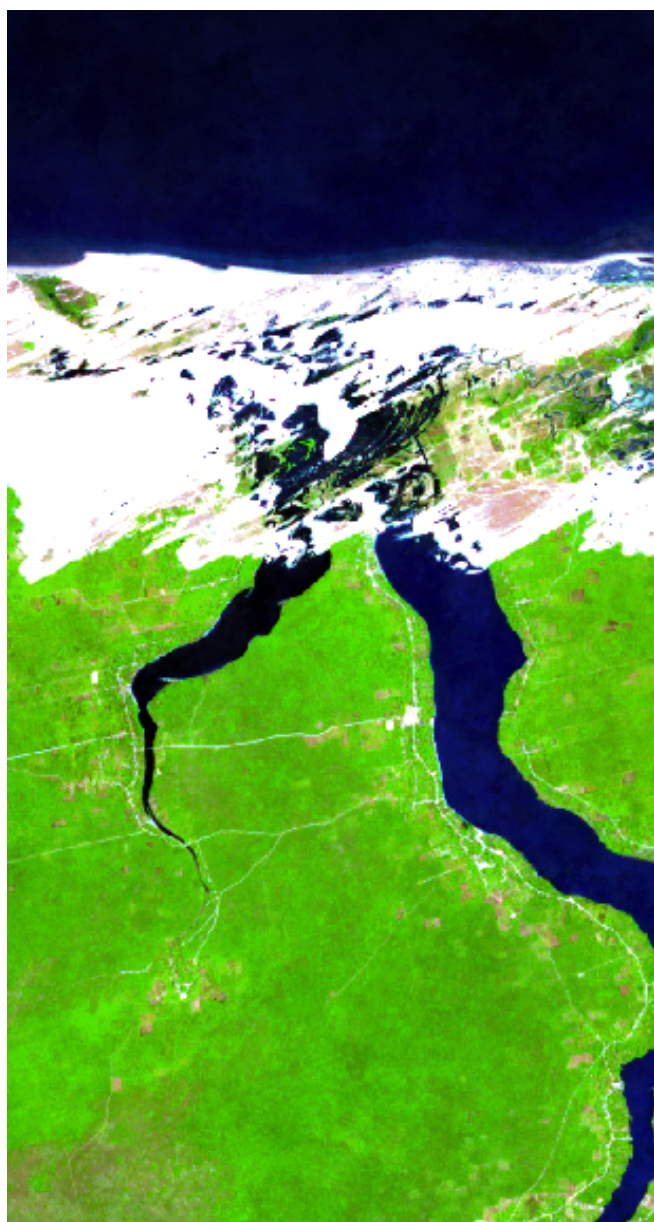
Procedimento: manter essas feições, apenas remodelar, se necessário.

LAGOAS INTRADUNARES

Análise da área: as lagoas intradunares são zonas alagadiças que formam lagoas entre as dunas, cujo contorno sofre alterações ao longo dos meses e dos anos, devido à sua localização próxima à região costeira e entre dunas móveis.

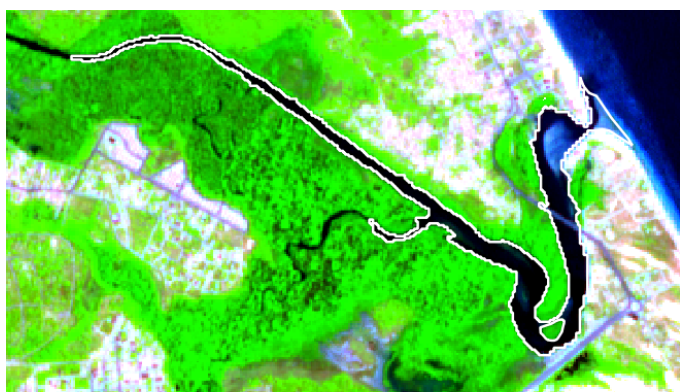
Primeira análise: devido à alta quantidade de pequenas lagoas intradunares, foi necessário estabelecer um critério de corte. Portanto, definiu-se que lagoas com mais de 5 hectares devem ser verificadas.

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



Segunda análise: se a lagoa atender ao critério anterior, deve-se verificar a perenidade da lagoa utilizando imagens Google Earth Pro.

Procedimento: se for uma lagoa que apresenta perenidade na série histórica, recomenda-se mantê-la. Caso contrário, deve ser excluída.



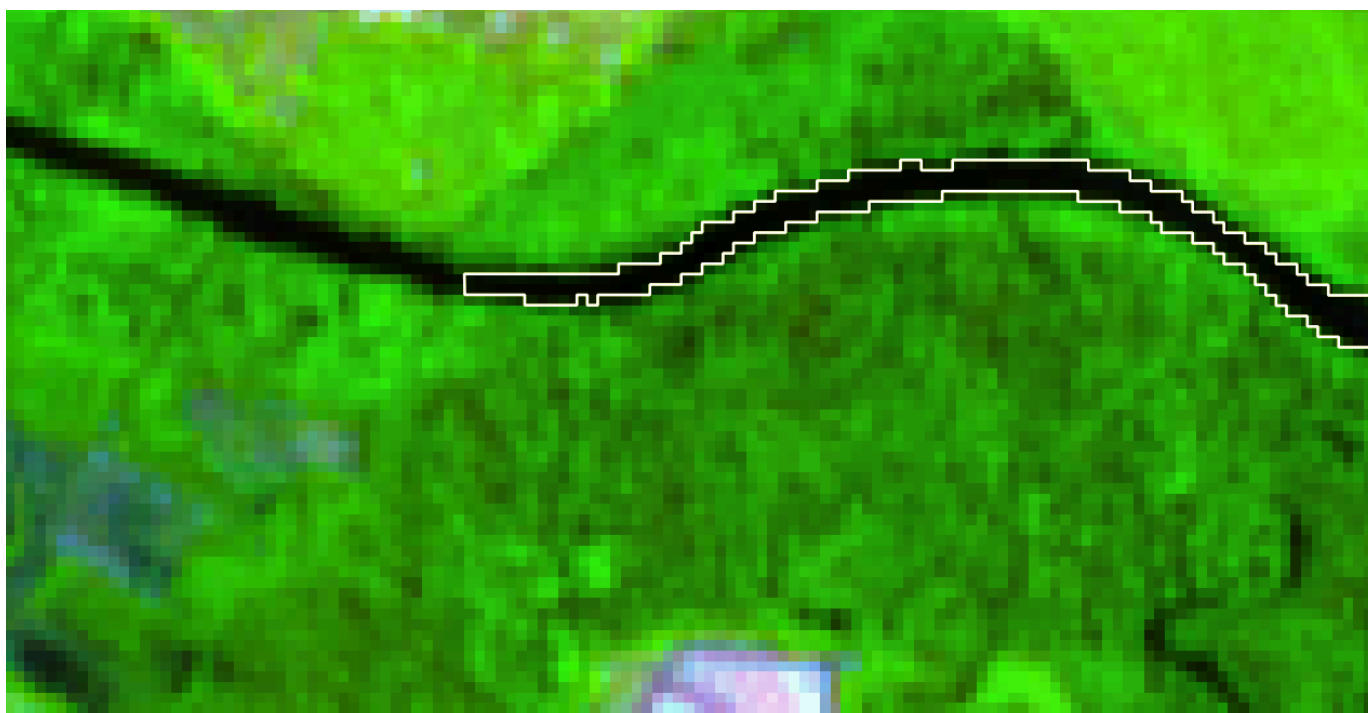
LIMITE DA DELIMITAÇÃO

Análise da área: os rios, em particular, apresentam variações significativas em suas margens, para facilitar a interpretação visual desses cursos d'água, foi necessário estabelecer um ponto de corte no leito do rio para determinar até onde o mapeamento deve ser realizado e onde ele deve ser finalizado.

Procedimento: o ponto de corte das feições deve ocorrer quando a largura do leito for menor que 20 metros, equivalente a 2 pixels. Feições que apresentem largura inferior a esse limite devem ser ajustadas e finalizadas de acordo com este critério. Exceto às áreas onde o algoritmo já identificar naturalmente um ponto de redução na largura das margens do curso d'água.

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

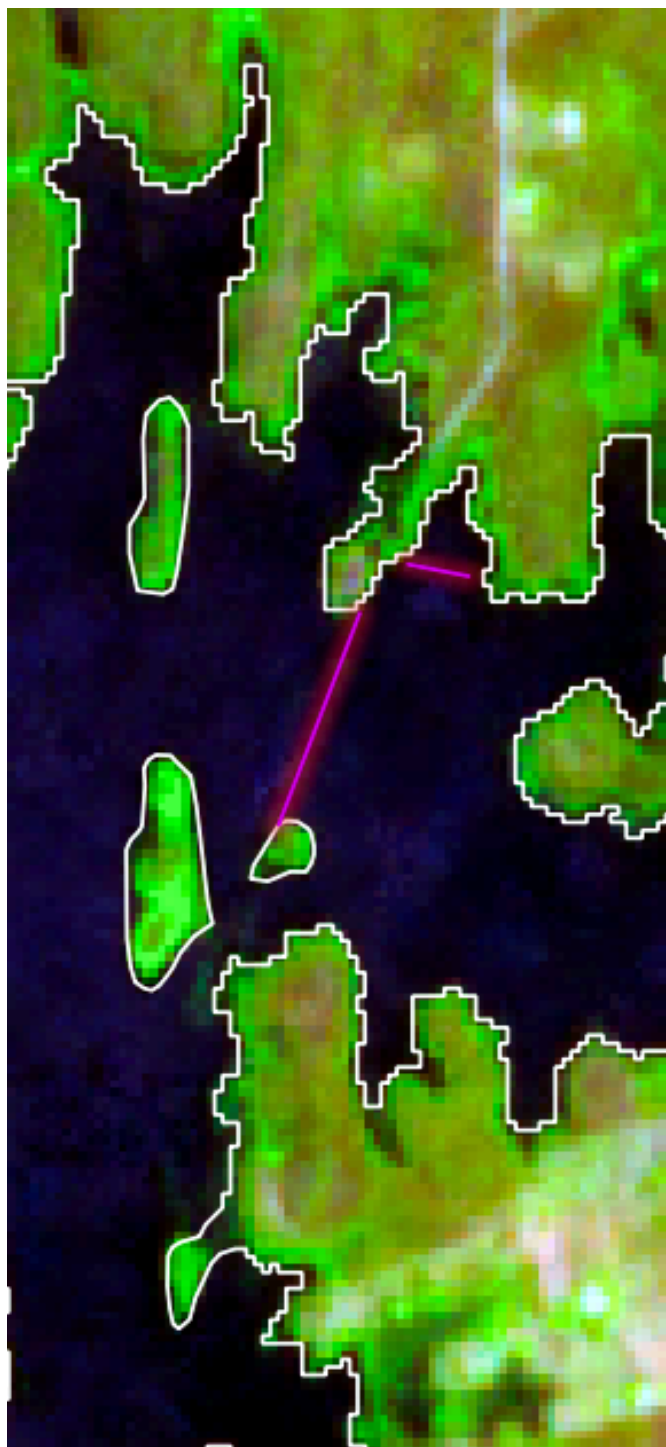
20 M DE LARGURA MÍNIMA ENTRE AS MARGENS



H) RELAÇÃO BARRAGEM E ESPELHOS

Análise da área 1: em alguns casos, o espelho d'água cobre totalmente a barragem, devido à diferença entre o período em que o barramento foi mapeado e o estado atual do reservatório.

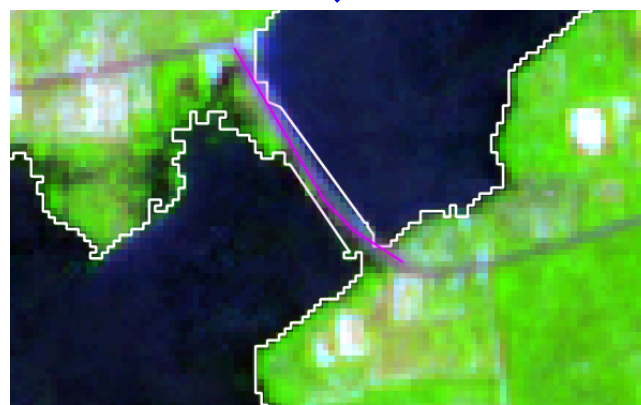
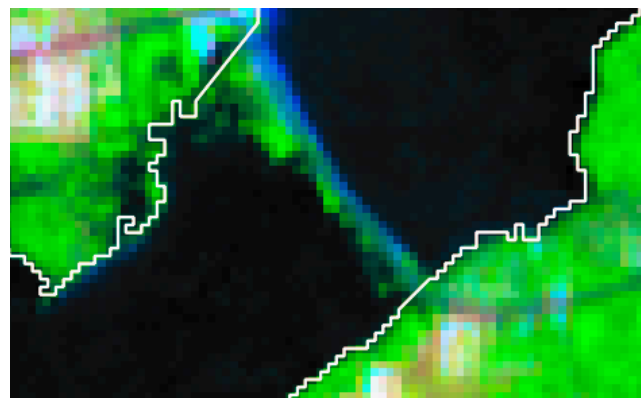
Procedimento: não remodelar ou dividir a feição, a mesma deve permanecer como está.



“ — Os dados de barramentos são utilizados para calibrar a resposta espectral de espelhos d'água. No entanto, é importante destacar que existe uma diferença nas datas de mapeamento entre os dois conjuntos de dados, sendo que os dados de barramentos foram gerados no ano de 2021.

Análise da área 2 : em outros casos, observamos a presença de uma passagem desprovida de água no espelho d'água, por causa justamente da presença de um barramento (em rosa), conforme a figura da direita. Isso indica a necessidade de distinguir e individualizar os reservatórios.

Procedimento: dividir a feição em duas ou mais partes conforme a imagem e o barramento.



2.7 METADADOS

Título:

Espelhos d'água do Ceará - 2023

Descrição:

O mapeamento dos espelhos d'água de 0,2 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: 2023

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 2023, 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)

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.

Portanto foi aplicada a seguinte regra aos espelhos:

CASE

WHEN "area_ha" >0.25 and "area_ha" <=5 **THEN** 2

WHEN "area_ha" >5 and "area_ha" <=20 **THEN** 2

WHEN "area_ha" >20 and "area_ha" <=100 **THEN** 3

WHEN "area_ha" >100 **THEN** 4

END

No entanto, é importante salientar que, dependendo das condições climáticas locais (ano seco ou ano chuvoso), pode ocorrer uma redução ou acréscimo da massa líquida 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, 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.

Bacias Hidrográficas	Quantidade de espelhos mapeados por intervalos de área (ha)				
	0,3 - 5	5 - 20	20 - 100	> 100	Total
Metropolitana	4.284	535	148	43	5.010
Curu	1.760	201	51	12	2.024
Litoral	1.634	242	84	20	1.980
Coreaú	864	129	43	27	1.063
Acaraú	3.049	345	80	15	3.489
Serra da Ibiapaba	60	3	1	1	65
Sertões de Crateús	1.785	233	51	9	2.078
Banabuiú	7.133	662	138	18	7.951
Baixo Jaguaribe	2.231	309	83	17	2.640
Médio Jaguaribe	4.634	466	90	10	5.200
Alto Jaguaribe	6.251	365	74	13	6.703
Salgado	2.853	160	20	13	3.046
Total mapeado	36.538	3.650	863	198	41.249

Tabela 01 – Quantificação dos espelhos d'água nas bacias hidrográficas mapeadas, categorizados por classes de área (hectares), com ano base em 2023.

Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2024)

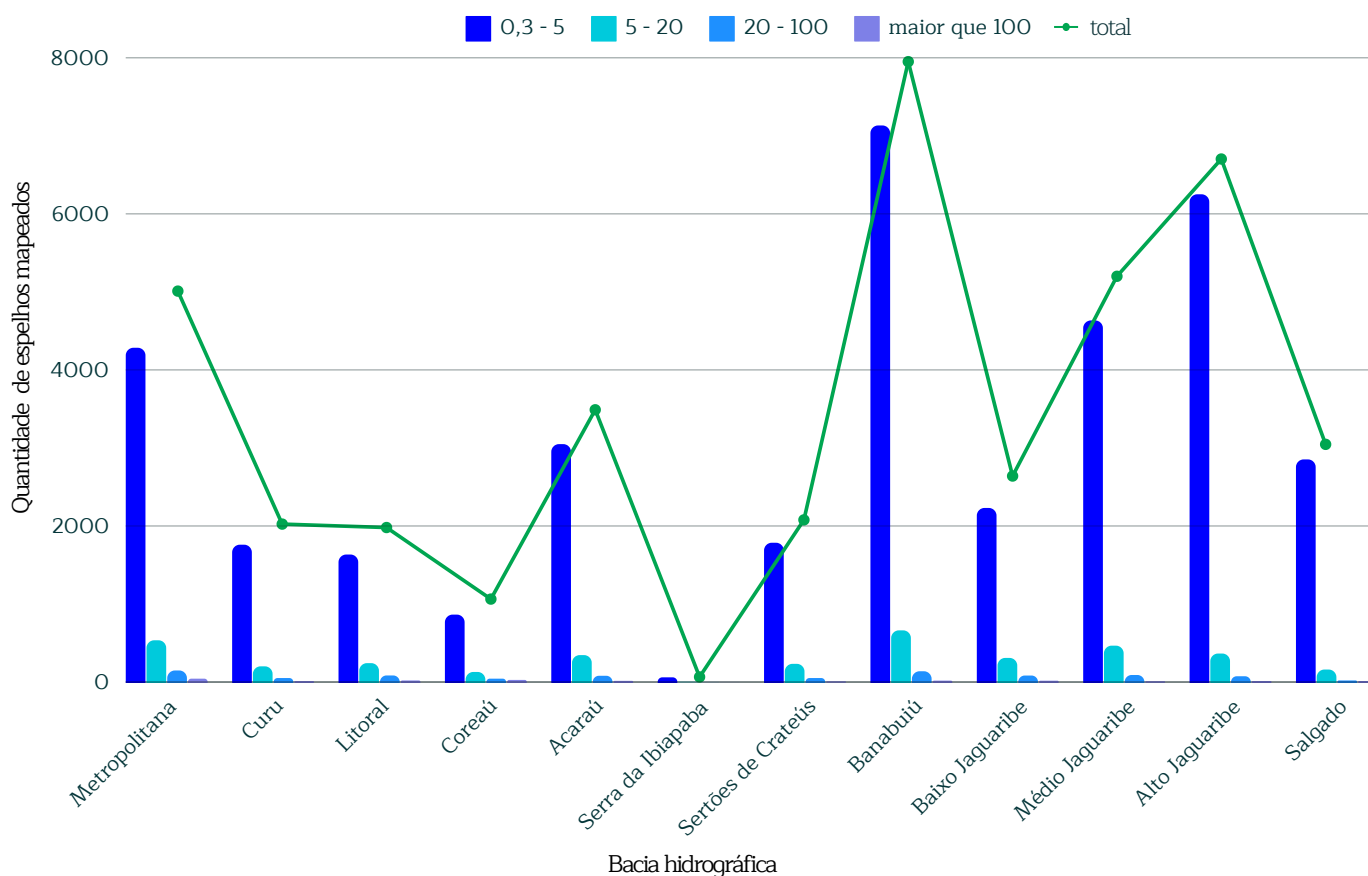


Gráfico 01 – Quantificação dos espelhos d'água nas bacias hidrográficas mapeadas, categorizados por classes de área (hectares), com ano base em 2023. Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2024)

A análise da distribuição espacial dos espelhos d'água mapeados em 2023 no estado do Ceará, considerando áreas iguais ou superiores a 0,3 hectares, revelou resultados significativos. O levantamento identificou uma área total de 226 mil hectares, distribuída em aproximadamente 41 mil espelhos d'água, resultando em uma média de 5,5 hectares por reservatório. Desse total, a maior parte, equivalente a 88,58% (36.538 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 7.951 unidades, o que representa 19% 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 2023, além dos açudes Fogareiro e Pedras Brancas, com 1,6 mil e 1,8 mil hectares, respectivamente.

Seguida da bacia do Alto Jaguaribe que apresentou 6.703 espelhos d'água, correspondendo a 16% do total. Esta região é notável por abrigar o Açude Orós, cuja área foi estimada em aproximadamente 13 mil hectares em 2023. Por sua vez, a bacia do Médio Jaguaribe também merece destaque, especialmente pela presença do Açude Castanhão, um dos maiores reservatórios estaduais, com uma área de 12 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.

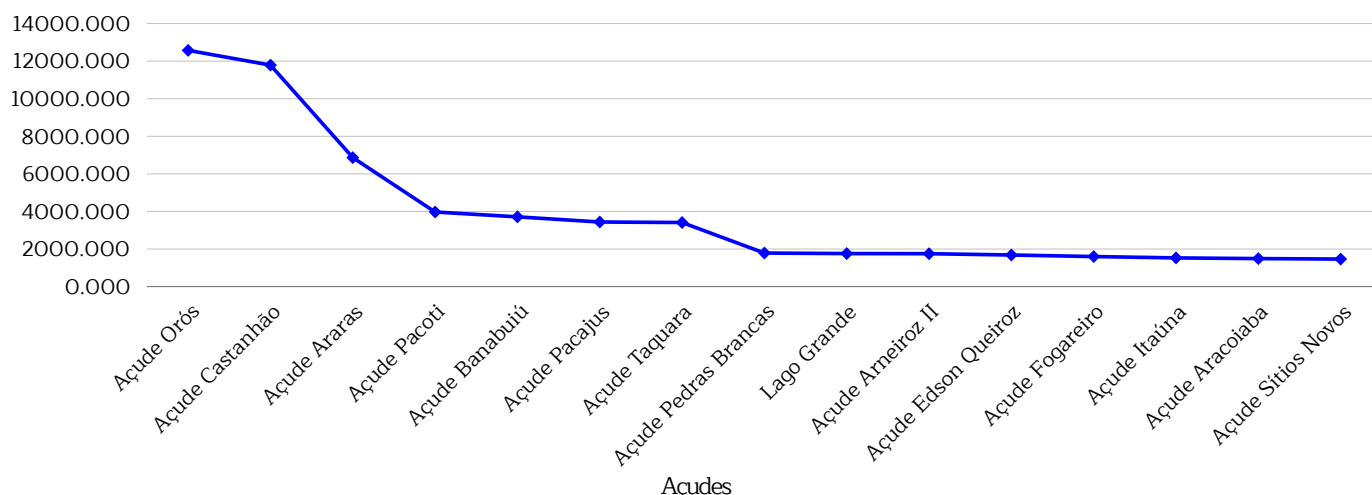


Gráfico 02- Quantificação das áreas dos principais açudes do Ceará, organizadas em ordem decrescente, com ano base em 2023.
Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2024)

Ao analisar os açudes com maior representação territorial, como destacado na figura acima, observa-se uma redução significativa na área dos reservatórios 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. A partir do Açude Banabuiú, os valores de área caem progressivamente.

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.

SITUAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS EM 2023

41 mil

Espelhos mapeados

1,5%

Cobertura territorial dos espelhos d'água em 2023, no estado do Ceará

89%

São espelhos inferiores à 5 ha

3.1 ESPELHOS D'ÁGUA MAPEADOS EM 2023, POR BACIAS HIDROGRÁFICAS

“O mapeamento dos espelhos d'água identificou uma área total de **226 mil hectares**, distribuída em cerca de **41 mil espelhos d'água**, resultando em uma média de 5,5 hectares por reservatório.

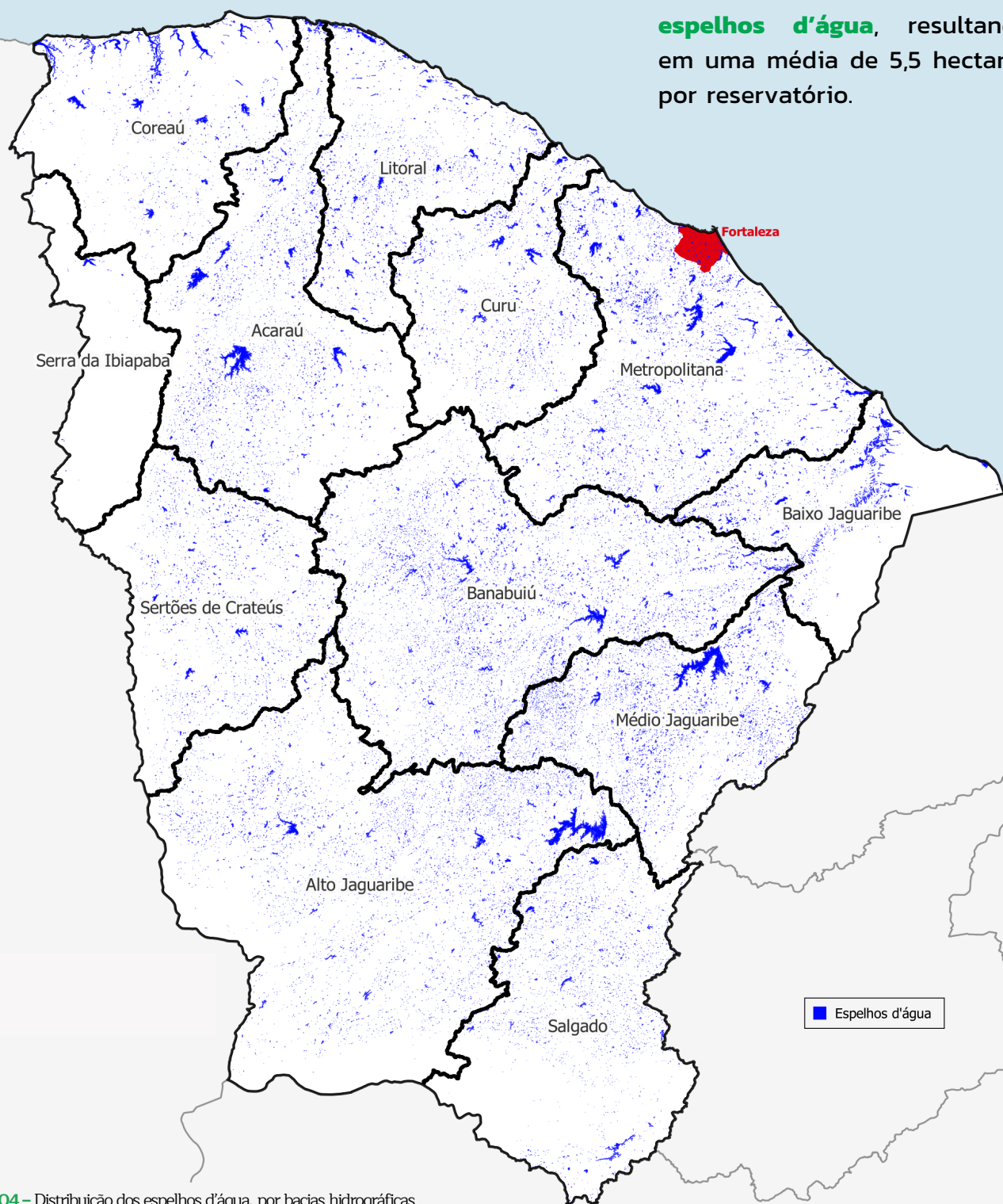


Figura 04 – Distribuição dos espelhos d'água, por bacias hidrográficas no estado do Ceará, no ano de referência de 2023.

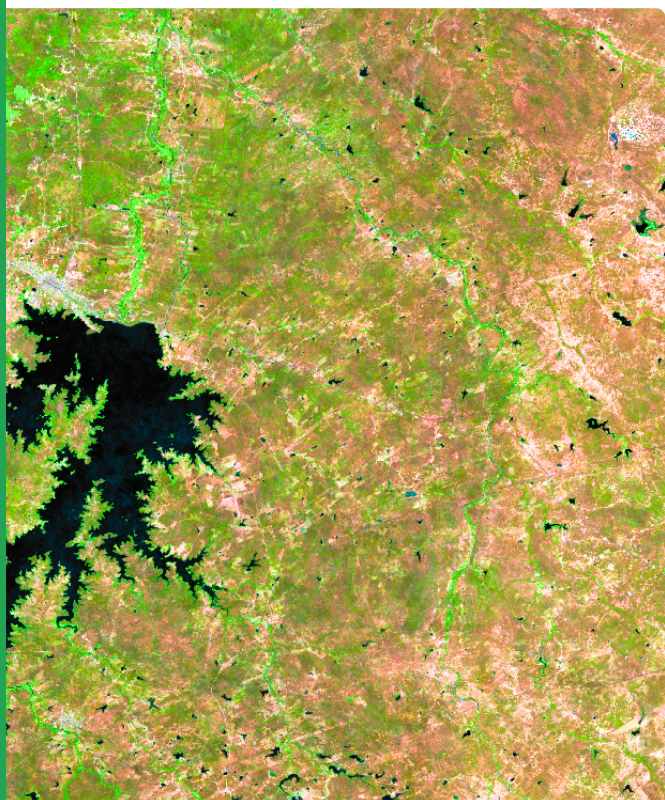
Elaboração: Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEPEM, 2024)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de dados e técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento levaram à elaboração deste estudo que mostra o comportamento da açudagem no estado do Ceará a partir do mapeamento das suas bacias hidrográficas para o ano de 2022, 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 aqüicultura 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);

