

Metodologia para Seleção de Nascentes para Revitalização em Bacias Hidrográficas

Methodology for the Selection of Springs for Revitalization in Watersheds

Silvio Braz de Sousa¹ 

Daniel Carlos Alves Santos² 

Rodrigo de Freitas Amorim³ 

Palavras-chave

Recuperação de nascentes
Recursos Hídricos
Geotecnologias
Análise Multicritério
Bacias Hidrográficas

Resumo

A degradação de nascentes compromete a segurança hídrica, especialmente em regiões estratégicas como a zona de transição entre a Mata Atlântica e a Caatinga no Nordeste brasileiro. O objetivo dessa pesquisa é apresentar uma metodologia de priorização de nascentes para recuperação em quatro bacias hidrográficas entre os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba (Traíri, Jacu, Curimataú e Mamanguape). Para isso, utilizou-se de uma abordagem cartográfica, valendo-se de dados geoespaciais de múltiplas fontes, técnicas de geoprocessamento, incluindo processamento digital de imagens (PDI), bem como uma Análise de Decisão Multicritério, sendo proposto o Índice de Priorização de Recuperação (IPR), considerando as condições de acesso, sensibilidade ambiental, estado de conservação e contexto fundiário-social das nascentes. De um total de 696 nascentes, foram selecionadas 511 em que há forte presença de áreas de produção agropecuária e baixo Índice de Segurança Hídrica (ISH). Os resultados indicam que a maioria das nascentes está submetida a pressões antrópicas, sobretudo pela expansão agropecuária e pela redução da cobertura vegetal, 135 nascentes (26,4%) foram classificadas como de alta prioridade para recuperação, concentradas principalmente em áreas de intensa pressão antrópica. A metodologia se mostrou uma ferramenta eficaz e replicável para subsidiar políticas públicas e programas de restauração de nascentes, visando fortalecer a resiliência hídrica e o desenvolvimento sustentável dos territórios.

Keywords

Spring Restoration
Water Resources
Geotechnologies
Multicriteria Analysis
Watersheds

Abstract

The degradation of springs compromises water security, particularly in strategic regions such as the transition zone between the Atlantic Forest and the Caatinga in northeastern Brazil. This study aims to present a methodology for prioritizing springs for restoration in four river basins located between the states of Rio Grande do Norte and Paraíba (Traíri, Jacu, Curimataú, and Mamanguape). To achieve this, a cartographic approach was adopted using geospatial data from multiple sources, geoprocessing techniques, including Digital Image Processing (DIP), and a Multicriteria Decision Analysis (MCDA). A Restoration Priority Index (RPI) was proposed, considering accessibility, environmental sensitivity, conservation status, and the land tenure and social context of the springs. Out of a total of 696 springs, 511 were selected due to the strong presence of agricultural land use and a low Water Security Index (WSI). The results indicate that most springs are under significant anthropogenic pressure, primarily driven by agricultural expansion and the reduction of native vegetation cover. A total of 135 springs (26.4%) were classified as high priority for restoration, being concentrated mainly in areas subject to intense human pressure. The proposed methodology proved to be an effective and replicable tool for supporting public policies and spring restoration programs aimed at strengthening water resilience and promoting sustainable territorial development.

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, RN, Brasil. silvio.braz@ufrn.edu.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, RN, Brasil. daniel.santos.702@ufrn.edu.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, RN, Brasil. rodrigo.freitas@ufrn.edu.br

INTRODUÇÃO

O debate acerca das questões ambientais no Brasil tem sido intenso nos últimos 20 anos, marcado pelo fortalecimento do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), órgão criado em 1981, e intenso debate público que resultou em 2012 em um novo pacto social para as florestas brasileiras, conhecido como “Novo” Código Florestal, instituído pela Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012).

Nos últimos cinco anos, as discussões sobre aquecimento global foram sendo substituídas por uma agenda que considera as Mudanças Climáticas, e o Brasil, um país tropical de dimensões continentais, tem passado por acontecimentos que aquecem essa temática, tais como as enchentes que ocorreram em maio de 2024 no Rio Grande do Sul, afetando 475 municípios e 2.390.556 pessoas, resultando em 172 óbitos, 42 desaparecidos, e retirando de suas casas 616,8 mil pessoas de acordo com a defesa civil estadual (RIO GRANDE DO SUL, 2024). Ao mesmo tempo em que o Rio Grande do Sul passava por essa tragédia, no Congresso Nacional, estava sendo debatida a Proposta de Emenda à Constituição (PEC) que permitia a venda de imóveis em áreas costeiras (terrenos de marinha), o que é visto como crítico na perspectiva ambiental, principalmente por colocar em risco áreas de mangues e restingas, bem como, promover a intensificação de problemas socioambientais que resultam do aumento do nível do mar.

Embora os problemas ambientais no Brasil tenham características das mais diversas naturezas, a questão hídrica está sempre relacionada, seja por meio de eventos extremos, com alta precipitação e impactos urbanos de alta magnitude e significância, tais como as enchentes, até condições como a falta de recursos hídricos, com estiagens e secas severas, que impactam a população, a dessedentação de animais e atividades econômicas, como a agricultura e a indústria. Neste sentido, a bacia hidrográfica, se enquadra como unidade ideal de planejamento ambiental, tendo sido adotada pela comunidade científica, instituições de proteção ao meio ambiente, e pela legislação brasileira (Botelho, 2007; Brasil, 1997; Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2011).

Nessa perspectiva, a revitalização de bacias hidrográficas, incluindo as nascentes perenes e intermitentes, têm se configurado como ótimo recurso para disciplinar o escoamento superficial, evitar processos erosivos, combater assoreamento dos cursos d'água, manter o fluxo de água no sistema, prevenir enchentes e por

fim, permitir o desenvolvimento pleno de atividades econômicas, tais como a agricultura, pecuária e a indústria.

A presente pesquisa, adota as Bacias Hidrográficas localizadas no Nordeste brasileiro, entre os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, devido seu caráter estratégico para o abastecimento urbano e desenvolvimento agropecuário. Essas bacias estão na zona de transição entre o Bioma Mata Atlântica e a Caatinga, caracterizada por uma diversidade de formas de uso e cobertura da terra, as quais refletem a sua variabilidade ambiental. Especificamente, têm-se como área de estudo as Bacias Hidrográficas dos Rios: Traíri - BHRT (RN), Jacu - BHRJ (RN e PB), Curimataú - BHRC (PB) e Mamanguape - BHRM (PB).

Tais bacias hidrográficas passam por intensa ocupação e exploração desde o século XVIII, fazendo com que grande parte dos cursos d'água sofram com a remoção da cobertura vegetal e a destruição de nascentes e áreas úmidas. Neste sentido, uma metodologia para identificação, e classificação de prioridade para recuperação, é fundamental para a melhor gestão dos recursos hídricos da área, e certamente pode contribuir com a qualidade de vida das populações, com a prática de atividades econômicas, e com a sustentabilidade e qualidade dos serviços de abastecimento público, além dos retornos ambientais que ocorrem no formato de serviços ecossistêmicos.

Assim, o presente artigo tem como objetivo apresentar uma proposta metodológica para identificação e classificação de prioridade de nascentes para recuperação. Quanto aos objetivos específicos têm-se: 1) Definir e construir um banco de dados capaz de permitir a identificação e análise da situação ambiental de nascentes em escala de bacias hidrográficas; 2) Elaborar uma classificação para definir nascentes prioritárias para recuperação, baseando-se em variáveis que permitam uma boa relação custo/oportunidade com o seu nível de degradação; 3) Apresentar resultados da aplicação da metodologia de identificação e escolha, contextualizando a situação para bacias hidrográficas na transição entre Mata Atlântica e Caatinga.

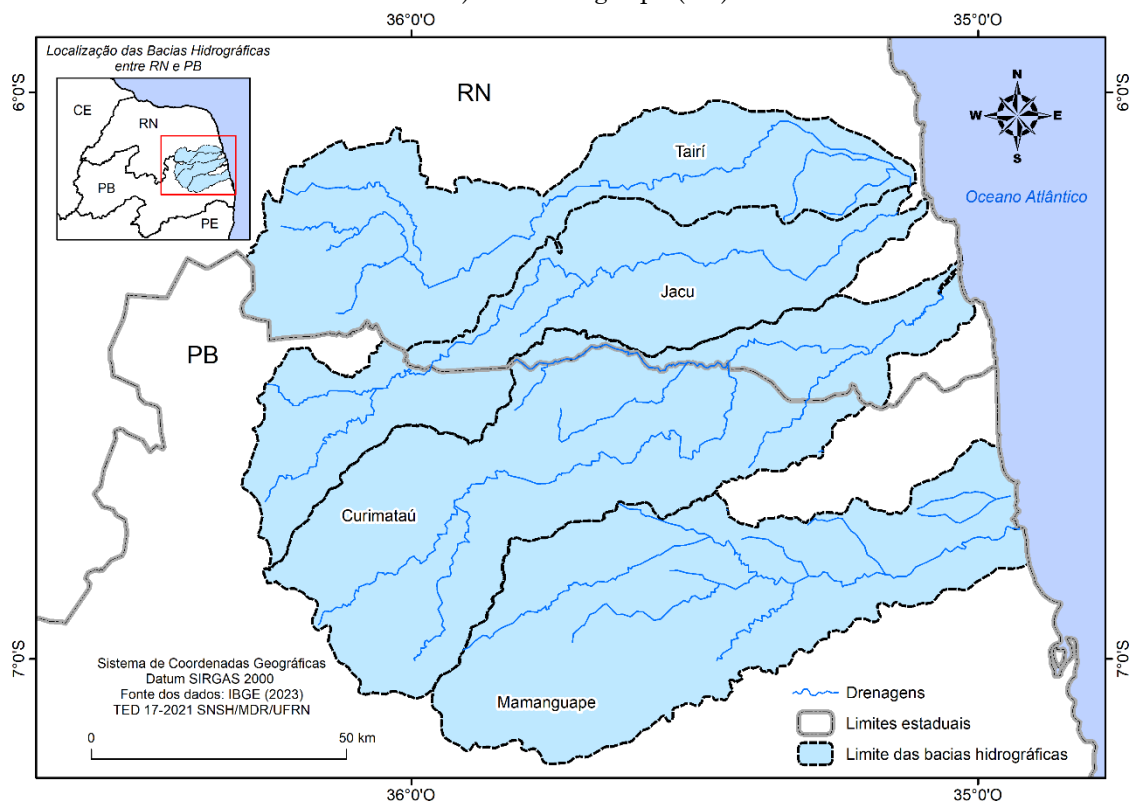
ÁREA DE ESTUDO

As bacias hidrográficas dos rios Traíri (RN), Jacu (RN e PB), Curimataú (RN e PB) e Mamanguape (PB) ocupam uma área aproximada de 13.263,2 km² (Figura 1), e se estendem por 92 municípios entre os estados do

Rio Grande do Norte e da Paraíba. No que diz respeito a população, as quatro bacias hidrográficas abrigavam 1.034.366 habitantes em 2022 (IBGE, 2024a), tendo como principais cidades, São José do Mipibu, Canguaretama, Santa Cruz, Nova Cruz, Goianinha, Monte

Alegre no RN, e na PB, são representativos os municípios de Guarabira, Esperança, Lagoa Seca, Solânea, Alagoa Grande, Areia, Rio Tinto e Bananeiras, os quais possuem juntos 437.973 habitantes, aproximadamente 42% da população total das bacias hidrográficas.

Figura 1 – Localização das bacias hidrográficas dos rios Trairi (RN), Jacu (RN e PB), Curimataú (RN e PB) e Mamanguape (PB)



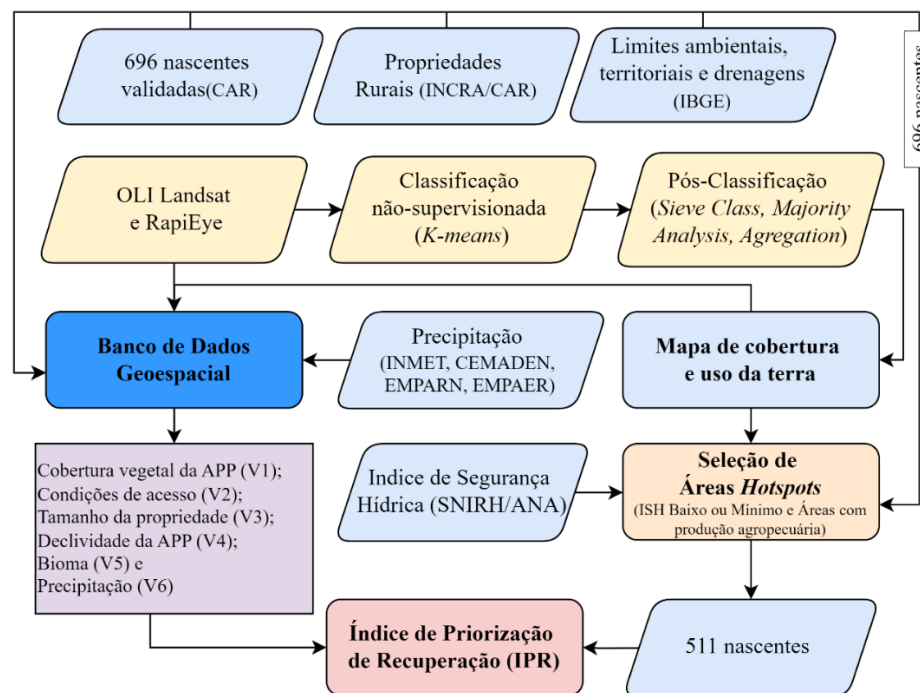
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Essa área possui uma dinâmica social e econômica relevante para a região, tais como, montadora de carros (Goianinha), Cachaçarias (Areia e proximidades), Produção canavieira (vários municípios costeiros, com destaque para Canguaretama, Areia, Alagoa Grande) e usinas de produção de etanol (Arês e Mamanguape). Portanto, são bacias hidrográficas estratégicas para o desenvolvimento econômico e social dos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este artigo teve como suporte a utilização de dados secundários (estatísticos e censitários); dados geospaciais oficiais coletados em diversos órgãos públicos; e a produção autoral de produtos cartográficos em escalas compatíveis com os objetivos do trabalho. Para todos os dados trabalhados no artigo, foi adotado o sistema de referência *South America Lambert Conformal Conic*. A sequência metodológica pode ser conferida no fluxograma esquemático da pesquisa (Figura 2), indicando todas as fontes, produtos e processos.

Figura 2 – Fluxograma esquemático dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Dados utilizados

Localização de Nascentes

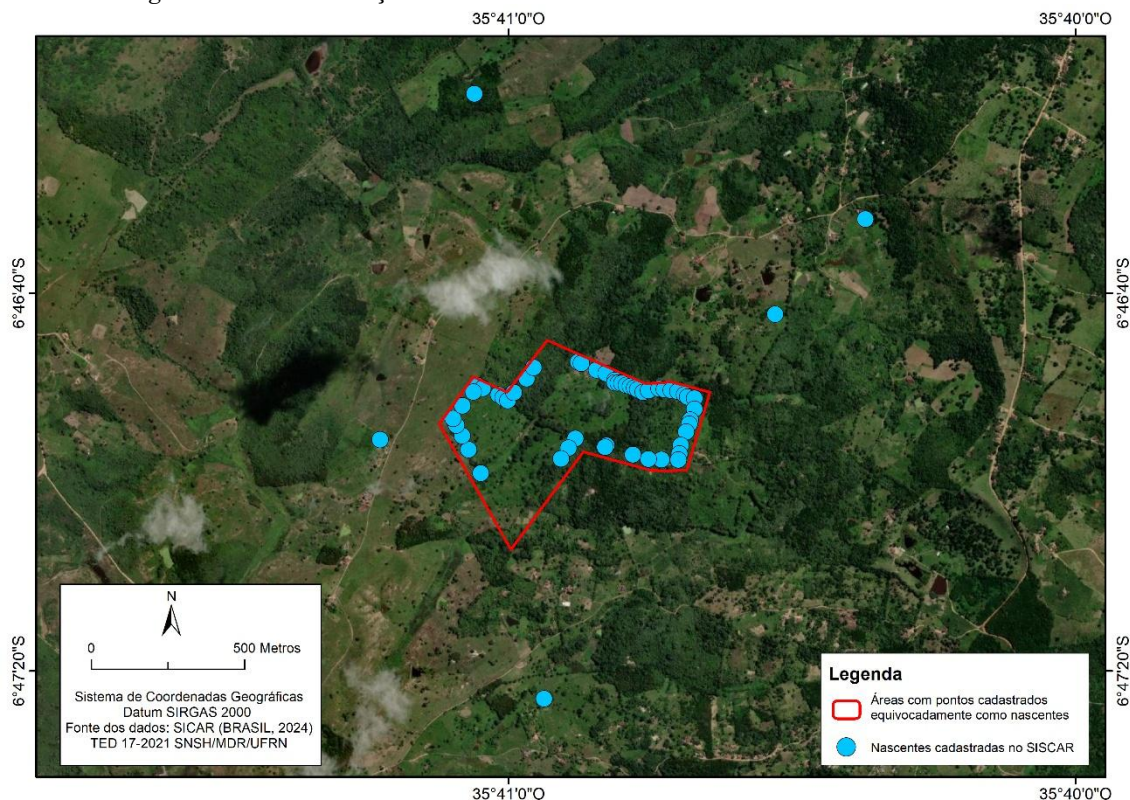
A localização das nascentes foi adquirida por meio da base de *downloads* do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (BRASIL, 2024), estes dados fazem parte do acervo de cadastros públicos nacionais do Cadastro Ambiental Rural (CAR), obrigados por força de lei pelo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012). Nesta fonte também foram adquiridos, o limite da propriedade rural cadastrada, e seu uso e cobertura da terra, além do mapeamento das Áreas de Preservação Permanentes (APP).

Os dados coletados apresentaram um total de 918 nascentes. Para tornar a análise mais precisa e acurada, foi realizada uma rotina de verificação e avaliação de qualidade desses dados. Essa avaliação se fez necessário em virtude da própria natureza dos dados coletados,

visto que as informações disponibilizadas na plataforma do SICAR são fornecidas, principalmente, por proprietários rurais, portanto, podem apresentar diferentes tipos de inconsistências topológicas quanto a informação vetorial.

Essa rotina de avaliação ocorreu em duas etapas: primeiro, foram identificados erros de duplicidade espacial, ou seja, nascentes com coordenadas (x e y) iguais e sobrepostas. Entre o conjunto de nascentes sobrepostas, selecionou-se apenas uma e descartou-se o montante duplicado; a segunda etapa consistiu na identificação de padrões em sua localização, incompatíveis com a natureza do objeto. Na Figura 3, observa-se cenário de incompatibilidade no município de Solânea (PB), em que 152 pontos cadastrados como nascentes estavam dispostos de forma regular, provavelmente carregadas de forma equivocada no sistema, e que na verdade devem ser vértices de uma propriedade rural.

Figura 3 – Identificação de erros nos dados de Nascentes do SICAR/CAR



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Após essas correções de duplicidade da informação espacial e incompatibilidade com a natureza do dado de nascentes, foram mantidas e validadas 696 nascentes nas quatro bacias hidrográficas, sendo 39 na bacia do rio Trairi, 92 na bacia do Rio Jacu, 155 na bacia do Rio Curimataú, 410 na bacia do Rio Mamanguape.

Estrutura Fundiária

Além dos dados do CAR, também foram adquiridos dados da estrutura fundiária, isto é, os limites das propriedades, no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Foram adquiridos na totalidade os Imóveis Rurais do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF) e Sistema Nacional de Certificação de Imóveis (SNCI). Tais dados foram usados para construção da variável tamanho da propriedade (INCRA, 2024).

Malhas territoriais, ambientais e canais de drenagens

Foram utilizadas malhas territoriais e limites ambientais de duas diferentes fontes, todos em sua versão mais atual disponível, e em formato *ESRI Shapefile*, dados de limites municipais (versão de 2024, na escala 1:250.000) (IBGE, 2024b) e os limites dos biomas brasileiros (versão de 2019, na escala 1:250.000) obtidos no

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (IBGE, 2019). Os canais de drenagens e outros dados auxiliares também foram adquiridos no IBGE e fazem parte da Base Cartográfica Continua, na versão 2023 e escala de 1:250.000 (IBGE, 2023).

Os limites das bacias hidrográficas foram adquiridos na Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), por meio do portal do Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Ainda no Portal do SNIRH, também foram coletadas informações sobre o Índice de Segurança Hídrica (ISH) que atribui as microbacias hidrográficas um índice que reflete a segurança hídrica em mínimo, baixo, médio, alto e máximo (ANA, 2025).

Tais dados foram utilizados para entender o contexto territorial, estabelecer relações, checar a consistência dos dados de nascentes do CAR e permitir a análise espacial.

Imagens de satélite

Dados gratuitos de sensores multiespectrais Sentinel-2 sensor MSI, com resolução espacial de 10 metros disponibilizado pela Agência Espacial Europeia e a Copernicus (ESA, 2025); e dados RapidEye, com 4,7 metros de resolução espacial, as quais são comerciais, mais estavam sendo distribuídas temporariamente de forma gratuita, no site da Planet em função de uma

parceria entre a Iniciativa Internacional de Clima e Florestas da Noruega (NICFI), a empresa *Kongsberg Satellite Services* e a *Airbus* (Planet, 2025). Esses dados foram utilizados para compor o banco de dados da pesquisa e principalmente servir de base para o mapeamento de uso e cobertura da terra.

Ambas as imagens, Sentinel-2 e RapidEye, foram adquiridas a partir da plataforma de processamento de dados em nuvem *Google Earth Engine* – GEE (Gorelick *et al.*, 2017). De forma a reduzir os ruídos atmosféricos nas imagens, como presença de nuvens e sombras, foi gerado um mosaico temporal de imagens para o ano de 2024. Este mosaico foi criado aplicando-se uma métrica de redução estatística (redução de mediana) sobre todos os pixels disponíveis ao longo do respectivo ano, metodologia já utilizada na literatura (Pekel *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2020), pois elimina valores extremos de reflectância causados por nuvens (muito claros) e sombras (muito escuras). Adicionalmente, aplicou-se um filtro prévio para garantir a seleção de cenas com cobertura de nuvens inferior a 15%, resultando em um produto sem cobertura de nuvens.

Para a modelagem de relevo e reconhecimento de padrões de declividade nas bacias hidrográficas, foram adquiridos dados de Radar da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), as quais possuem uma resolução espacial de 30 metros (USGS, 2024).

Como já citado, as imagens multiespectrais foram utilizadas para reconhecimento da área de estudo quanto ao uso e cobertura da terra, principalmente quanto a distribuição espacial da vegetação, e foram submetidas a um processo de classificação digital de imagens, buscando alcançar uma escala cartográfica entre 1:100.000 e 1:25.000. Por sua vez, os dados de radar, foram utilizadas para produção de mapas de declividade, afim permitir o reconhecimento de padrões gerais de áreas com diferentes declividades em escala próximas de 1:100.000.

Dados de precipitação

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa são de estações pluviométricas coletados no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), além de órgãos estaduais de pesquisa em agropecuária, que são a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e a Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER) (INMET, 2024; CEMADEN, 2024; EMPARN, 2024; EMPAER, 2024).

Tais dados foram utilizados para produção de mapas de precipitação para as bacias hidrográficas por meio da interpolação dos dados das estações climatológicas distribuídas pelo terreno para os anos de 2020 a 2023.

O método de interpolação utilizado para os dados pontuais de precipitação é o *Topo to Raster* (Hutchinson; Dowling, 1991), utilizado frequentemente para interpolação de dados climatológicos e testado em diversas aplicações para precipitação na literatura (Marcuzzo *et al.*, 2011; Sousa *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2023).

Produtos e processos

Mapeamento de cobertura e uso da terra

O mapeamento de cobertura e uso da terra foi realizado em duas etapas. A primeira etapa ocorreu a partir de uma classificação não supervisionada por meio do algoritmo *k-means*. Optou-se por uma classificação não supervisionada devido as dimensões da área de estudo. Para esse algoritmo foi adotado um total de cinco classes iniciais, com erro aceitável de 5% e dez número de interações no processo.

No intuito de diminuir os ruídos gerados na classificação não supervisionada, foram aplicados três filtros após a classificação: *sieve classes*, *majority analysis* e *agregation*. O filtro *Sieve Classes* atua nos pixels isolados da classificação a partir de uma análise de vizinhança, admitindo um número de filtragem de até 10 pixel. Já o filtro de *majority analysis* reclassificou os pixels de acordo com as classes predominantes de sua vizinhança. Por fim, utilizou-se o filtro *agregation*, ao qual realiza o agrupamento de pixels menores a um grupo maior.

Na segunda etapa realizou-se a inspeção visual do resultado da classificação. Por estamos tratando de uma área de grandes dimensões espaciais e com características específicas, com bacias hidrográficas longitudinais, com variação de vegetação e comportamento climático diferente entre o litoral e a porção continental, adotou-se o processo manual de inspeção visual.

Essa inspeção foi realizada em um raio de 500 metros a partir de todas as nascentes, de forma a garantir maior acuidade da classificação com a realidade. Como suporte para a inspeção visual, utilizou-se as imagens de melhor resolução comparativamente a OLI Landsat (30 metros de resolução espacial), que são dados Rapideye (4,7 metros de resolução espacial), que permitem a inferência e identificação de objetos em cena aproximadamente 41 vezes melhor quando comparados para avaliação e validação da classificação.

Seleção de áreas hotspots

A partir das informações do mapa de cobertura e uso da terra, realizou-se a seleção de áreas de interesse (*hotspots*) a partir do cruzamento dos seguintes critérios: 1) Áreas com notada produção agropecuária; 2) Áreas com ISH baixo ou mínimo.

Do total de 696 nascentes, 511 apresentam ISH baixo ou mínimo, e estão localizadas em áreas com predominância de uso agropecuário (Agricultura ou Pastagens).

Ranqueamento de nascentes para recuperação e revitalização: Índice de Priorização de Recuperação (IPR)

Para a definição de nascentes prioritárias para recuperação, foi criando um Índice de Priorização de Recuperação (IPR) para as 511 nascentes, por meio de Análise de Decisão Multicritério (ADM) abordagem amplamente empregada para integrar múltiplos critérios espaciais em processos de apoio à decisão (MALCZEWSKI, 1999, 2006), foram consideradas as seguintes variáveis: 1) Quantidade relativa de vegetação na Área de Preservação Permanente e proximidades da nascente em hectares (Raio de 500 metros); 2) Distância euclidiana de rodovias pavimentadas (metros); 3) Distância real da nascente até uma rodovia pavimentada (metros); 4) Distância total do viveiro até a nascente (metros); 5) Tempo de deslocamento do viveiro até a nascente (minutos); 6) Tamanho da propriedade em hectares (INCRA/Serviço Florestal Brasileiro); 7) Declividade da área da nascente em porcentagem (SRTM); 8) Bioma da Nascente; 9) Precipitação média anual (2020 -2023) em milímetros. Essas variáveis permitiram considerar, portanto, as condições de acesso, sensibilidade ambiental, estado de conservação e contexto fundiário-social.

A condição de acesso até uma nascente é um fator crítico para a logística operacional das ações de recuperação, já que envolve transporte de mudas, e monitoramento. Como havia disponíveis quatro variáveis ligados ao acesso (variáveis 2 a 5), foi criada a partir da combinação normalizada (inversa) a variável composta “condição de acesso”. É importante ressaltar que, para determinar a distância em metros nas variáveis três e quatro e o tempo de deslocamento na variável cinco, foi utilizado a ferramenta de rotas do *Google Earth Pro* (Google LLC, 2026). Esse procedimento foi realizado individualmente para todas as 511 nascentes em análise.

As variáveis de natureza contínuas, foram normalizadas para o intervalo entre -1 a 1, onde -1 indica melhores condições ambientais e acesso facilitado e, portanto, menor prioridade de recuperação, e por sua vez, +1 condições ambientais críticas, i. e. maior prioridade para recuperação ambiental. A Normalização foi realizada através Equação 1.

$$\text{Valor Normalizado} = 2 \times \left(\frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) - 1 \quad \text{Equação 1}$$

Para as variáveis “quantidade relativa de vegetação na Área de Preservação Permanente e proximidades da nascente”, e “condições de acesso”, aplicou-se a uma normalização inversa, já que menores quantidades de vegetação indicam piores condições ambientais, e foi dada prioridade as nascentes mais próximas das rodovias, por serem mais acessíveis e permitirem maior viabilidade logística para a execução de plantio, afinal, cogita-se o envolvimento da comunidade local nas ações.

A variável categórica “Bioma” foi transformada em pontuação binária: Nascentes no bioma Caatinga receberam valor 1, devido a sua vulnerabilidade hídrica natural, enquanto, nascentes localizadas em Mata Atlântica, receberam valor -1.

Para o tamanho da propriedade, foi adotado como módulo fiscal médio, 27,5 hectares, e as nascentes foram pontuadas segundo o critério oficial do INCRA para definição de pequenas e médias propriedades: até 110 ha (até quatro módulos fiscais), valor 1 (pequenas propriedades e menores condições de recuperação); entre 110 e 275 ha (entre quatro e dez módulos fiscais), valor 0; e nascentes em propriedades maiores que 275 ha (maior que dez módulos fiscais), valor -1.

Para 22 nascentes em que não havia o dado confiável do tamanho da propriedade, mesmo conjugando dados do INCRA e do CAR, escolheu-se mantê-las na base de dados, e para cálculo do IPR, foi efetuado a redistribuição proporcional do peso das variáveis, desprezando a variável tamanho da propriedade para o cálculo do IPR para estas unidades.

Assim, o IPR foi calculado a partir da média ponderada das variáveis normalizadas (Equação 2), em que o peso de cada variável foi baseado na análise das variáveis, considerando o estado de conservação e o acesso como prioritários (Tabela 1), relação direta quanto ao impacto direto que cada fator exerce sobre a urgência e a viabilidade da recuperação.

$$\text{IPR} = \frac{(2,5 \times V_1) + (1,5 \times V_2) + (1 \times V_3) + (1 \times V_4) + (1 \times V_5) + (1 \times V_6)}{8} \quad \text{Equação 2}$$

Tabela 1 – Quadro de variáveis utilizadas para o cálculo do IPR

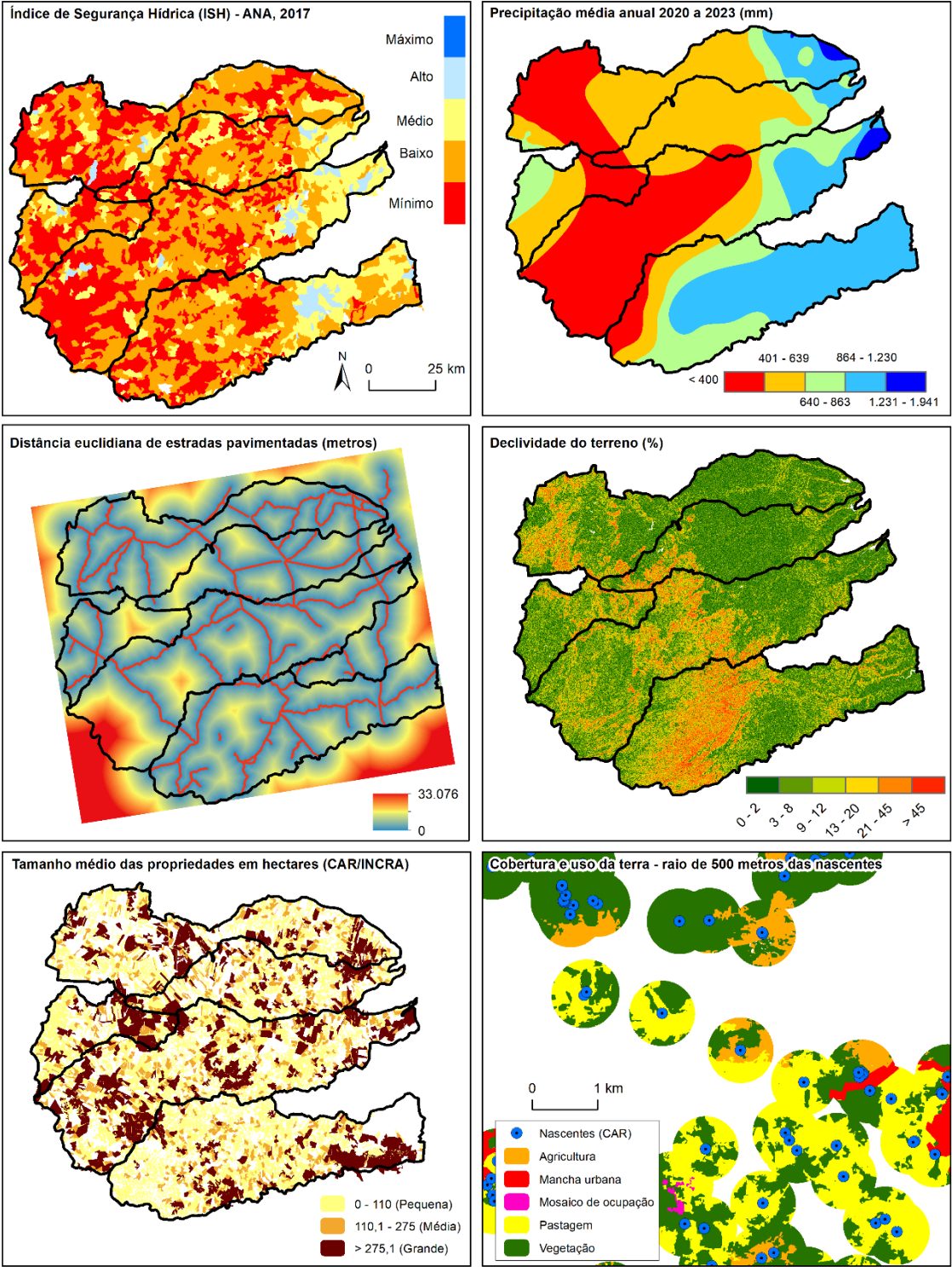
Variável	Critério	Peso	Descrição	Normalização
V1 - Cobertura vegetal na APP e proximidades	Estado de conservação	2.5	Indicador direto do estado de conservação da nascente. Baixa cobertura vegetal compromete a infiltração, e a proteção contra processos erosivos.	Inversa (menos vegetação = maior pontuação)
V2 - Condição de Acesso	Viabilidade operacional	1.5	Variável composta, representa o grau de acessibilidade operacional da nascente. Nascentes mais acessíveis são mais viáveis para implantação e monitoramento pela equipe do projeto.	Inversa (maior facilidade de acesso = maior pontuação)
V3 - Tamanho da propriedade	Dimensão fundiária e socioeconômica	1.0	Propriedades menores tendem a apresentar maior dificuldade para manter áreas de conservação, ao mesmo tempo em que são mais sensíveis aos efeitos positivos da recuperação ambiental.	Direta (menor área = maior pontuação)
V4 - Declividade da APP	Contexto ambiental e suscetibilidade à erosão	1.0	Áreas com maior inclinação são mais suscetíveis à erosão, configurando-se áreas sensíveis aos efeitos da recuperação ambiental.	Direta (maior declividade = maior pontuação)
V5 - Bioma	Contexto ecológico	1.0	Considera o contexto ecológico e a resiliência ambiental. Nascentes localizadas na Caatinga receberam maior pontuação por estarem inseridas em um bioma mais suscetível ao déficit hídrico.	Direta (Caatinga =1; Mata Atlântica -1)
V6 - Precipitação (média anual 2020 – 2023)	Vulnerabilidade climática	1.0	Representa a disponibilidade hídrica natural na área da nascente. Locais com menor precipitação média anual tendem a ser mais vulneráveis à escassez de água, e portanto, priorizadas para ações de recuperação ambiental.	Direta (menor precipitação = maior pontuação)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na Figura 4, é possível observar os dados geoespaciais que

foram manipulados e utilizados para o cálculo do IPR.

Figura 4 – Dados geoespaciais utilizados para o cálculo do IPR



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Por fim, todas as 511 nascentes foram classificadas conforme três categorias: Prioridade Alta: $IPR \geq 0,4$; Prioridade Média: IPR entre $-0,4$ e $0,4$; Prioridade Baixa: $IPR \leq -0,4$.

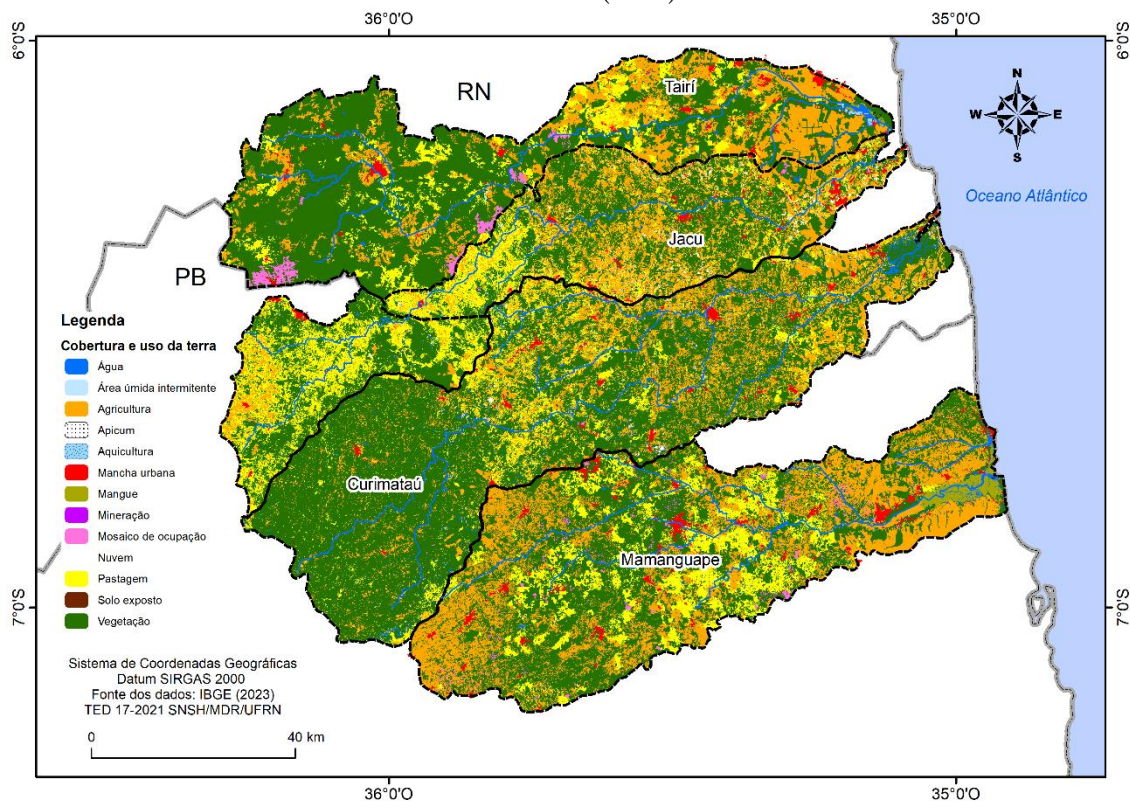
Tais valores foram definidos de forma a permitir simetria na escala (-1 a 1), no entanto, deixando a classe média mais larga (amplitude de 0,8 em relação à 0,6 das demais). Esta delimitação metodológica tem o propósito gerencial de isolar as condições extremas. Ao estreitar as margens das classes de alta e baixa prioridade, assegura-se que apenas as nascentes em estado crítico evidente ou em situação excepcional de conservação sejam destacadas nos extremos. Consequentemente, o índice evita a superestimativa de hotspots críticos e foca o

ranqueamento naquelas nascentes que, de fato, exigem canalização imediata de recursos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação não-supervisionada de cobertura e uso da terra na área das bacias hidrográficas permitiu observar a dinâmica dos usos e a distribuição das coberturas naturais. Foram mapeados 13.331 km² de área em 13 classes (Figura 5 e Tabela 2): água, área úmida intermitente, agricultura, apicum, aquicultura, mancha urbana, mangue, mineração, mosaico de ocupação, nuvem, pastagem, solo exposto e vegetação.

Figura 5 – Uso e cobertura da terra nas Bacias Hidrográficas do Trairí, Mamanguape, Jacu e Curimataú (2024)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Observa-se que as coberturas antrópicas, como agricultura e pastagem, predominam nas porções costeiras das bacias hidrográficas, diminuindo na medida em que se avança em direção ao continente. Destacam-se as classes de agricultura (3.323 km² ou 24,9%) e pastagem (1.948 km² ou 14,6%). Das quatro bacias, apenas a do Trairí apresenta área total de agricultura e pastagem abaixo de mil km². Em contrapartida, observa-se na bacia do Mamanguape os maiores quantitativos, sendo 1.140 km² de agricultura e

504 km² de pastagem, principalmente na porção centro-leste da bacia em direção ao litoral.

Observa-se entre os valores absolutos e percentuais das classes para cada bacia hidrográfica (Tabela 2), que as classes de cobertura natural, a vegetação apresenta as maiores áreas em todas as quatro bacias: 1.753 km² no Trairí, 1.580 km² no Mamanguape, 1.242 km² no Jacu e 2.658 km² no Curimataú; totalizando 7.389 km² ou 55,4% das bacias recobertas por áreas de vegetação. Além da vegetação, destaca-se a classe de água que

totaliza 196 km² ou 1,5% da área das bacias, sendo caracterizado principalmente através dos estuários dos rios na porção costeira das bacias, além dos barramentos e espelhos d'água distribuídos pela área de estudo. Desse total, destaca-se principalmente a bacia do Curimataú, em que foram identificados 102 km² de corpos hídricos.

Tabela 2 – Uso e cobertura da terra nas Bacias Hidrográficas do Trairí, Mamanguape, Jacu e Curimataú (2024)

Classe	Trairí		Mamanguape		Jacu		Curimataú		Total	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Água	13	0,4	44	1,3	35	1,3	102	2,5	196	1,5
Área úmida intermitente	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Agricultura	648	23,1	1.140	33,0	625	23,1	831	20,4	3.323	24,9
Apicum	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Aquicultura	7	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	7	0,1
Mancha urbana	52	1,9	88	2,6	44	1,6	47	1,2	238	1,8
Mangue	5	0,2	56	1,6	0	0	0	0	62	0,5
Mineração	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Mosaico de ocupação	50	1,8	40	1,2	3	0,1	1	0,0	98	0,7
Nuvem	0	0,0	0	0,0	48	1,8	17	0,4	67	0,5
Pastagem	274	9,8	504	14,6	711	26,3	408	10,0	1.948	14,6
Solo exposto	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Vegetação	1.753	62,5	1.580	45,8	1.242	45,9	2.658	65,4	7.389	55,4
Total	2.803	100	3.453	100	2.708	100	4.066	100	13.331	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Já a classe de mancha urbana apresenta um total de 238 km² (1,8%) em todas as bacias. Contudo, é na bacia do Mamanguape em que se observa maiores áreas urbanizadas, sendo 88 km² de mancha urbana.

Observa-se que as áreas em km² e percentuais das classes de cobertura e uso da terra para um raio de 500 metros no entorno das nascentes analisadas possibilitaram identificar nove classes (Tabela 3): água, área úmida intermitente, agricultura, aquicultura, mancha urbana, mosaico de ocupação, pastagem, solo exposto e vegetação.

Tabela 3 – Uso e cobertura da terra considerando um raio de 500 metros em torno das 511 nascentes das Bacias Hidrográficas do Trairí, Mamanguape, Jacu e Curimataú (2024)

Classe	Trairí		Mamanguape		Jacu		Curimataú		Total	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Água	0	0	0,01	0,7	0	0	0,01	1,8	0,02	0,7
Área úmida intermitente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agricultura	0,12	41,7	0,16	16,1	0,03	9,2	0,09	11,7	0,41	13,6
Aquicultura	0	0	0	0	0,00	0,5	0	0	0,00	0,1
Mancha urbana	0,00	0,4	0,14	14,1	0	0	0,04	5,8	0,19	6,2
Mosaico de ocupação	0	0	0,08	8,5	0,01	1,9	0,01	1,7	0,11	3,5
Pastagem	0,01	3,8	0,92	91,3	0,06	17,4	0,09	11,0	1,08	35,8
Solo exposto	0	0	0,01	0,5	0,01	1,4	0	0	0,01	0,3
Vegetação	0,16	54,2	0,25	25,4	0,25	69,5	0,53	68,0	1,20	39,8
Total	0,29	100	1,01	100	0,37	100	0,78	100	3,01	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

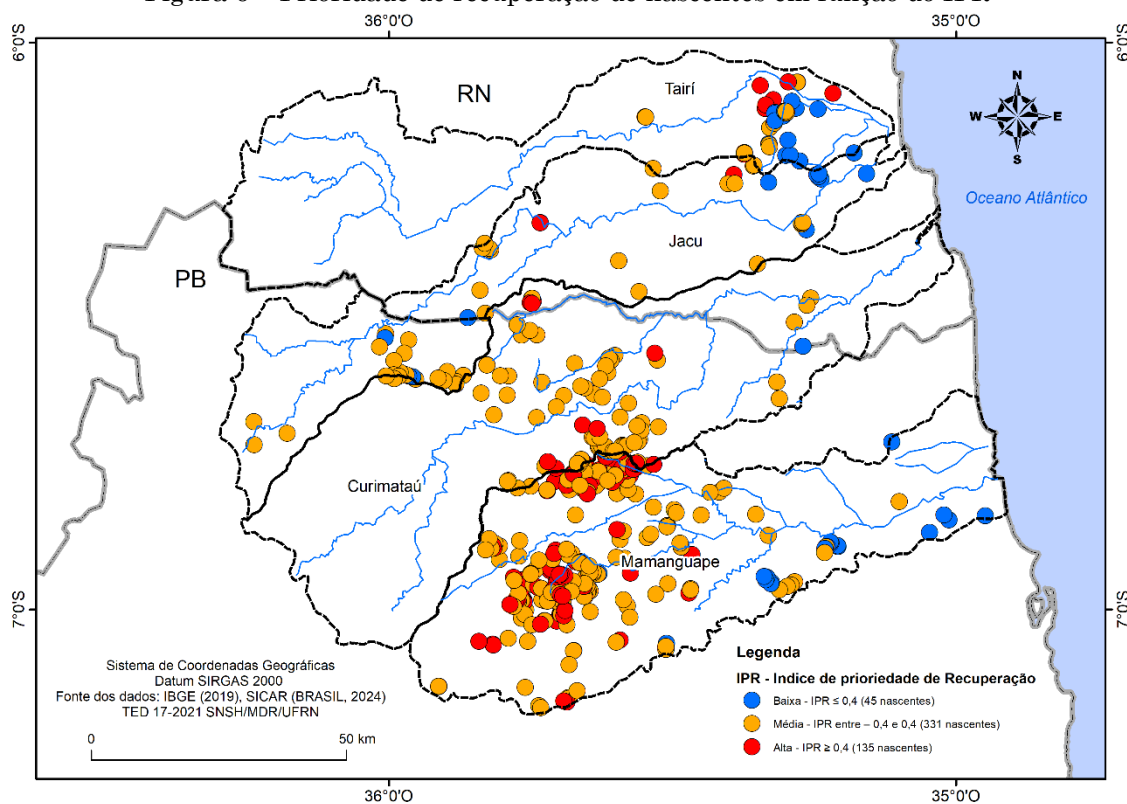
O entorno das nascentes analisadas nesse estudo demonstra que elas estão inseridas em áreas cujos usos são voltados para atividades antrópicas, como agricultura e pastagem. Isso ocorre pois 35,8% (1,08 km²) do entorno dessas nascentes são ocupados por áreas de pastagem, 13,6% (0,41 km²) de agricultura, 6,2% (0,19 km²) de áreas urbanizadas e 3,5% (0,11 km²) de mosaicos de ocupação.

Em contrapartida, 40,8% no raio de 500 metros das nascentes possuem coberturas naturais. Essas coberturas são representadas principalmente pela classe de vegetação, que ocupa uma área de 1,2 km² (39,8%); seguido da classe de água com 0,02 km² (0,7%) e classe de solo exposto com 0,01 km² (0,3%). Isso

demonstra a predominância de um contexto de pressão antrópica no entorno das áreas em que as nascentes analisadas estão inseridas.

Aplicando a metodologia proposta nesse estudo, com o cálculo do IPR, foi possível identificar que grande parte das nascentes localizadas em áreas com utilização das terras nas bacias hidrográficas analisadas possuem algum grau de necessidade de intervenção para recuperação. Um total de 466 nascentes possuem média ou alta prioridade para recuperação (Figura 6), partindo de valores de IPR entre -0,398 e 0,750. Por sua vez, 45 nascentes foram rotuladas com baixa prioridade de recuperação, registrando valores de IPR entre -0,836 e -0,406.

Figura 6 – Prioridade de recuperação de nascentes em função do IPR



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tais números indicam que em geral, as nascentes das bacias hidrográficas que compõem a área de estudo desta pesquisa possuem algum nível de degradação e necessitam de intervenção para fins de recuperação ambiental. Das 45 nascentes rotuladas com baixa prioridade de recuperação, 18 estão localizadas na bacia hidrográfica do Rio Mamanguape, 15 na Bacia do Rio Trairi, 11 na Bacia do Rio Jacu, e uma na bacia do Rio Curimataú. É importante ressaltar, que entre estas nascentes de baixa prioridade, apenas 12 estão localizadas em ambiente semiárido do Bioma Caatinga, e estão distribuídas nas bacias

do Mamanguape (sete nascentes), Jacu (quatro nascentes) e Curimataú (uma nascente).

Do total de nascentes, 331 foram classificadas como de média prioridade de recuperação (~ 64%), distribuídas por todas as quatro bacias hidrográficas, ocupando áreas de Caatinga e Mata Atlântica. Por fim, 135 nascentes foram rotuladas como de alta prioridade de recuperação, concentradas principalmente na Bacia do Mamanguape com 111 nascentes, 14 na Bacia do Curimataú, e sete e três nascentes para as Bacias do Trairi e do Jacu respectivamente.

A concentração de nascentes de alta prioridade na bacia do Mamanguape possui correlação direta com a dinâmica de ocupação territorial evidenciada no mapeamento de uso da terra. Esta bacia concentra as maiores extensões de áreas agrícolas (1.140 km²) e manchas urbanas (88 km²). Essa pressão antrópica sobre o entorno das nascentes traduz-se diretamente no índice, demonstrando que a zona de transição costeira não apenas perdeu grande parte de sua cobertura natural, como também expõe seus recursos hídricos a um risco acentuado. Em contraste, áreas mais continentais do Curimataú, apesar da vulnerabilidade climática inerente à Caatinga, retêm maior cobertura vegetal relativa (65,4%), o que atenua a urgência estrutural imediata no

ranqueamento do IPR, pulverizando suas nascentes nas categorias de média prioridade. Para testar o arranjo de pesos utilizados na construção do IPR, foram testados três cenários de ponderação em uma análise de sensibilidade: 1) Conservador, com redução do peso da V1 (cobertura vegetal relativa nas APP e proximidades) de 2,5 para 2,0; 2) Operacional, com aumento de peso da V2 (Condição de Acesso) de 1,5 para 2,0; 3) Ecológico, com aumento de peso da V5 (Bioma), de 1,0 para 1,5. Em todos os cenários os demais pesos não foram modificados, permitindo avaliar a sensibilidade às alterações nos critérios considerados mais estratégicos, resultado no seguinte resultado (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise de sensibilidade do IPR sob diferentes cenários					
Cenário	Baixa	Média	Alta	Correlação <i>Spearman</i> (ρ) com IPR Original	Sobreposição Top-20 (%)
Original	45	331	135	-	-
Conservador (V1 = 2,0)	23	348	140	0,97	85
Operacional (V2=2,0)	25	340	146	0,98	90
Ecológico (V5=1,5)	27	319	165	0,96	88

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As diferenças entre o IPR original e a modelagem de cenários, indica que não há alteração significativa quanto ao padrão de priorização de nascentes, algo confirmado com a correlação de *Spearman*, com $\rho = 0,97$ no cenário conservador, $\rho = 0,98$ no cenário operacional, e por sua vez, $\rho = 0,96$ no cenário ecológico, o que indica estabilidade do índice frente a variações moderadas nos pesos. Quando se observa, as 20 nascentes com valores de IPR que indicam necessidade de intervenção para recuperação, observa-se em todos os cenários uma sobreposição superior a 85% (entre 17 e 18 nascentes). Portanto, não há mudança substantiva diante de ajustes de pesos. Chama a atenção que em todos os cenários alternativos, o número de nascentes da classe baixa prioridade diminui significativamente, principalmente no cenário conservador, onde se reduz o peso da conservação da app e áreas próximas as nascentes, tal fato, indica a importância do peso em relação a conservação para identificar nascentes de maior urgência de recuperação.

CONSIDERAÇÃO FINAIS

A presente pesquisa desenvolveu uma metodologia para seleção de nascentes prioritárias para recuperação em bacias hidrográficas do Nordeste Brasileiro, entre os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. A análise se pautou na criação de um índice por meio de Análise de Decisão Multicritério (ADM) e dados geoespaciais, estatísticos e cartográficos, permitindo identificar entre 511 nascentes, das quais 135 apresentam necessidade urgente de intervenção para recuperação.

Os resultados demonstraram que a maioria das nascentes está submetida a pressões antrópicas, sobretudo pela expansão agropecuária e pela redução da cobertura vegetal em áreas que deveriam ser dedicadas a preservação, tais como as Áreas de Preservação Permanente (APP) e o seu entorno, fatores agravados por contextos de escassez hídrica típica do Bioma Caatinga. Tal cenário, compromete a provisão de serviços ecossistêmicos ligados aos recursos hídricos e a manutenção da biodiversidade ao suporte as atividades econômicas locais.

Ao conjugar variáveis ambientais, fundiárias e operacionais, a metodologia proposta se revela um instrumento técnico-científico de alta

aplicabilidade para subsidiar a criação de políticas públicas e os programas de recuperação ambiental de bacias hidrográficas, que podem aumentar a quantidade e qualidade da água disponível nas bacias hidrográficas. Além disso, os resultados e a abordagem podem contribuir com compromissos assumidos pelo Brasil em âmbito internacional, como as metas da década da restauração de ecossistemas (2021 – 2030), e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015, 2019).

Neste sentido, a presente proposta propõe um protocolo replicável para outras regiões e biomas, mas também reafirma a importância da recuperação de nascentes como estratégia central para fortalecer a segurança hídrica e a promoção da capacidade de desenvolvimento social e econômico dos territórios considerando sua endogenia e a conservação dos serviços ecossistêmicos.

FINANCIAMENTO

Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional (MIDR) no âmbito do Projeto “Recuperação de Nascentes e Segurança Hídrica em bacias estratégicas para o abastecimento urbano e industrial no Nordeste do Brasil”.

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional (MIDR) do Governo Federal pelo fomento e apoio ao desenvolvimento do Projeto “Recuperação de Nascentes e Segurança Hídrica em bacias estratégicas para o abastecimento urbano e industrial no Nordeste do Brasil” entre os anos de 2021 e 2025. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte e fomento a pesquisa em nível de doutorado ao segundo autor deste trabalho, possibilitando a dedicação em pesquisas acadêmicas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. Brasília, DF: ANA, 2025. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- BOTELHO, R. G. M. **Bacia hidrográfica e qualidade Ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org.). Reflexões sobre a geografia física no Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Índice de Prioridade de restauração florestal para segurança hídrica: uma aplicação para as regiões metropolitanas da Mata Atlântica**. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Brasília, DF: MMA, 2017.
- BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 04 jun. 2024.
- BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a medida provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 04 jun. 2024.
- BRASIL. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). **Base pública de dados do Cadastro Ambiental Rural**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2024. Disponível em: <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Mapa Interativo do CEMADEN**. São José dos Campos, SP: CEMADEN, 2024. Disponível em: <https://mapainterativo.cemaden.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- EMPRESA PARAIBANA DE PESQUISA, EXTENSÃO RURAL E REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA (EMPAER). **Portal Institucional**. João Pessoa, PB: EMPAER, 2024. Disponível em: <https://empaer.pb.gov.br/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE (EMPARN). **Monitoramento Meteorológico**. Natal, RN: EMPARN, 2024. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Sentinel-2**. Paris: ESA, 2025. Disponível em: <https://www.esa.int/>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- GOOGLE LLC. **Google Earth Pro**. Versão 7.3.7.1155 (64-bit). Mountain View, CA: Google LLC, 2026. Disponível em: <https://earth.google.com/desktop/>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- HUTCHINSON, M. F.; DOWLING, T. I. A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia. **Hydrological Processes**, v. 5, n. 1, p. 45-58, 1991. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050105>
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Acervo Fundiário**. Brasília, DF: INCRA, 2024. Disponível em: <https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base cartográfica contínua do Brasil ao milionésimo, ao 1:250.000 e ao 1:100.000 (BC250)**: versão 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Censo Demográfico 2022: população residente. Rio de Janeiro: IBGE, 2024a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha Municipal 2024**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias/15774-malhas.html>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 703-726, 2006. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- MARCUZZO, F.; ANDRADE, L.; MELO, D. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso (Interpolation Methods in Mathematics of Rainfall Mapping of the State of Mato Grosso). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 4, n. 4, p. 793-804, 2012. <https://doi.org/10.26848/rbfg.v4i4.232714>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021-2030)**. Resolução A/RES/73/284 da Assembleia Geral das Nações Unidas, de 1º de março de 2019. Nova York: ONU, 2019.
- PEKEL, J.F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418-422 (2016). <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- PLANET LABS PBC. **Norway's International Climate and Forest Initiative (NICFI) Satellite Data Program**. San Francisco: Planet. Disponível em: <https://www.planet.com/nicfi/>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- RIO GRANDE DO SUL. Casa Militar. Subchefia de Proteção e Defesa Civil. **Boletim divulgado pela defesa Civil**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024.
- SANTOS, D. C. A.; SOUSA, S. B.; Arantes, A. E.; AMORIM, R. F.; COSTA, C. W. Análise comparativa de qualidade de dados de estações pluviométricas automáticas e convencionais do INMET e dados do satélite GPM para o RN, Brasil (2017). **Sociedade e Território**, v. 34, p. 53-74, 2023.

- SOUSA, S. B.; ARANTES, A. E.; CARDOSO, M. R. D.; FERREIRA, L. **Análise comparativa entre dados TRMM e estações pluviométricas no Pantanal brasileiro: ano-base 2006.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 6945-6952.
- SOUZA JR., C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W. de; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, art. 2735, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global.** Reston, VA: USGS. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 22 jun. 2024.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Silvio Braz de Sousa: Conceitualização; Metodologia; Supervisão; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Redação – revisão e edição.

Rodrigo de Freitas Amorim: Conceitualização; Metodologia; Supervisão; Redação do manuscrito original; Redação – revisão e edição.

Daniel Carlos Alves Santos: Curadoria de dados; Análise de dados; Metodologia; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Redação – revisão e edição.

EDITOR ASSOCIADO: Silvio Carlos Rodrigues. 

DISPONIBILIDADE DE DADOS: Os dados que fundamentam os resultados deste estudo poderão ser disponibilizados pelo autor correspondente, mediante solicitação devidamente justificada. [Silvio Braz de Sousa].



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.