

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM PRÓPRIA - SE

*Jocimar Coutinho Rodrigues Junior<sup>1</sup>; Camila Oliveira de Britto Salgueiro<sup>2</sup>; Ester Milena dos Santos<sup>3</sup>; Lucas Amorim Amaral Menezes<sup>4</sup>; Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>5</sup>; Sylvana Melo dos Santos<sup>5</sup> & Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>6</sup>*

**Abstract:** This study aimed to analyze, on a multitemporal scale, changes in land use and land cover and their effects on surface runoff in the municipality of Propriá (SE), between 1987 and 2020. Using data from the MapBiomas project, NDVI and NDWI spectral indices from Remote Sensing, and the SCS-CN hydrological model, the results showed a 69% increase in pasture areas, now the dominant land use class. In contrast, there was a 16% decrease in surface runoff and a 20% increase in soil water retention capacity, indicating improved infiltration. These findings highlight the importance of ongoing land use monitoring for effective water resource management and sustainable regional development.

**Resumo:** Este estudo analisou, em escala multitemporal, as mudanças no uso e cobertura do solo e seus efeitos no escoamento superficial em Propriá (SE), entre 1987 e 2020. Utilizando dados do MapBiomas, índices NDVI e NDWI via Sensoriamento Remoto e o modelo hidrológico SCS-CN, Nos resultados obtidos constatou-se um aumento de cerca de 69% nas áreas de Pastagem, agora a classe predominante. Em paralelo, houve uma redução de aproximadamente 16% no escoamento superficial e um aumento de 20% na capacidade de retenção de água no solo, indicando maior infiltração. Os resultados reforçam a importância do monitoramento do uso do solo para a gestão hídrica e o desenvolvimento sustentável da região.

**Palavras-Chave** – Cobertura do solo; Índices Espectrais; Modelo Curva-Número.

### INTRODUÇÃO

Como desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, o Brasil tem sofrido significativas transformações ambientais, muitas vezes sem considerar a qualidade ambiental e o bem-estar social, gerando impactos relevantes. Historicamente, de acordo com Dutra, Brianezi e Coelho (2020), tal avanço ocorreu sem planejamento, desconsiderando aspectos ligados a qualidade ambiental, a conservação dos recursos naturais e o bem-estar social, gerando impactos que hoje são centrais nas discussões sobre sociedade e meio ambiente. Nesse contexto, a cobertura do solo tem sofrido alterações significativas, sobretudo em relação ao aumento da impermeabilização e à modificação da estrutura superficial, fatores que intensificam o escoamento superficial. De acordo com Quang, Giang

1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária. 50.740-530. Recife/PE – Brasil. Fone: +55 81 2126.8223. E-mail: jocimar.junior@ufpe.br

2) Doutoranda, PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: camila.salgueiro@ufpe.br

3) Doutoranda, PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: ester.santos@ufpe.br

4) Doutorando, PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: lucas.laan@ufpe.br

5) Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - DECIV, UFPE, Recife-PE, e-mail: leidjane.oliveira@ufpe.br

6) Professora Titular, DECIV, docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: sylvana.santos@ufpe.br

7) Professor Associado, DECIV, docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: anderson.paiva@ufpe.br

e Thinh (2022), a redução da infiltração e da capacidade de armazenamento de água está diretamente ligada ao crescimento das áreas impermeáveis, contribuindo para o aumento do escoamento e para o agravamento de inundações, especialmente em grandes centros urbanos, em decorrência da urbanização e das mudanças climáticas.

Conforme Li *et al.* (2018), o escoamento superficial é um fenômeno hidrológico que pode ser estimado por meio de diferentes modelos, os quais consideram as características fisiográficas da área de estudo, incluindo as classes de uso e ocupação do solo. Assim, dentre os modelos hidrológicos amplamente utilizados para a estimativa da lâmina de escoamento superficial destaca-se o modelo Curva Número (SCS-CN), que relaciona precipitação, tipo de solo, uso da terra e condição de umidade antecedente. (CUNHA *et al.*, 2021).

Para esse tipo de abordagem, é fundamental dispor de dados atualizados sobre o uso e cobertura do solo ao longo do tempo. Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto (SR) representa uma ferramenta que permite a obtenção de informações em larga escala e com alto nível de detalhamento, facilitando a análise das transformações espaciais, conforme Lopes *et al.* (2010). Destacam-se também os índices espectrais derivados do processamento de imagens de satélite, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), voltado ao monitoramento da vegetação, e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), utilizado na identificação e acompanhamento de corpos d'água (ALMEIDA, 2021).

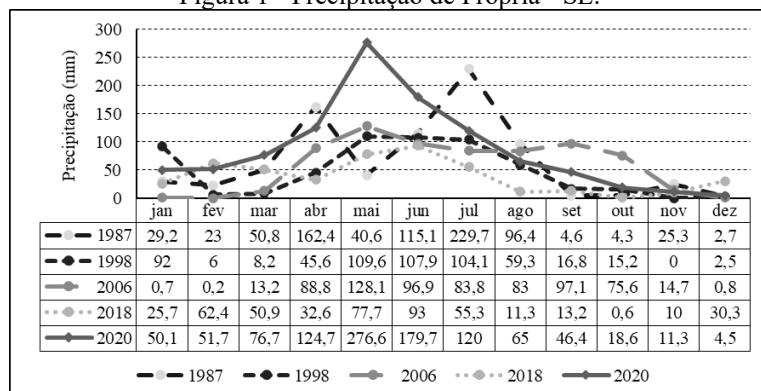
Entre as principais fontes de dados via SR, destaca-se o Projeto MapBiomass, que permite acompanhar a substituição de áreas de vegetação nativa por zonas urbanas, agrícolas e de pastagem. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar, de forma integrada, a aplicação do modelo SCS-CN e de técnicas de Sensoriamento Remoto para analisar a influência do uso e ocupação do solo no comportamento do escoamento superficial no município de Propriá – SE, localizado na região do Baixo São Francisco, Brasil.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

O município de Propriá está localizado no Baixo São Francisco, no estado de Sergipe, no extremo noroeste. A sua limitação ao norte se dá com o estado de Alagoas, a oeste com os municípios de Cedro de São João e Telha, a sul com Japoatã e São Francisco e, a leste com Neópolis, com uma área municipal de 95,5 km<sup>2</sup> (CPRM, 2002). No que diz respeito ao comportamento pluviométrico da região, a Figura 1 mostra a precipitação mensal para o município de Propriá, especificamente para os anos de 1987, 1998, 2006, 2018 e 2020, de acordo com o Portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Figura 1 - Precipitação de Propriá - SE.



Fonte: HidroWeb (2025).

## Análise multitemporal de parâmetros biofísicos e do uso e ocupação do solo

Para a avaliação do uso e ocupação do solo no município de Propriá, foram utilizadas imagens do catálogo do United States Geological Survey (USGS), referentes aos satélites da série Land Remote Sensing Satellite (Landsat 5 e 8), com sensores Thematic Mapper (TM) e Operational Land Imager (OLI), ambos compostos por bandas espectrais, cujas datas e características estão detalhadas na Tabela 1. Ressalta-se que considerando a inexistência de precipitação nas datas de aquisição das imagens, todos referentes ao período seco, o processamento dos dados foi realizado sem a influência de variáveis pluviométricas.

Tabela 1 - Data da imagem, ângulo de elevação do Sol e ponto do satélite.

| Data       | Ângulo de elevação do Sol | Órbita | Ponto | Satélite  | Sensor |
|------------|---------------------------|--------|-------|-----------|--------|
| 01/11/1987 | 58,153°                   |        |       | Landsat 5 | TM     |
| 01/12/1998 | 58,193°                   |        |       | Landsat 5 | TM     |
| 07/12/2006 | 60,732°                   | 215    | 67    | Landsat 5 | TM     |
| 08/12/2018 | 61,819°                   |        |       | Landsat 8 | OLI    |
| 10/10/2020 | 65,071°                   |        |       | Landsat 8 | OLI    |

Fonte: USGS (2022).

Ressalta-se que, com relação ao TM Landsat 5, inicialmente estima-se a radiância e a refletância das bandas utilizadas nos referidos espectrais em estudo. Com isso, realizou-se a calibração radiométrica, a fim de converter o número digital (ND) em radiância espectral de cada banda por meio da equação de Markham e Baker (1987), conforme mostra a Equação 1. Posteriormente, obteve-se a reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda i}$ ), sendo esta a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente, conforme mostra as Equações 2 a 4.

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

$$\cos Z = \cos \left( \frac{\pi}{2} - E \right) \quad (3)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left( \frac{DSA \cdot 2\pi}{365} \right) \quad (4)$$

Em que:  $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral de cada banda ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ),  $a$  e  $b$  são as radiâncias espetrais mínimas e máximas de cada banda do TM Landsat 5;  $\rho_{\lambda i}$  é a reflectância monocromática de cada banda,  $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral;  $K_{\lambda i}$  é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera;  $Z$  é o ângulo zenital; DSA é quantidade de dias julianos até a data da imagem; e  $d_r$  a distância Terra-sol.

Para a reflectância planetária no topo da atmosfera ( $\rho_{\lambda}$ ), corrigida em função do ângulo solar e da distância astronômica Terra-Sol ( $d$ ) usa-se a Equação 5.

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_p * Q_{cal} + A_p}{\cos(\theta_{sz}) \frac{1}{d^2}} \quad (5)$$

Em que:  $\rho_{\lambda}$  corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida;  $\theta_{sz}$  corresponde ao ângulo de elevação solar (disponível nos metadados da imagem);  $\theta_{sz}$  corresponde ao ângulo zenital solar local (calculado a partir de  $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$ );  $M_p$  corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem);  $Q_{cal}$  o número digital para cada pixel; e  $A_p$  corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem);  $d$  é a distância astronômica Terra-Sol.

Por conseguinte, o processamento foi realizado no software QGIS 3.14, de modo a obter as informações acerca das áreas dos índices espetrais utilizados ao longo do tempo selecionado. De início, se determinou o NDVI, que permite conhecer a área de vegetação verde, que segundo Rouse *et al.* (1974) é calculado conforme Equação 6. Ressalta-se que os resultados encontrados para este índice variam entre os valores de -1 e 1, no qual, quanto mais próximo de 1 for o resultado, há maior presença da vegetação saudável na área, evidenciando melhor a resposta espectral para as plantas,

enquanto para valores abaixo de 0, indica-se a existência de água, configurando um corpo hídrico (MEDEIROS *et al.*, 2022).

$$\text{NDVI} = \frac{(\rho\text{NIR} - \rho\text{R})}{(\rho\text{NIR} + \rho\text{R})} \quad (6)$$

Em que:  $\rho\text{NIR}$  consiste na refletância da banda do infravermelho próximo; e  $\rho\text{R}$  consiste na refletância banda do vermelho.

Para detecção de corpos hídricos, utiliza-se o NDWI, que possibilita a obtenção de informações sobre o comportamento da água. Seu cálculo foi formulado inicialmente por Gao (1996) e, posteriormente, modificado por McFeeters (1996), para verificar as condições hídricas superficiais conforme mostra a Equação 7. Em relação aos resultados encontrados, valores acima de 0 apontam a presença de água na área, enquanto para valores mais próximos de -1, indica-se a presença de vegetação com a variação de seu vigor vegetativo (SILVA; FARIAS, 2021).

$$\text{NDWI} = \frac{(\rho\text{Verde} - \rho\text{NIR})}{(\rho\text{Verde} + \rho\text{NIR})} \quad (7)$$

Em que:  $\rho\text{NIR}$  é a refletância da banda do infravermelho próximo; e  $\rho\text{Verde}$  é a refletância da banda do verde.

Ademais, para a avaliação do uso e ocupação do solo no município de Propriá, também foram utilizadas imagens do projeto MapBiomas, que realiza a classificação dos pixels conforme diferentes classes de uso da terra, disponíveis em suas coleções (MAPBIOMAS, 2022). As imagens dos anos de 1987, 1998, 2008, 2018 e 2020, obtidas a partir da Coleção 7 na plataforma *Google Earth Engine*, foram processadas no software QGIS 3.14, onde foi feita a composição de cores para representar as classes de uso e ocupação do solo em cada período analisado. Com isso, foi possível obter os mapas que dispõem o uso e ocupação do solo, no município de Propriá, ao longo dos anos em estudo. De acordo com estes dados é possível associar a dinâmica urbana e os avanços de atividades agropecuárias e madeireiras, com as características de escoamento superficial e, como essas atividades afetam o terreno e suas características hidrológicas.

### Escoamento superficial pelo modelo SCS-CN

Para conhecimento da lâmina de água que pode ser infiltrada, bem como a lâmina de água que pode ser escoada, a partir da precipitação, é bastante usual o emprego do modelo Curva Número (SCS-CN). Este método foi desenvolvido pelo Natural Resources Conservation Service (NRCS) do United States Department of Agriculture (USDA) (SCS, 1972), sendo empregado para determinar a lâmina de escoamento superficial, gerada a partir da precipitação, bem como a lâmina de água perdida para a infiltração ou demais etapas do ciclo hidrológico, que não é escoada (TARGA *et al.*, 2012).

No que se refere ao modelo SCS-CN, segundo Cunha *et al.* (2021), este consiste em um modelo empírico, que tem como finalidade determinar a parcela da precipitação que irá gerar o escoamento superficial, com base em um conjunto de relações entre precipitação e as características de ocupação do terreno. O equacionamento parte da consideração do parâmetro Curva Número (CN) da localidade em estudo, que depende do tipo de uso e ocupação do solo, bem como do grupo hidrológico. Dependendo da classificação hidrológica do solo, ou seja, dependendo de parâmetros como condutividade hidráulica, absorção e de demais características hidráulicas, classifica-se o solo em questão (PRUSKI *et al.*, 1997).

Para o município de Propriá, o solo é enquadrado como grupo hidrológico B de acordo com mapeamento do IBGE (2014). Assim, o solo da área possui moderada capacidade de infiltração, com características arenosas e argilosas. Os valores de CN variam conforme a cobertura do solo, e a condição de umidade antecedente deve ser determinada com base na precipitação do período analisado. Destaca-se que utilizando as Equações 10, 11 e 12, o valor de CN II, atribuído conforme o uso e ocupação do solo, pode ser ajustado para CN I ou CN III, de acordo com a umidade do solo

(BESKOW et al., 2009). Os valores de CN II podem ser obtidos em tabelas da literatura, que relacionam diferentes tipos de uso do solo aos grupos hidrológicos (NAGEL *et al.*, 2020).

$$CN\text{ I} = \frac{4,2 * CN\text{ (II)}}{10 - 0,058 * CN\text{ (II)}}$$

$$CN\text{ II transformado para condição seca:} \\ Precipitação\ dos\ últimos\ 5\ dias < 13\ mm \quad (10)$$

CN II

$$Arbitrado\ para\ condição\ normal: \\ 13\ mm < Precipitação\ dos\ últimos\ 5\ dias < 53\ mm \quad (11)$$

$$CN\text{ III} = \frac{23 * CN\text{ (II)}}{10 + 0,13 * CN\text{ (II)}}$$

$$CN\text{ II transformado para condição úmida:} \\ Precipitação\ dos\ últimos\ 5\ dias > 53\ mm \quad (12)$$

Uma vez estimado o CN, são realizados os equacionamentos do modelo SCS-CN (TARGA *et al.*, 2012) para determinação do escoamento superficial. Inicialmente, estima-se o Armazenamento Máximo de Água no Solo (S), apresentada na Equação 13, que representa a capacidade máxima de retenção hídrica da superfície, conforme suas características físicas. A partir de S, calcula-se a Lâmina de Abstração Inicial (Ia), conforme Equação 14, correspondente às perdas iniciais por infiltração e interceptação.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (13)$$

$$Ia = 0,2 * S \quad (14)$$

Em que: S = Armazenamento Máximo de Água na Camada Superficial do Solo (mm); Ia = Lâmina de Abstração Inicial (mm).

A partir do valor de Ia, que representa a capacidade hidrológica de não gerar o escoamento superficial, é possível estimar a Precipitação Efetiva ou Escoamento Superficial (Pef). Quando a precipitação excede Ia ( $P > Ia$ ), há geração de escoamento, cujo volume é estimado pela Equação 15. Caso contrário ( $P < Ia$ ), não se verifica escoamento superficial. Em caso de geração de escoamento superficial, seu valor é estimado pela Equação 15.

$$Pef = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)} \quad (15)$$

Em que: P = Precipitação (mm); S = Armazenamento Máximo de Água na Camada Superficial do Solo (mm); Ia = Lâmina de Abstração Inicial (mm).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

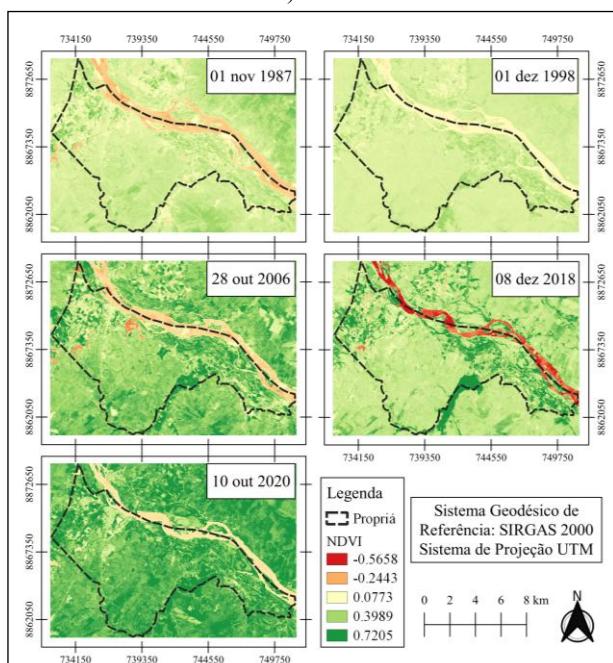
Conforme observado na Figura 2a, ao longo do período entre 1987 e 2020, observou-se um aumento nas áreas com alto índice de vegetação ( $NDVI = 0,7205$ ) em Propriá, indicando maior saudabilidade e vigor vegetativo. Somado a isso, 1998 e 1987 apresentaram maiores extensões de áreas com baixo NDVI (0,3989), sugerindo vegetação debilitada ou solo exposto. Houve redução significativa de áreas com NDVI próximo a zero, refletindo avanços nas práticas de manejo e conservação agrícola, bem como alterações no uso do solo e atividades econômicas que influenciaram a vegetação local.

Já em relação a Figura 2b, que detalha o comportamento do NDWI ao longo do período de 1987 e 2020, foram identificadas mudanças significativas na presença e dinâmica dos corpos d'água. É notável que o curso hídrico que atravessa Propriá, sendo o rio São Francisco, apresentou uma redução de largura com o passar do tempo, principalmente em 2018 e 2020, bem a diminuição de ilhas existentes em 1987 e 1998 no referido rio. Para o 2020 foi evidente uma redução em áreas com NDWI entre as classes de 0,2630 e 0,6023 (áreas em azul), que representam corpos d'água, relevando possíveis reduções de reservatórios, lagos, cursos hídricos e outras áreas alagadas, em relação aos outros anos. Complementarmente, ainda neste período observou-se aumento nas áreas com baixos valores de NDWI (indicadas em vermelho) em Propriá, indicando redução na presença de água.

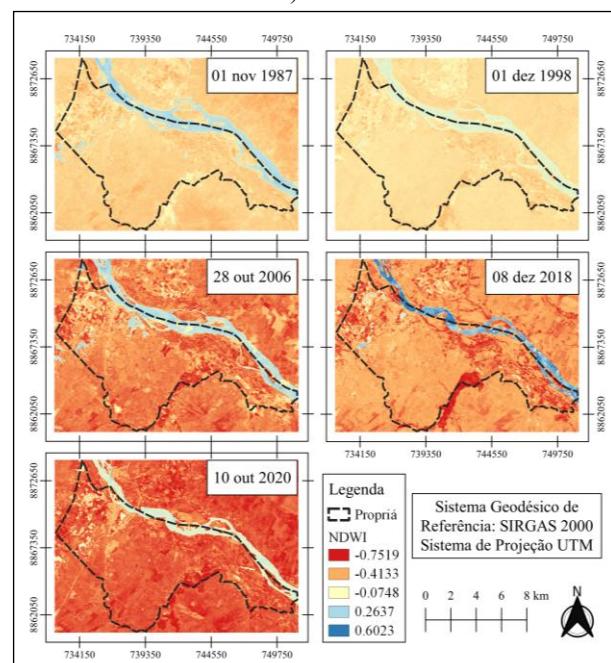
Destaca-se que nos anos de 1987 e 1998, as áreas apresentaram melhores respostas espectrais para água, em comparação aos períodos posteriores.

Figura 2 – NDVI e NDWI para o município de Propriá.

a) NDVI.



b) NDWI.



A Tabela 2 apresenta os valores médios, máximos, mínimos e o desvio padrão do NDVI e do NDWI para os anos analisados. Destaca-se que em 10/10/2020 foi registrado o maior valor médio de NDVI, 0,5571, indicando uma resposta espectral mais positiva da vegetação, conforme evidenciado na Figura 2a. Por outro lado, a imagem de 01/12/1998 apresentou o menor valor médio, 0,2279, refletindo a baixa resposta espectral da vegetação observada nesse período. Os resultados confirmam estudos anteriores, como os de Silva e Farias (2021), que identificaram aumento do NDVI em Parnamirim (Sertão Pernambucano) entre 2016 e 2020, associado à melhoria da vegetação. Em Propriá, local também situado no bioma Caatinga, o valor médio de NDVI em 2020 foi superior aos anos anteriores, possivelmente devido a maiores índices pluviométricos naquele ano.

Já em relação ao NDWI, também detalhado na Tabela 2, observa-se que, em 01/11/1987 e 01/12/1998, os valores médios foram mais elevados (-0,2305 e 0,1876, respectivamente), indicando melhor resposta espectral para a água, conforme a Figura 2b. Para 10/10/2020, o menor valor médio de NDWI (-0,5599) refletiu uma baixa resposta espectral para a água. Esses resultados estão alinhados com o estudo de Oliveira *et al.* (2022), que também registrou redução de áreas úmidas entre 1987 e 2020 devido a atividades humanas e degradação ambiental, fenômeno semelhante ao observado em Propriá, associado ao aumento das áreas de pastagem.

Tabela 2 – Valores descritivos para o NDVI e NDWI, para o município de Propriá.

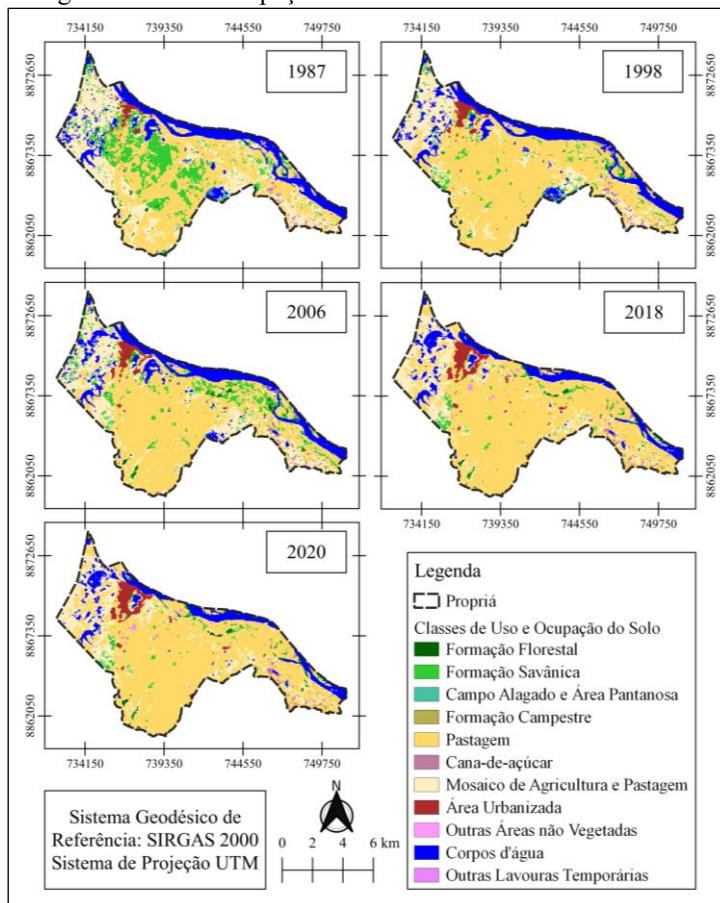
| Ano        | NDVI   |        |         |           |               | NDWI   |         |         |           |               |
|------------|--------|--------|---------|-----------|---------------|--------|---------|---------|-----------|---------------|
|            | Máximo | Média  | Mínimo  | Amplitude | Desvio Padrão | Máximo | Média   | Mínimo  | Amplitude | Desvio Padrão |
| 01/11/1987 | 0,6643 | 0,2409 | -0,3073 | 0,9716    | 0,1307        | 0,3411 | -0,2305 | -0,5764 | 0,9175    | 0,1434        |
| 01/12/1998 | 0,5253 | 0,2279 | -0,0463 | 0,5716    | 0,0626        | 0,1160 | -0,1876 | -0,4331 | 0,5491    | 0,07274       |
| 07/12/2006 | 0,8602 | 0,4220 | -0,4682 | 1,3284    | 0,1936        | 0,5394 | -0,4456 | -0,8000 | 1,3394    | 0,2069        |
| 08/12/2018 | 0,9093 | 0,4437 | -0,9312 | 1,8405    | 0,2141        | 0,9346 | -0,4117 | -0,8519 | 1,7865    | 0,2141        |
| 10/10/2020 | 0,9205 | 0,5571 | -0,5658 | 1,4863    | 0,1891        | 0,688  | -0,5599 | -0,946  | 1,634     | 0,1891        |

Fonte: Autores.

23 a 28 de novembro de 2025 - Vitória - ES

Com base nos dados do *MapBiomass*, entre 1987 e 2020, o município de Propriá passou por significativas mudanças no uso e cobertura do solo, como observado na Figura 3. Houve expansão das áreas de Pastagem e redução da Formação Savântica e dos corpos d'água. As áreas de Mosaico de Agricultura e Pastagem apresentaram variações ao longo do tempo, enquanto a vegetação nativa diminuiu. A área urbana mais que triplicou, passando de 1,04 km<sup>2</sup> para 3,32 km<sup>2</sup>, evidenciando o avanço da urbanização.

Figura 3 - Uso e Ocupação do Solo durante os anos em estudo.



No que consiste o modelo SCS-CN, que dispõe informações sobre o escoamento superficial, em vista do parâmetro Curva Número (CN), a Tabela 3, mostra os valores deste parâmetro (CN II), arbitrados para os diferentes tipos de uso e ocupação do solo, sob consideração de diversos autores (PORTO, 1995; PRUSKI *et al.*, 1997; TUCCI, 2007) para solos do grupo hidrológico B. Assim, foi possível calcular os valores de CN nas diferentes condições de umidade antecedente (CN I e CN II).

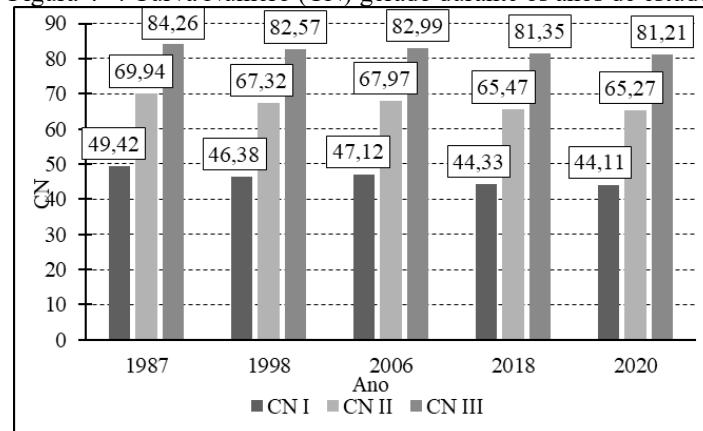
Tabela 3 – Coeficiente de Runoff (C) para as classes de uso e ocupação do solo.

| Classe de Uso e Ocupação       | CN  | Classe de Uso e Ocupação          | CN  |
|--------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| Formação Florestal             | 68  | Cana-de-Açúcar                    | 76  |
| Formação Savântica             | 68  | Mosaico de Agricultura e Pastagem | 68  |
| Campo Alagado e Área Pantanosa | 100 | Área Urbanizada                   | 90  |
| Formação Campestre             | 59  | Outras Áreas não Vegetadas        | 90  |
| Pastagem                       | 60  | Corpos de Água                    | 100 |

A Figura 4 apresenta a variação dos valores de CN encontrados, ressalta-se que entre 1987 e 2020, observou-se aumento das áreas de Pastagem (CN = 60) e redução de Mosaico Agrícola e Formação Savântica (CN = 68), o que favoreceu maior infiltração e menor escoamento superficial,

considerando solos do grupo hidrológico B. Apesar da expansão urbana ( $CN = 90$ ), os anos de 2018 e 2020 apresentaram os menores valores médios de  $CN$  II (65,47 e 65,27), evidenciando a influência positiva da Pastagem no comportamento hidrológico do solo.

Figura 4 – Curva Número ( $CN$ ) gerado durante os anos de estudo.



Fonte: Autores.

Complementarmente, como observado na Tabela 4, que apresenta a variação do Armazenamento Máximo de Água no Solo (S), ao longo dos anos de estudo, observou-se que no ano de 1987, os valores de S oscilaram entre 47,46 mm e 259,92 mm, enquanto para os anos de 2018 e 2020, observou-se um incremento significativo, com intervalos de 58,25 a 318,98 mm e 58,77 a 321,81 mm, respectivamente. Esse aumento de aproximadamente 20% em relação a 1987, sugere uma elevação da capacidade de retenção hídrica do solo, atribuída às alterações nas propriedades físicas decorrentes do uso e ocupação do solo, especialmente nas classes de cobertura de Pastagem, Formação Savântica e Mosaico de Agricultura e Pastagem.

Os valores de abstração inicial (I<sub>a</sub>), que indicam a capacidade do solo de reter água antes de gerar escoamento, seguiram a tendência do parâmetro S. Em 2018 e 2020, os maiores valores de I<sub>a</sub> (até 64,36 mm) indicaram maior infiltração, enquanto em 1987 os menores valores (até 51,98 mm) refletem menor capacidade de retenção, com aumento de quase 24% ao longo do período.

Tabela 4 – S e I<sub>a</sub> gerados durante os anos de estudo.

| Ano  | Armazenamento Máximo de Água no Solo (S). |        |        | Lâmina de Abstração Inicial (I <sub>a</sub> ) |       |        |
|------|---|--------|--------|---|-------|--------|
|      | CN I                                      | CN II  | CN III | CN I  | CN II | CN III |
| 1987 | 259,92                                    | 109,17 | 47,46  | 51,98   | 21,83 | 9,49   |
| 1998 | 293,62                                    | 123,32 | 53,62  | 58,72   | 24,66 | 10,72  |
| 2006 | 285,00                                    | 119,70 | 52,04  | 57,00   | 23,94 | 10,41  |
| 2018 | 318,98                                    | 133,97 | 58,25  | 63,80   | 26,79 | 11,65  |
| 2020 | 321,81                                    | 135,16 | 58,77  | 64,36   | 27,03 | 11,75  |

Fonte: Autores.

Os resultados do modelo SCS-CN indicaram que a capacidade de infiltração de água no solo em Propriá melhorou ao longo dos anos, especialmente em 2018 e 2020, possivelmente devido ao avanço de áreas de pastagem e redução de mosaicos agrícolas. Como o solo da região pertence ao grupo hidrológico B, há maior facilidade de infiltração e menor geração de escoamento superficial. Somado a isso, destaca-se que sob condição de umidade antecedente seca (CN I), o escoamento superficial mínimo só ocorre com chuvas superiores a: 51,98 mm (1987), 58,72 mm (1998), 57,00 mm (2006), 63,80 mm (2018) e 64,36 mm (2020). Para uma chuva de 100 mm, os escoamentos gerados (Pef) foram: 7,49 mm (1987), 5,09 mm (1998), 5,64 mm (2006), 3,69 mm (2018) e 3,55 mm (2020), mostrando redução de cerca de 52% entre 1987 e 2020.

## CONCLUSÃO

De modo geral, as alterações mais expressivas estiveram associadas à intensificação das respostas espectrais relacionadas à vegetação, conforme evidenciado pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Em contrapartida, o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) indicou uma redução progressiva e consistente na presença de corpos hídricos ao longo do período analisado. A partir dos resultados encontrados, observou-se uma evolução não linear do escoamento superficial ao longo do tempo. Considerando o período total de análise (1987–2020), verificou-se uma redução estimada de aproximadamente 20% na lâmina de escoamento superficial, conforme cálculos realizados com base no modelo Curva Número (SCS-CN). Simultaneamente, observou-se um aumento nos valores da Curva Número (CN) e da capacidade de retenção inicial (I<sub>a</sub>), ambos da ordem de 20%, indicando uma elevação da capacidade de infiltração do solo e, consequentemente, uma redução no volume de precipitação convertido em escoamento superficial.

Tais resultados sugerem que, ao longo das últimas décadas, as mudanças nas classes de cobertura do solo em Propriá contribuíram para a redução potencial do escoamento superficial, resultado, em grande parte, da substituição de áreas classificadas como Mosaico de Agricultura com Pastagem e Formações Savânicas por áreas predominantemente de Pastagem. Evidencia-se, assim, que a configuração do uso e ocupação do solo exerce influência direta sobre os processos hidrológicos da região, uma vez que as alterações nessas características ao longo do tempo afetam a capacidade do solo de reter e infiltrar a água das precipitações.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, código de financiamento 001, e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento à pesquisa e apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de doutorado. A CAPES pela concessão ao primeiro autor (Processo nº 88887.814388/2023-00), à segunda autora (Processo nº 88887.134583/2025-00) e ao quarto autor (Processo nº 88887.134143/2025-00). A FACEPE pela concessão à terceira autora (Processo IBPG-1279-3.01/22).

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. N. O.; SALGUEIRO, C. O. B.; CHAVES, J. V. B.; SANTOS, S. M.; OLIVEIRA, L. M. M. (2021) “Índices espectrais na detecção de corpo hídrico utilizando imagens do sensor MSI - Sentinel 2”. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, vol. 11, n. 2, p. 125-135. DOI: <https://doi.org/10.29150/2237-2202.2021.252362>.
- BESKOW S.; MELLO, C. R. d.; COELHO, G.; SILVA, A. M. d.; VIOLA, M. R. (2009). “Estimativa do escoamento superficial em uma Bacia Hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, pp. 169-178.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (2002). “Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe”. Diagnóstico do Município de Própria. Aracaju: CPRM.
- CUNHA, Z. A.; BESKOW, S.; MOURA, M. M.; BESKOW, T. L. C.; MELLO, C. R. (2021) “Adequacy of Methodologies for Determining SCS / CN in a Watershed with Characteristics of the Pampa Biome”. *Revista Ambiente & Água*, 16.4, p. 1-18.
- DUTRA, D. J.; BRIANEZI, D.; COELHO, C. W. G. A. (2020). “Uso de Geotecnologias para Análise da Dinâmica da Vegetação da Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, MG”. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* ISSN 0101-9759, e-ISSN 1982-3908, Vol. 43 – 4, p. 283-292.
- GAO, B. (1996). “NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space”. *Remote Sensing of Environment*, v.58, 257-266.

- IBGE. Instituição Brasileira de Geografia e Estatística. Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra. (2014). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html?edicao=16025&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: ago. 2022.
- LI, C.; LIU, M.; HU, Y.; SHI, T.; ZONG, M.; WALTER, M. T. (2018). “*Assessing the impact of urbanization on direct runoff using improved composite CN method in a large urban area*”. International Journal of Environment Research and Public Health, 15(775): 1-14.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. (1987). “*Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances*”. International Journal of Remote Sensing, 8, 517-523. doi: 10.1080/01431168708948658.
- MAPBIOMAS. (2022). “*Projeto MapBiomass – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*”. Brasil.
- MCFEETERS, S. K. (1996). “*The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*”. International Journal of Remote Sensing, v.17, n. 7.
- MEDEIROS , R. L. B.; SOUSA , G. M.; FIGUEIREDO, C. F. V.; FORMIGA , A. C. S.; OLIVEIRA , F. F. D.; OLIVEIRA, P. A. T.; NASCIMENTO, R. R. A.; MONTEIRO, A. O.; LEITE , A. C. N. (2022). “*Spectral response of the NDVI and NDWI behavior under different rainfall intensities in the city of Patos – PB*”. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 3, p. e49811326819.
- NAGEL, G. W.; TERRA, F. S.; OLIVEIRA, J. S.; HORÁK-TERRA, I.; BESKOW, S. (2020). “*Cálculo da curva número para bacia hidrográfica urbana utilizando diferentes abordagens de classificação para imagem orbital RapidEye: estudo de caso para o arroio Pepino (Pelotas, RS)*”. Pesquisas Em Geociências, 47(2), e092016. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.108583>
- OLIVEIRA, T. H.; OLIVEIRA, J. S. S.; PIMENTEL, R. M. M.; GALVÍNCIO, J. D. (2022). “*Spatial evolution of land use and land cover for the Tatu-Bola Wildlife Refuge - Pernambuco, using orbital images*”. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 38-59., ISSN 2237-2202. Doi: <https://doi.org/10.29150/2237-2202.2022.251975>.
- PORTO, R.L.L. (1995). “*Escoamento Superficial Direto*”. In: TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T (ORG.), Drenagem Urbana. Porto Alegre, Ed. da Universidade, ABRH/UFRGS, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.5, 428p., cap.4, p.107-166.
- PRUSKI, F. F.; FERREIRA, P. A.; RAMOS, M. M.; CECON, P. R. (1997). “*A model to design level terraces*”. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 123(1), pp.8-12.
- QUANG, C. N. X.; GIANG, N. N. H.; THINH, N. T. P. (2022). “*Impacts of urbanization and climate change on surface runoff in Thu Duc City, Vietnam*”. IOP Conf. Ser.: Earth Environ.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. (1974). “*Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*”. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Canada, May 27; 371.
- SCS. Soil Conservation Service. (1972). “*SCS National Engineering Handbook*”. Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- SILVA, G. A.; FARIA, C. W. L. A. (2021). “*Análise espaço-temporal da vegetação no semiárido do Nordeste brasileiro utilizando parâmetros biofísicos*”. Revista Semiárido De Visu, Petrolina, v. 9, n. 3, p. 195-203, 2021.
- TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. (2012). “*Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil*”. Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142.
- TUCCI, C. E. M. (2007). “*Escoamento Superficial*”. In: Tucci, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4º edição. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. Cap 11, p. 391-442.
- USGS. (2022). “*United States Geological Survey. Earth Explorer*”. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso: out. 2022.