

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA
PARAÍBA**

CAMPUS PATOS

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JUCÉLIO TORRES ALVES

**DURAÇÃO CRÍTICA DA CHUVA DE PROJETO A PARTIR DE VALORES DE
CURVE NUMBER PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE
ANTECEDENTES NA BACIA DO RIACHO DA PALMEIRA EM PATOS - PB**

PATOS - PB

2025

JUCÉLIO TORRES ALVES

**DURAÇÃO CRÍTICA DA CHUVA DE PROJETO A PARTIR DE VALORES DE
CURVE NUMBER PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE
ANTECEDENTES NA BACIA DO RIACHO DA PALMEIRA EM PATOS - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *Campus* Patos, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador (a): Profa. Dra. Tuane Batista do Egito

PATOS - PB

2025

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

A474d Alves, Jucélio Torres.

Duração crítica da chuva de projeto a partir de valores de curve number para diferentes condições de umidade antecedentes na bacia do riacho da palmeira em Patos - PB / Mateus de Sousa Dantas. - Patos, 2025.

32 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Engenharia Civil)-Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos-PB, 2025.

Orientador(a): Profa. Dra. Tuane Batista do Egito.

1. Curve Number 2. Bacia hidrográfica 3. Hidrologia I. Título II. Egito, Tuane Batista do III. Instituto Federal da Paraíba.

CDU – 556

JUCÉLIO TORRES ALVES

**DURAÇÃO CRÍTICA DA CHUVA DE PROJETO A PARTIR DE VALORES DE
CURVE NUMBER PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE
ANTECEDENTES NA BACIA DO RIACHO DA PALMEIRA EM PATOS - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *Campus* Patos, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

APROVADO EM: 24 / 03 / 2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Tuane Batista do Egito - Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Profa. Ma. Susana Cristina Batista Lucena – Examinadora interna

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Prof. Me. Yuri Tomaz Neves – Examinador externo

UNIFIP - Centro Universitário de Patos

*Nunca sabemos o valor da água
até que o poço esteja seco.*

-Thomas Fuller

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado de muito esforço, dedicação e, principalmente, do apoio incondicional de pessoas especiais que estiveram ao meu lado durante toda essa jornada. Por isso, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste sonho.

Aos meus pais, que com mãos calejadas e corações generosos tornaram meu sonho possível. Ao meu pai, pedreiro, que ensinou, com suor e exemplo, que nenhum alicerce é forte sem trabalho, e que nenhum sonho é alto demais quando se tem fé e determinação.

À minha mãe, guerreira dos serviços gerais, que varreu as dificuldades do caminho e limpou, com amor, os obstáculos que a vida colocou.

Aos dois, que, mesmo com a luta diária, nunca deixaram faltar o essencial: o incentivo, o carinho e a certeza de que a educação é a chave para abrir portas que o dinheiro não pode comprar. Este diploma é nosso. É fruto do suor de vocês, do sacrifício que nunca reclamaram, e da esperança que nunca perderam.

Aos meus amigos, que foram faróis nos meus dias mais escuros, e pontes sobre os abismos que precisei cruzar. Este trabalho é também de vocês, porque cada linha escrita carrega um pouco da resiliência que aprendi ao seu lado, e cada cálculo feito reflete a precisão do apoio que me deram.

A minha noiva, Dra. Carla de Sousa Pereira este trabalho é também seu, pois cada conquista minha é, de alguma forma, um reflexo do amor e da inspiração que você me dá. Que a vida nos permita continuar trilhando juntos este caminho de aprendizado e sonhos realizados.

Obrigado por transformarem minhas cicatrizes em histórias de superação, e por serem a prova de que, mesmo nos momentos mais traumatizantes, não estamos sozinhos. Obrigado por serem minha inspiração.

RESUMO

Este estudo avalia a influência do *Curve Number* (CN) na determinação da duração crítica da chuva de projeto em áreas urbanas, utilizando como estudo de caso a bacia hidrográfica do Riacho da Palmeira, localizada na zona urbana de Patos-PB. O CN é um parâmetro fundamental para estimar o escoamento superficial, considerando o uso e ocupação do solo, a capacidade de infiltração e as condições de umidade antecedentes. O trabalho comparou dois conjuntos de dados de CN: o GCN 250 (global) e os valores da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), aplicando-os em modelagens hidrológicas no software HEC-HMS para simular vazões de pico em diferentes tempos de retorno (2, 10, 25, 50 e 100 anos). A análise comparativa entre os dados da ANA e do GCN 250 revelou que os CN da ANA apresentaram menor variação nos tempos de duração crítica da chuva, sugerindo maior adequação para estudos em bacias brasileiras. Já o GCN 250 mostrou maior dispersão nos resultados, possivelmente devido à sua aplicação global. Concluiu-se que a escolha do CN influencia significativamente o dimensionamento de estruturas de drenagem, e a utilização de valores inadequados pode levar a projetos subdimensionados ou superdimensionados. Portanto, recomenda-se a utilização de dados de CN específicos para a região estudada, como os fornecidos pela ANA, para maior precisão nas modelagens hidrológicas e na prevenção de eventos extremos, como enchentes e assoreamento de corpos hídricos.

Palavras-chave: *Curve Number* (CN); Duração da chuva crítica; Vazão de pico; Bacia hidrográfica urbana; Modelagem hidrológica.

ABSTRACT

This study evaluates the influence of the Curve Number (CN) on determining the critical duration of design rainfall in urban areas, using the Riacho da Palmeira watershed, located in the urban zone of Patos-PB, as a case study. The CN is a key parameter for estimating surface runoff, taking into account land use and cover, infiltration capacity, and antecedent moisture conditions. The study compared two sets of CN data: the GCN 250 (global) and values provided by the National Water and Sanitation Agency (ANA) of Brazil. These were applied in hydrological modeling using the HEC-HMS software to simulate peak flows for different return periods (2, 10, 25, 50, and 100 years). The comparative analysis between the ANA and GCN 250 data revealed that the ANA CN exhibited less variation in critical rainfall durations, suggesting greater suitability for studies in Brazilian watersheds. In contrast, the GCN 250 showed greater dispersion in results, likely due to its global application. The study concluded that the choice of CN significantly influences the design of drainage structures, and the use of inappropriate values can lead to under- or over-sized projects. Therefore, it is recommended to use region-specific CN data, such as those provided by the ANA, to enhance the accuracy of hydrological modeling and improve the prevention of extreme events, such as floods and sedimentation in water bodies.

Keywords: Curve Number (CN); Critical Rainfall Duration; Peak Flow; Urban Watershed; Hydrological Modeling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. METODOLOGIA	12
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	12
2.2. MODELAGEM HIDROLÓGICA.....	15
3. RESULTADOS	20
4. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	32

1. Introdução

O crescimento urbano desordenado traz mudanças significativas para o escoamento superficial e das águas pluviais em corpos hídricos. Souza *et al.* (2015) destaca que por vezes este fator é desprezado em estudos de balanço hídrico, porém ele é um dado importante, principalmente em regiões semiáridas, onde geralmente ocorrem longos períodos de seca, interrompidos por chuvas de alta intensidade. “O escoamento superficial depende da declividade do terreno, do tipo de cobertura do solo, da intensidade da chuva e da capacidade de infiltração de água no solo” (Souza *et al.*, 2015, p.2).

Ballardin *et. al.*, (2023) afirma que o aumento do escoamento superficial com a mudança do uso do solo pode causar enchentes, assoreamento de corpos hídricos, e desequilibrando assim o ciclo hidrológico de uma região.

O *Curve Number* ou Curva Número (CN) é um método amplamente utilizado para determinar uma aproximação do escoamento superficial de um evento de chuva em uma determinada área. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) destaca que o método foi desenvolvido pelo SCS (*Soil Conservation Service*) em 1957 para um evento particular, mas pode ser redirecionado e usado para definição de valores de escoamento superficial anuais (ANA, 2018, p.2).

De acordo com Carvalho e Rodrigues (2021), o valor de CN determina em uma bacia hidrográfica a probabilidade de escoamento superficial levando em consideração o uso e ocupação do solo e depende da sua capacidade de armazenamento. Collischonn e Dornelles (2013) aponta que o CN é um parâmetro adimensional cujo valor varia entre 0 e 100, sendo que 0 corresponde a um solo de capacidade de infiltração infinita e 100 corresponde a um solo completamente impermeável.

Para uma mesma bacia é possível encontrar diferentes valores de CN, essa variação se dá através de fatores, como as condições de umidade antecedentes, estágio de crescimento das plantas, e as características de intensidade, duração e distribuição temporal da chuva, portanto, torna-se necessário a adoção de um CN médio, para fins de projetos.

Innocente *et. al.* (2018) explica que modelos hidrológicos estimam a vazão de projeto utilizando o pior cenário possível, assim o tempo de duração da chuva que provoca a maior vazão de pico provoca o pior cenário. Portanto, os modelos buscam a determinação da duração de chuva crítica com potencial de danos na bacia a fim de buscar soluções e evitar desastres.

De acordo com Maidment (1993), há uma duração crítica de chuva que fornece a máxima vazão de pico que é buscada a partir da análise de gráfico de probabilidade que relaciona as chuvas de projeto com as durações dos eventos.

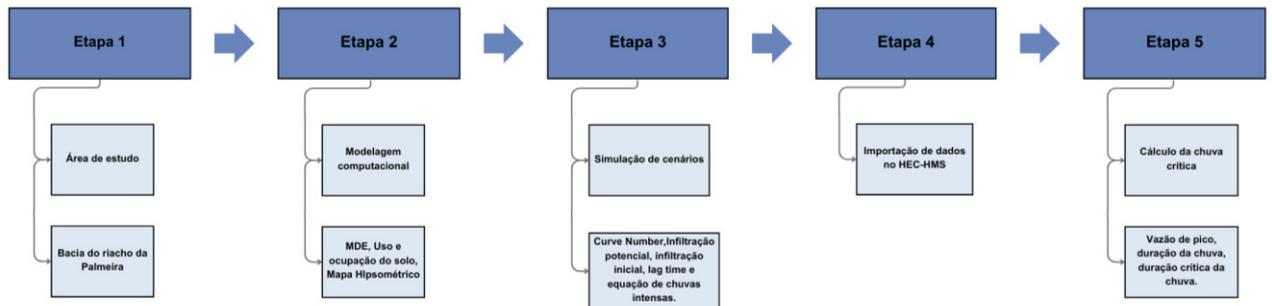
Conforme relatado no estudo de Soomro *et. al.* (2019) O CN é um dos mais influentes parâmetros na simulação do escoamento direto e demonstrou que o intervalo de variação de CN acarreta em consequências diretas no escoamento superficial.

Nessa ótica, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do *Curve Number* na determinação da duração crítica da chuva de projeto em áreas urbanas, tomando como base a bacia do Riacho da Palmeira localizado na zona urbana de Patos-PB.

2. Metodologia

O estudo da modelagem hídrica e das vazões foi realizado em conformidade com a metodologia estabelecida no diagrama, mostrado na figura 1. Cada fase do processo foi seguida meticulosamente, garantindo a correta aplicação das técnicas e procedimentos indicados. Esse rigor metodológico resultou em dados precisos e coerentes com os objetivos do estudo, proporcionando uma análise aprofundada e confiável das vazões e da dinâmica hídrica envolvida.

Figura 1 - Diagrama das metodologias adotadas no estudo

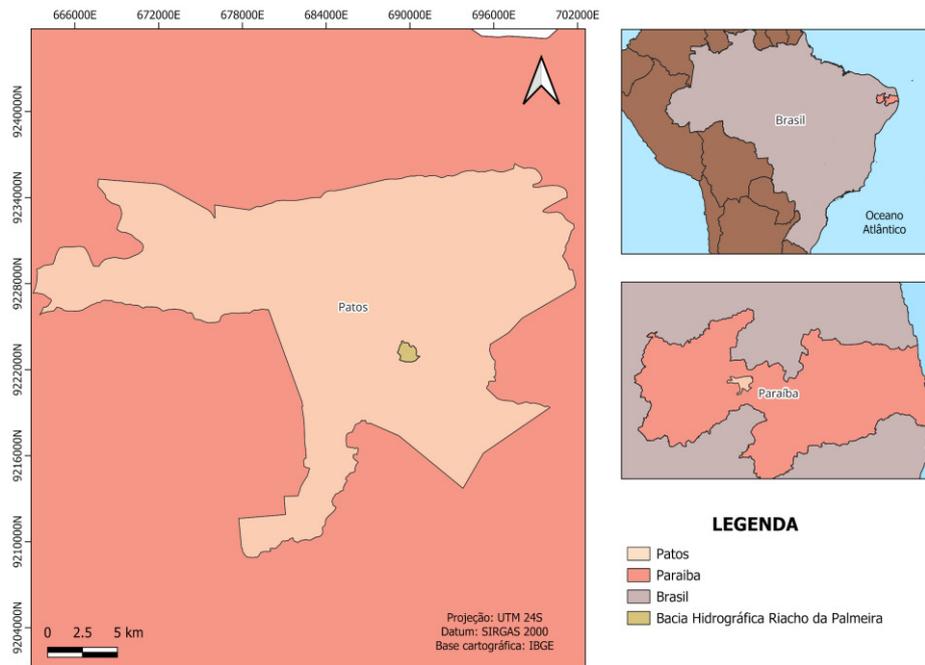


Fonte: Autor, 2025.

2.1. Área de estudo

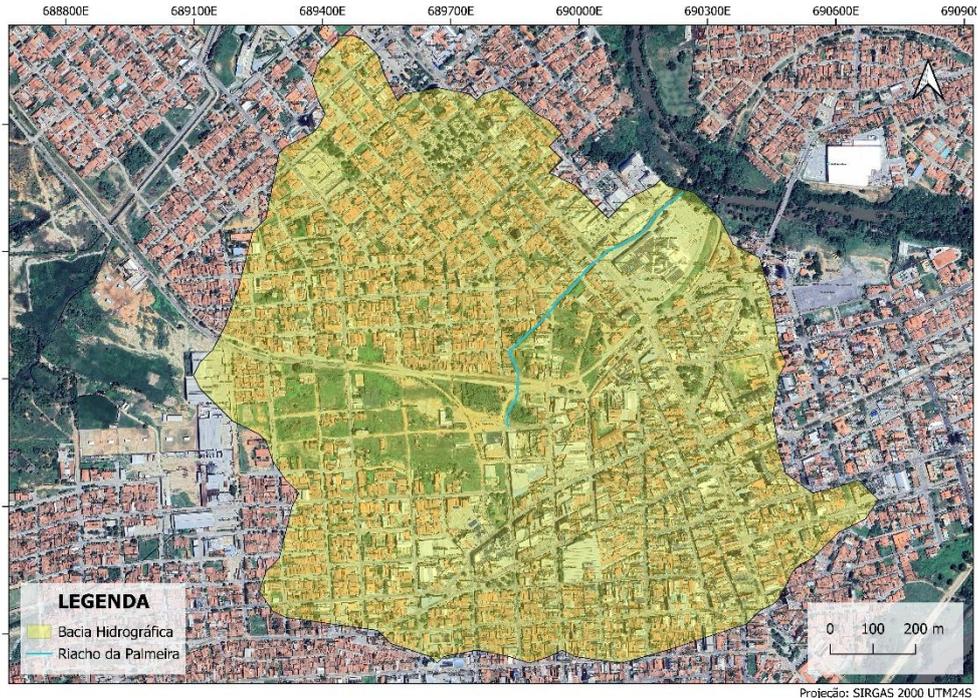
A área de estudo consiste na bacia hidrográfica do Riacho da Palmeira, que compreende trechos dos bairros Centro, Liberdade, Jardim Queiroz e Belo horizonte na cidade de Patos - PB, que compreende uma área total de 1,47 km², conforme as figuras 2 e 3, a seguir:

Figura 2 - Localização do estudo



Fonte: Autor, 2025.

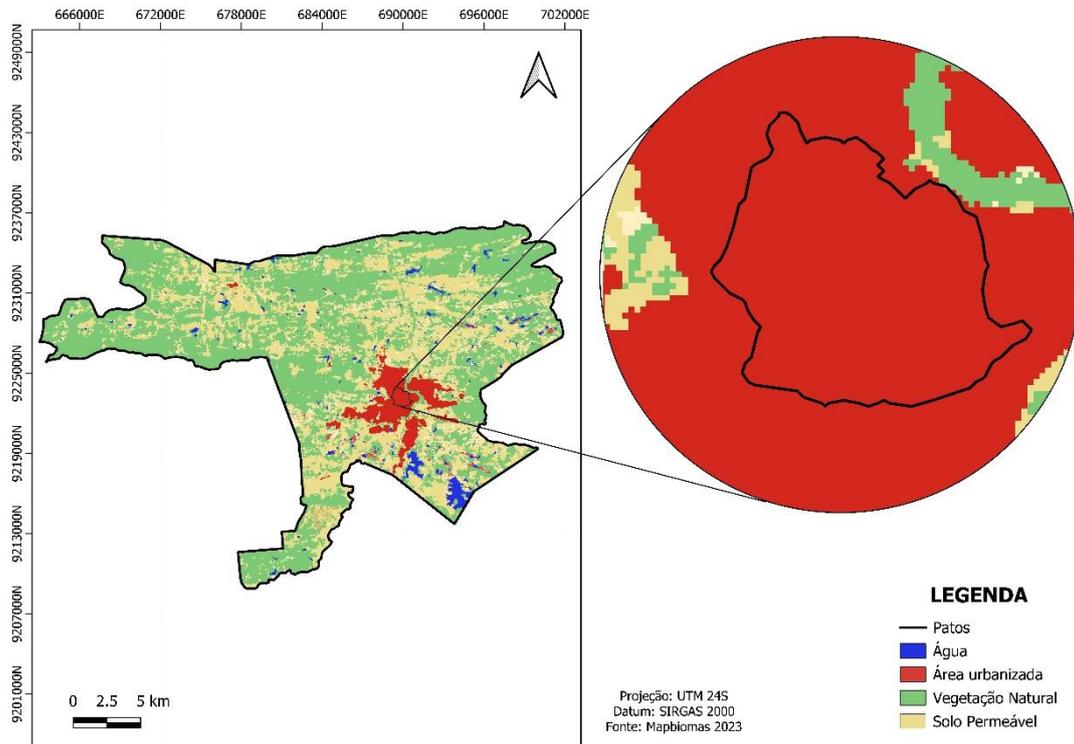
Figura 3 - Delimitação da bacia hidrográfica



Fonte: Autor, 2025.

A bacia do riacho da palmeira tem seu exutório no Rio Espinharas. A caracterização do uso e ocupação do solo na extensão da bacia está classificada predominantemente como urbanizada, compreendendo cerca de 98% da área total, portanto, a cobertura do solo apresenta-se majoritariamente impermeabilizada, conforme mapa de uso e ocupação na figura 4, abaixo.

Figura 4 - Mapa de uso e ocupação do solo no município de Patos - PB.



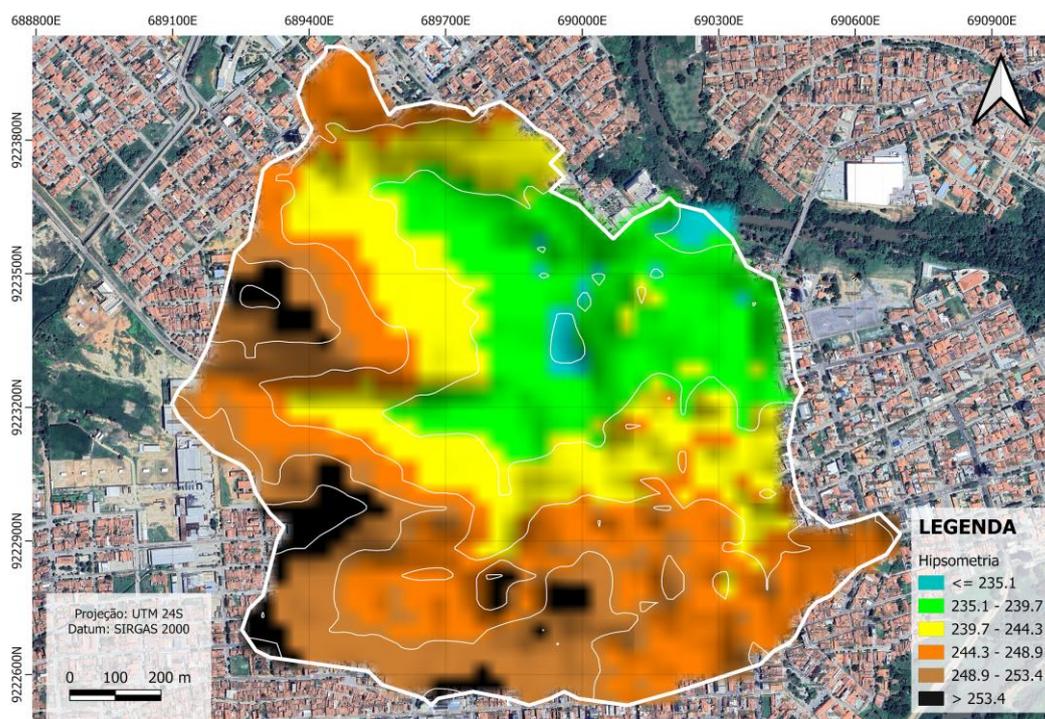
Fonte: Autor, 2025.

O Riacho da Palmeira provê uma vazão volumosa de águas durante os períodos de chuvas, representando um corpo hídrico sazonal, onde em períodos de estiagem seu volume de escoamento limita-se a uma parcela onde há despejo de esgoto não tratado.

O curso d'água percorre uma extensão de 758 metros, com início no bairro do Jardim Queiroz, e tem seu exutório no Rio Espinharas, possuindo uma declividade média de 0,0072 m/m, decorrente do desnível de aproximados 5,45m entre a cota inicial do curso d'água e seu exutório no Rio Espinharas, de acordo com os dados levantados a partir da visita *in loco* e no *software* QGIS 3.36.0.

A figura 5, apresenta um mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Riacho da Palmeira.

Figura 5 - Mapa hipsométrico



Fonte: Autor, 2025.

Dados pluviométricos (INMET, 2021) apontam uma concentração de chuvas no primeiro trimestre do ano. As normais climatológicas no período entre os anos de 1991 a 2020 mostram que o mês que obteve um maior cumulativo de precipitação foi o mês de março, totalizando uma quantidade de 184,2 mm, com número de dias no mês com precipitação ≥ 1 mm de 4,6 dias no 3º decênio que compreende o intervalo de anos entre 2010 a 2020.

2.2. Modelagem Hidrológica

A definição dos limites da Bacia do Riacho da Palmeira foi feita utilizando o *software* QGIS 3.36.0. Esse *software* foi usado para mapear e analisar as características hidrológicas da bacia, permitindo uma compreensão mais detalhada do comportamento e das condições da área a partir da utilização de complementos com potencial de realizar a delimitação da bacia. O sistema de coordenadas adotado foi o Sistema de Referência Geodésica para as Américas (SIRGAS 2000) utilizado no Brasil e em outros países da América Latina e baseado no Sistema Internacional de Referência Terrestre (ITRS) e fornece coordenadas geográficas mais precisas para aplicações como cartografia, georreferenciamento e navegação por GPS. A coordenada

geográfica compatível com a localização da bacia foi a Universal Transversa de Mercator (UTM) no fuso 24S, conforme a localização da bacia em estudo na cidade de Patos.

Para o estudo, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) *Copernicus* 30m, que segundo Data (2023) oferece dados sobre a elevação da superfície terrestre com resolução espacial de 30 metros, retratando assim a topografia da área observada. O MDE *Copernicus* 30m é um Modelo Digital de Elevação global criado pela *The European Space Agency*, sendo munido pela família de satélites *Sentinel* projetados especificamente para atender às necessidades dos serviços *Copernicus* e seus usuários.

Para o cálculo do CN foram utilizados dois conjuntos de dados: o GCN250 e a base de dados CN da ANA, onde para cada base de dados, foram utilizados os valores mínimos, médios e máximos de CN.

O GCN 250 foi criado a partir da combinação dos dados globais de uso e cobertura do solo da Agência Espacial Europeia (*European Spatial Agency* - ESA) através do Projeto de Cobertura do Solo da Iniciativa para Mudanças Climáticas (*Climate Change Initiative Land Cover Project* - CCI-LC) e do produto global de grupos hidrológicos de solo (HYSOGs250m), ambos com resolução espacial semelhante e utilizando séries temporais desde 1992 até o presente. O GCN 250 oferece três cenários de CN, denominados de acordo com a condição de escoamento antecedente (*antecedent runoff conditions* - ARC), onde o ARC I, representa uma alta capacidade de infiltração devido ao solo seco; ARC II, que reflete condições moderadas de infiltração; e ARC III, que aponta para um elevado escoamento superficial, conforme descrito por Jaafar e Ahmad (2019).

A metodologia do estudo para determinação do GCN250 foi baseada em três entradas principais para gerar os dados: mapas de uso e cobertura do solo, grupos de solos hidrológicos e tabelas de números de curva. A cobertura do solo foi classificada em classes hidrológicas da *National Engineering Handbook - 630* (NHE-630) publicado pelo *USDA Soil Conservation Service* (SCS) e ajustada para uma resolução espacial de 250 metros.

A ANA determina o CN através da classificação hidrológica dos solos brasileiros conforme Sartori *et al.* (2005) e o cruzamento desses dados com informações de uso e ocupação da terra do IBGE, em uma grade de 1 km x 1 km. Esse processo ajusta os valores de CN de acordo com as características locais de solo e uso da terra, permitindo sua aplicação em modelagens hidrológicas.

Os dados da ANA são integrados à Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), que classifica as bacias hidrográficas em múltiplas escalas de acordo com a metodologia de Otto Pfafstetter. Essa integração possibilita a determinação exata dos valores de CN, utilizados em modelagens hidrológicas para simular escoamento superficial, tanto em eventos de chuva isolados quanto em avaliações anuais.

Para cada CN foram extraídos os dados do QGIS e tabulados no *Excel*, onde foi realizada a média ponderada considerando a área da bacia e os distintos valores de CN encontrados. Resultando assim, em seis valores médios de CN, sendo para cada base de dados, um valor mínimo, médio e máximo de curva número descrito na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Base de dados e valores equivalentes

Base de dados	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo
ANA	BHO 2014 MINIMO	BHO 2014 MÉDIO	BHO 2014 MAXIMO
GCN 250	ARC I	ARC II	ARC III

Fonte: Autor, 2025.

Após a determinação dos CN, foi calculado a máxima infiltração acumulada potencial (S), também conhecida como infiltração potencial. Como relata Collischonn e Dornelles (2013) a infiltração potencial representa a quantidade máxima de água que um solo pode absorver antes de atingir o ponto total de saturação, como mostra a equação 1.

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (1)$$

Onde *CN* é o *Curve Number* e *S* é a infiltração potencial em milímetros.

Seguidamente, deu-se o cálculo da infiltração inicial (*I_a*), que segundo Dornelles (2013) é o volume de água retido pelo solo, antes que ocorra o escoamento superficial. Este dado foi determinado de acordo com a equação 2.

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad (2)$$

Onde o coeficiente *S* é a máxima concentração acumulada potencial em milímetros.

A análise do uso e ocupação do solo foi realizada com base nos dados disponibilizados pela plataforma MAPBIOMAS 2022, um dos principais instrumentos para monitorar a cobertura e o uso do solo no Brasil. Essas informações foram inseridas no QGIS e foram

tabuladas as áreas e porcentagens para os tipos de cobertura do solo na região da bacia em estudo.

Na modelagem hidrológica, foram empregadas diferentes técnicas para estimar a vazão de projeto, como a equação de chuva, a equação de Carter, índices de infiltração inicial, os dados de chuva pelo método de Huff, a fim de garantir a precisão na simulação dos processos hidrológicos da região estudada.

Para cálculo do tempo de concentração foi utilizada a equação de Carter, que de acordo com Silveira (2005) em um estudo comparativo de metodologias de cálculo de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais, identificou-se como a metodologia mais adequada para bacias urbanas de até 21 km², sendo mensurado a partir da equação 3.

$$t_c = 5,96 \cdot \frac{L^{0,6}}{S^{0,3}} \quad (3)$$

Onde:

- t_c é o tempo de concentração em minutos;
- L é o comprimento do curso d'água em quilômetros;
- S é a declividade do curso d'água em metros.

Com o T_c calculado, o *lag time* foi determinado multiplicando-se o valor do T_c por 0,6, valor que mensura o intervalo de retardo entre o pico da chuva e o pico da vazão, e assim avaliar a capacidade da bacia de absorver e conduzir a água.

A intensidade de precipitação refere-se à quantidade de chuva que ocorre por unidade de tempo, geralmente medida em milímetros por hora (mm/h). No presente estudo, essa intensidade foi determinada através do método de Huff, que organiza a distribuição da chuva ao longo do tempo.

A equação de chuva foi empregada para descrever como a precipitação se distribui ao longo do tempo. A partir dos dados de chuva obtidos com este cálculo foi realizada a simulação do escoamento de água e avaliada a disponibilidade de recursos hídricos, fornecendo uma análise detalhada da quantidade e da distribuição da chuva durante eventos específicos. Para o cálculo, foi utilizado equação 4:

$$i = \frac{a \cdot T_r^b}{(t_c + c)^d} \quad (4)$$

Onde:

- i é a intensidade de chuva em (mm/h);

- T_r é o tempo de retorno em anos;
- t_c é o tempo de concentração em minutos.

Os parâmetros a, b, c e d foram empregados os dados do estudo de Nóbrega e Neves (2024) obtidos através dos diários da estação Patos/EMBRAPA de 1994 a 2022 fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs).

No *software* HEC-HMS 4.12, foram importados os *shapefiles* da bacia e do riacho anteriormente criados a partir do *software* QGIS 3.36. Foram incluídos dados primordiais para a simulação, como o *Curve Number* (CN) para estimar o escoamento, o índice de infiltração inicial (Ia), *lag time* e informações sobre o uso do solo, inseridos de acordo com os tempos de retorno avaliados no estudo (2, 10, 25, 50 e 100 anos).

Utilizou-se o 1º quartil para os dados de chuva, que compreende precipitações de até 6 horas de duração. Foram realizadas sucessivas simulações a fim de estimar a vazão de pico para cada CN utilizado no estudo, bem como para os tempos de retorno já mencionados, resultando em 30 valores de vazão de pico, com os respectivos tempos de chuva, que apontam aproximações da taxa máxima de escoamento da bacia em situações de precipitação intensa.

3. Resultados

A caracterização da bacia hidrográfica do Riacho da Palmeira, através da aplicação dos métodos de tratamento e cálculo descritos no presente trabalho, forneceu dados necessários para determinar a vazão de projeto de cada situação a ser analisada.

O solo da bacia hidrográfica do Riacho da Palmeira se enquadra na classificação de uso do solo de área urbana, no qual foi avaliado um tempo de concentração de 22,18 minutos e o *lag time* estipulado em 13,31 minutos. Os valores encontrados condizem com o previsto em análises prévias, onde o valor de tempo de concentração é diretamente proporcional às dimensões da bacia, ou seja, quanto maior a bacia, maior o tempo de concentração.

Para uma análise mais aprofundada foram estabelecidos intervalos de tempo de retorno de evento crítico iguais a 2, 10, 25, 50 e 100 anos, que de acordo com a CETESB (1986) são os períodos de retorno recomendados para diferentes ocupações, englobando desde a micro drenagem (residencial, comercial, áreas com edifício de serviços públicos, etc.) com TR de 2 a 25 anos, e até macrodrenagem (áreas comerciais e residenciais) com período de 50 a 100 anos. É empregado no estudo, baseado na justificativa da alta densidade de construção e impermeabilização do solo por se tratar de uma bacia locada em área urbana, onde o escoamento superficial tende a ser mais volumoso e conseqüentemente a adoção de tempos de retorno mais longos garante uma prevenção a eventos raros e extremos. Cada tempo de retorno foi aplicado para os valores de CN aplicados no estudo.

Os dados de CN calculados estabelecem o condicionamento do solo previamente a ocorrência pluviométrica. Foram mensurados seis valores de CN conforme a tabela 1 a seguir:

Tabela 2 - Valores de *Curve number*.

CURVE NUMBER	VALOR
GCN 250 ARC I	75,99
GCN 250 ARC II	88,60
GCN 250 ARC III	95,40
BHO 2014 (MÍNIMO)	85,79
BHO 2014 (MÉDIO)	92,06
BHO 2014 (MÁXIMO)	93,00

Fonte: Autor, 2025.

Os valores de infiltração inicial e potencial foram calculados separadamente para cada *Curve Number* (CN), conforme detalhado na Tabela 2. Esta tabela apresenta os valores de CN para diversas condições e padrões de infiltração. Valores menores de CN indicam uma maior capacidade de infiltração inicial e potencial, enquanto valores maiores indicam uma menor infiltração e um maior escoamento superficial.

Tabela 3 - Valores de infiltração

CURVE NUMBER	INFILTRAÇÃO	INFILTRAÇÃO
	POTENCIAL (mm)	INICIAL (mm)
GCN 250 ARC I	80,24	16,05
GCN 250 ARC II	32,70	6,54
GCN 250 ARC III	12,25	2,45
BHO 2014 (MÍNIMO)	42,07	8,41
BHO 2014 (MÉDIO)	21,91	4,38
BHO 2014 (MÁXIMO)	19,12	3,82

Fonte: Autor, 2025.

As vazões de pico de projeto e os tempos de duração de chuva encontrados na simulação no HEC-HMS para cada valor de CN considerado no estudo estão descritos na tabela 3, abaixo:

Tabela 4 - Vazões de pico e tempos de duração de chuva de projeto para os valores de CN.

TR	CN	BHO MIN	BHO MED	BHO MAX	ARC I	ARC II	ARC III
2	VAZÃO DE PICO (m ³ /s)	5,66583	10,21185	11,23936	2,31866	7,25162	14,31209
	TEMPO (min)	42	28	28	75	40	26
	DURAÇÃO DA CHUVA (horas)	2	1	1	4	2	1
10	VAZÃO DE PICO (m ³ /s)	16,81882	22,22063	26,55827	9,11791	20,07957	30,88715
	TEMPO (min)	29	32	25	44	27	24
	DURAÇÃO DA CHUVA (horas)	1	2	1	2	1	1

	VAZÃO DE PICO (m³/s)	28,2583	39,2636	41,10194	17,26756	33,2021	46,06577
25	TEMPO (min)	27	25	25	40	26	24
	DURAÇÃO DA CHUVA (horas)	1	1	1	2	1	1
	VAZÃO DE PICO (m³/s)	42,16208	54,08467	56,7727	27,72764	47,19605	61,49642
50	TEMPO (min)	26	24	24	29	25	23
	DURAÇÃO DA CHUVA (horas)	1	1	1	1	1	1
	VAZÃO DE PICO (m³/s)	59,97719	73,4318	75,63343	42,4854	65,75262	81,36989
100	TEMPO (min)	25	24	24	28	25	23
	DURAÇÃO DA CHUVA (horas)	1	1	1	1	1	1

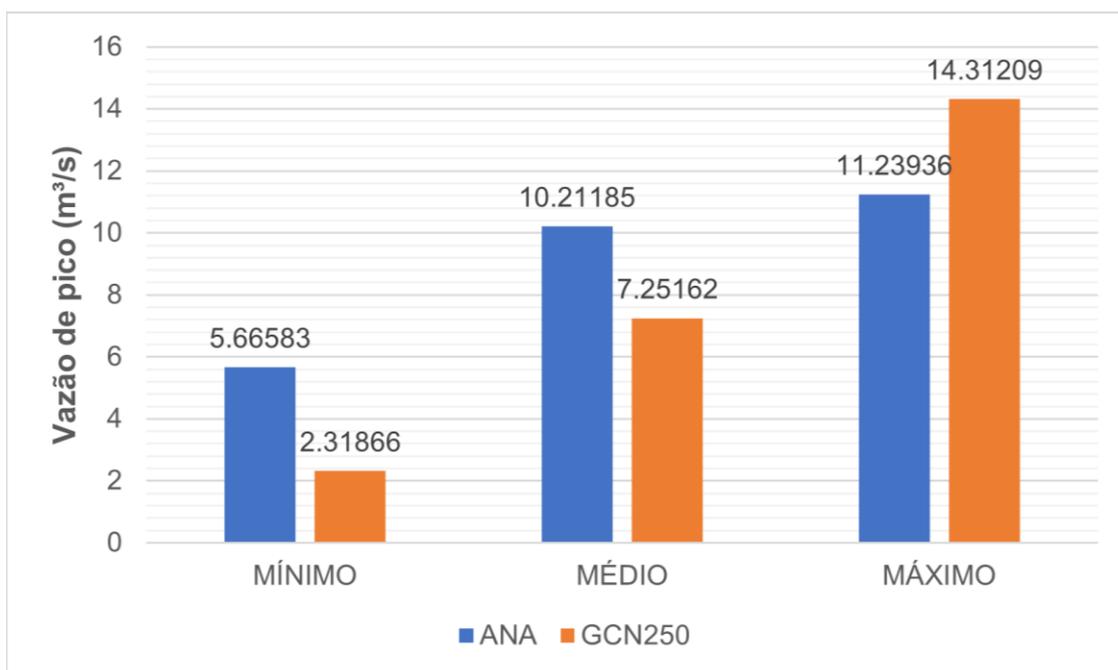
Fonte: Autor, 2025.

A partir dos dados da tabela é possível observar algumas informações relevantes. As vazões de pico registradas para as simulações com os valores de CN fornecidos pela ANA são menores para o CN mínimo, intermediárias para o CN médio e maiores para o CN máximo, o que já era esperado tendo em vista que os maiores valores de CN indicam solo mais saturado, ou seja, com menor capacidade de infiltração, gerando maior escoamento superficial. O mesmo padrão se repetiu comparando os valores encontrados para os testes realizados com os valores de CN do GCN 250 onde o CN ARC I teve vazões de pico menores, o ARC II teve vazões de pico com valores intermediários e o ARC III apresentou as maiores vazões de pico.

Com relação aos tempos de retorno observou-se que quanto maior o tempo de retorno maior a vazão de pico esperada para cada CN. A análise dos tempos de duração da chuva demonstrou que os CN atribuídos a o solo seco, apresentaram um valor de tempo de chuva mais duradoura para atingir o pico de vazão no escoamento, devido à maior capacidade de infiltração de água no solo expressa no baixo valor de CN atrelado ao solo seco (BHO MIN e ARC I).

Na figura 6, podem ser observados os resultados encontrados através das simulações para o tempo de retorno de 2 anos.

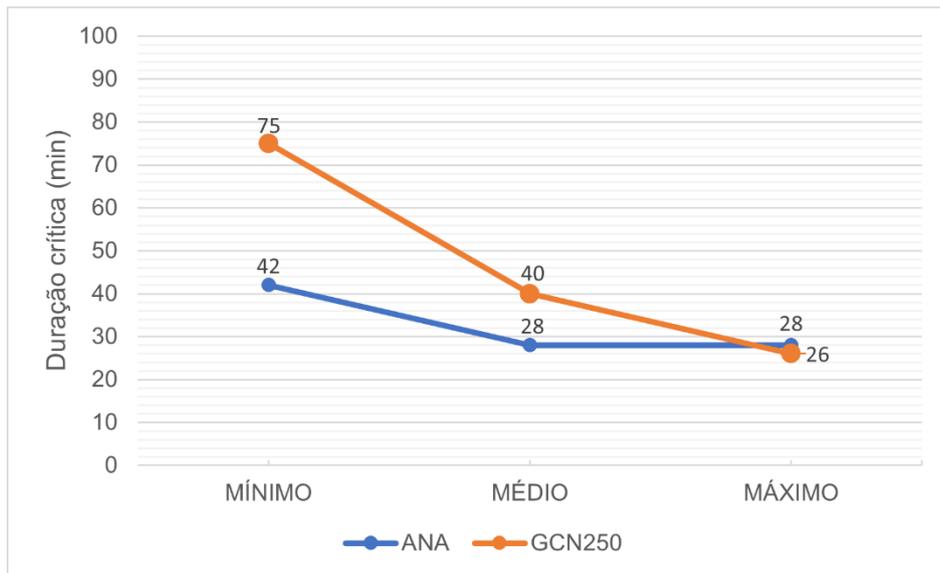
Figura 6 - Vazões de pico para o tempo de retorno de 2 anos.



Fonte: Autor, 2025.

Analisando a figura 6, é possível inferir que o BHO máximo da GCN250 tem a maior vazão de pico entre os CN em estudo mostrando uma vazão de aproximadamente 14,31 m³/s, porém o CN ARC III alcançou a maior vazão de pico no menor tempo de duração da chuva crítica, medido em 26 minutos, já o ARC I teve a menor vazão de pico (2,32 m³/s) com o maior tempo de chuva crítica (75 minutos) para o tempo de retorno de 2 anos. Já a figura 7 mostra os resultados para o tempo duração crítica da chuva no tempo de retorno de 2 anos:

Figura 7 – Tempo de chuva crítica para o tempo de retorno de 2 anos.

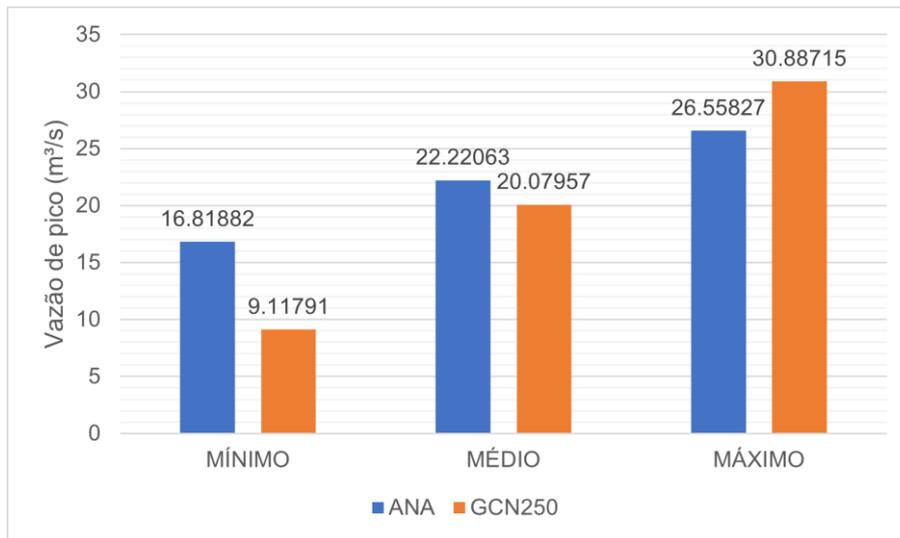


Fonte: Autor, 2025

De acordo com o valor de CN mais altos, ou seja, o solo mais saturado e impermeável, é previsto que o tempo para se atingir a vazão máxima de escoamento superficial revele uma tendência a diminuir, fato evidenciado com os dados do tempo de retorno de 2 anos, onde para ambas as bases de dados de CN se comprovou essa redução na duração crítica da chuva, porém, para os valores médio e máximo da ANA o tempo de duração permaneceu o mesmo (28 minutos), entretanto houve um aumento da vazão.

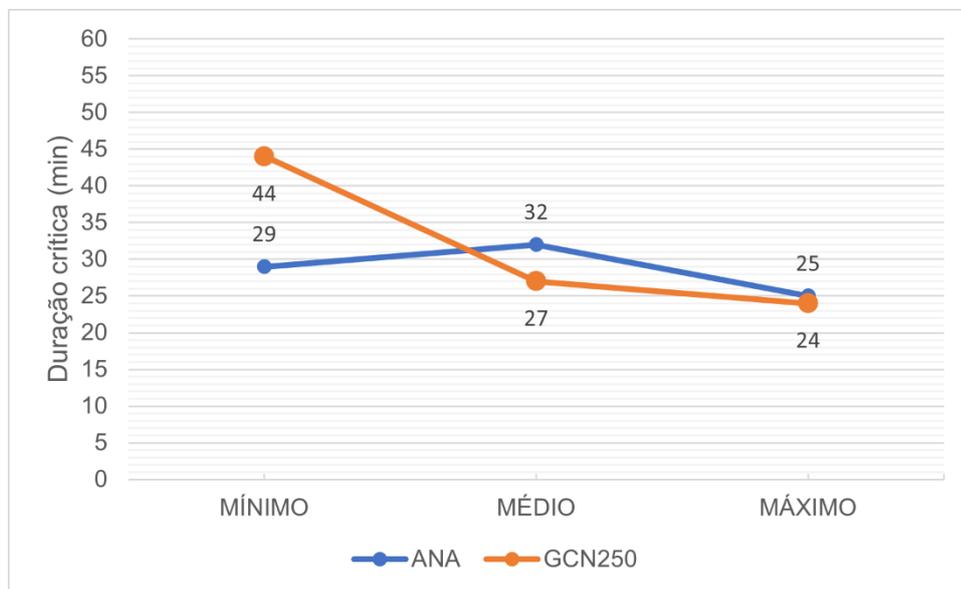
Para o tempo de retorno de 10 anos conforme a figura 8, o padrão de vazões de pico mostra-se semelhante ao obtido para o TR de 2 anos, porém os tempos encontrados para a chuva crítica são menores, apresentados na figura 9. O ARC III é o CN que apresenta maior vazão de pico (30,88715 m³/s) no menor tempo de chuva (24 minutos), para o tempo de retorno de 10 anos.

Figura 8 – Vazões de pico para o tempo de retorno de 10 anos.



Fonte: Autor, 2025.

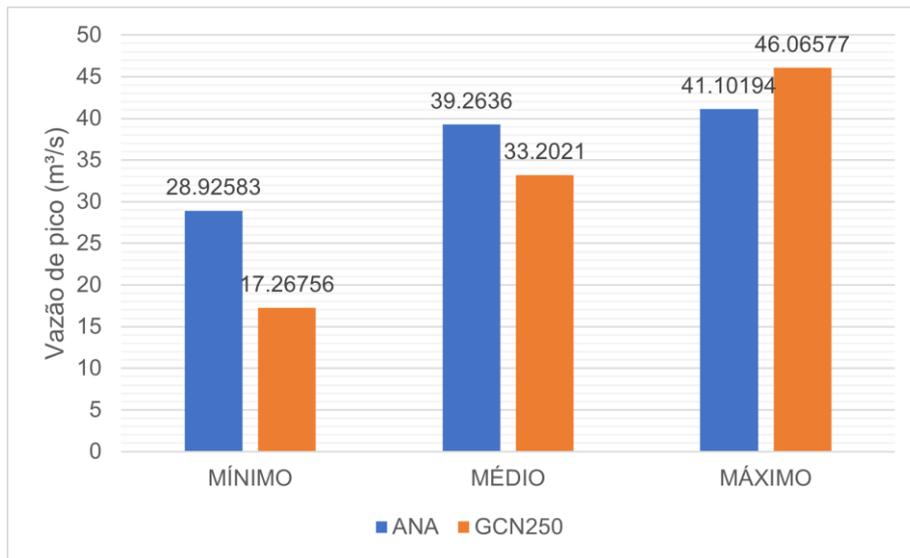
Figura 9 – Tempo de chuva crítica para o tempo de retorno de 10 anos.



Fonte: Autor, 2025.

Podem ser vistos os dados obtidos pelas simulações para o tempo de retorno de 25 anos na figura 10.

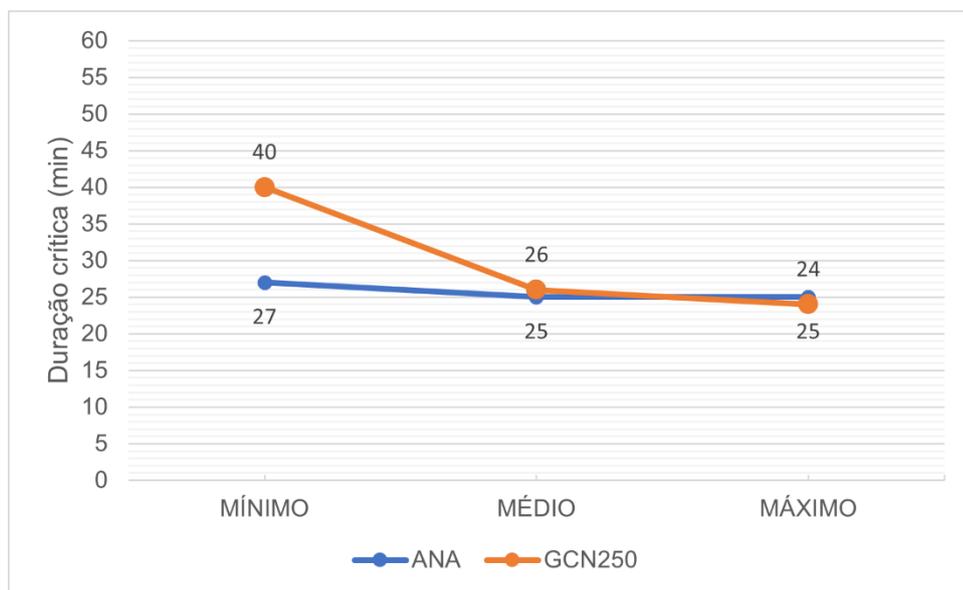
Figura 10 - Vazões de pico para o tempo de retorno de 25 anos.



Fonte: Autor, 2025.

O ARC III para o tempo de retorno de 25 anos também se apresenta como o CN com maior vazão de pico (46,06577 m³/s) e menor tempo de chuva crítica (25 minutos). É possível observar ainda na figura 11, que a média do tempo de chuva crítica foi reduzida.

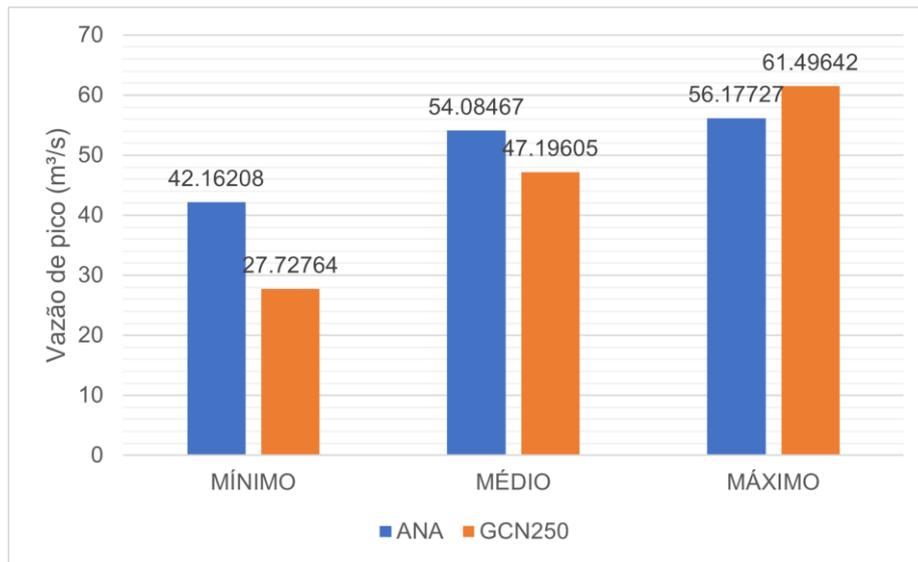
Figura 11 – Tempo de chuva crítica para o tempo de retorno de 25 anos.



Fonte: Autor, 2025.

A seguir a figura 12 mostra os resultados para o tempo de retorno de 50 anos.

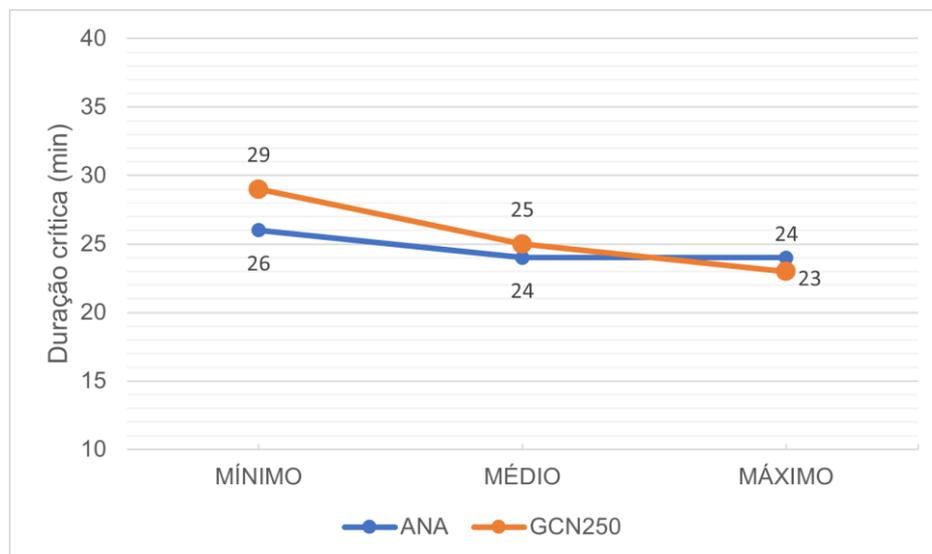
Figura 12 - Vazões de pico para o tempo de retorno de 50 anos.



Fonte: Autor, 2025.

Para o tempo de retorno de 50 anos verificou-se uma maior disparidade entre as vazões entre a base de dados da ANA e da GCN250 nos valores mínimos e médios de CN. A duração crítica da chuva no tempo de retorno de 50 anos manteve uma duração sem variações significativas conforme informa a figura 13.

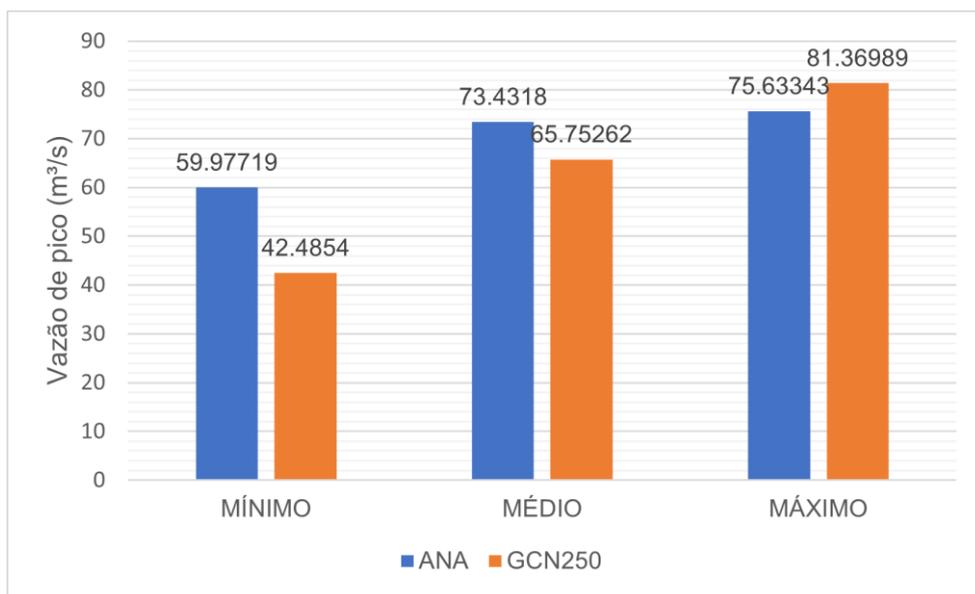
Figura 13 - Duração crítica da chuva para o tempo de retorno de 50 anos



Fonte: Autor, 2025.

Por fim, a figura 14 traz as vazões de pico correlacionadas para os CN considerando o tempo de retorno de 100 anos.

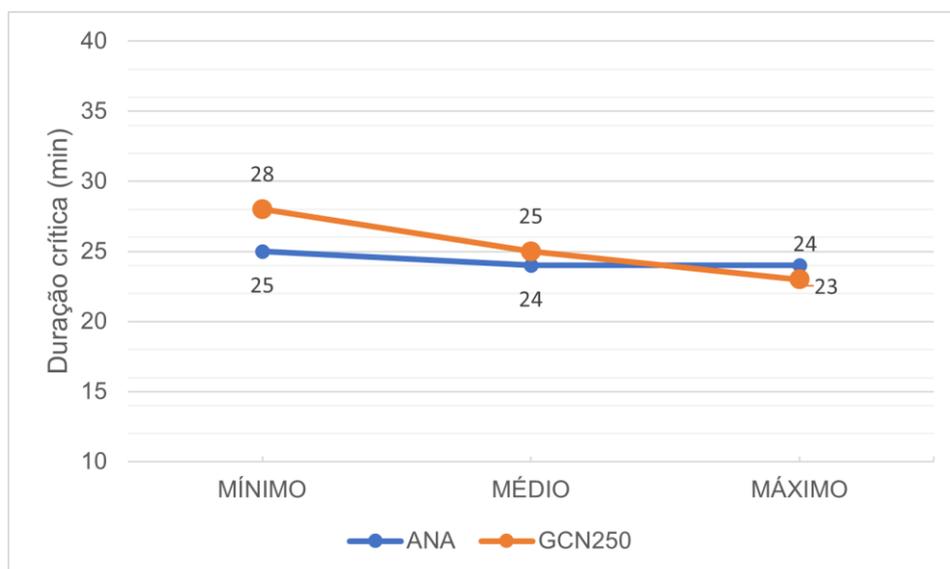
Figura 14 - Vazões de pico para o tempo de retorno de 100 anos.



Fonte: Autor, 2025.

Observou-se no gráfico acima que os valores de CN mínimo e máximo da GCN250 apresentaram a menor e a maior vazão de pico, respectivamente. A duração de chuva crítica apresentou-se da seguinte forma:

Figura 15 - Duração crítica da chuva para o tempo de retorno de 100 anos.



Fonte: Autor, 2025.

Fazendo uma análise mais generalizada sobre os resultados de vazões de pico expostos é possível inferir que os dados de *Curve Number* do GCN 250 geram gráficos mais dispersos, em relação aos dados da ANA. Os CN BHO da ANA mostraram em todos os gráficos vazões de pico diretamente proporcionais aos valores de CN. O mesmo ocorre comparando os CN ARC I, ARC II, e ARC III entre si, onde evidencia-se que números de CN maiores geram maiores vazões de pico projetadas.

Na duração crítica da chuva evidenciou-se uma concentração de resultados de tempo crítico na primeira hora de duração da chuva. A maior duração da chuva para se obter a vazão de pico na bacia, foi encontrada com os parâmetros de CN do GCN 250 ARC I, onde necessitou de uma chuva com duração de 4 horas, para se atingir a vazão de pico de 2,31866 m³/s, após 75 minutos de início da precipitação mensurada em um tempo de retorno de 2 anos.

O resultado converge com o esperado, justificando-se nos parâmetros que equivalem a o solo seco e com maior índice de absorção, e a menor precipitação prevista para análise.

O menor valor de duração da chuva crítica foi encontrado nos parâmetros de GCN 250 ARC III, para um tempo de retorno de 100 anos, situação que prevê o maior índice de escoamento possível, resultando na vazão de pico mensurada em 81,36989 m³/s, detectada após 23 minutos do início da precipitação da chuva de duração máxima de 1 hora.

A base de dados da ANA apresentou uma variação média de 3 minutos na duração crítica de chuva levando em consideração todos os tempos de retorno, e o GCN 250 com variação média de 15 minutos, evidenciando uma maior disparidade nos resultados de duração em cada tempo de retorno para os valores mínimos, médios e máximos de CN.

4. Conclusão

Com base nos resultados, comprovou-se que a variação de valores no parâmetro de *curve number* para estipulação de vazão de escoamento em projetos de drenagem de águas pluviais altera consideravelmente o volume escoado, devido à relação direta entre a condição de saturação do solo e sua capacidade de infiltração e escoamento.

Os resultados obtidos com os dados da ANA, fornecem tempos de duração crítica da chuva menores, e com pouca variação dentre os valores máximos, médios e mínimos de CN como também quando avaliado entre os tempos de retorno estabelecidos no estudo. O estudo indicou uma tendência na padronização na duração da chuva crítica, baseado na redução da variação nos tempos encontrados de acordo com o aumento do prazo estabelecido como tempo de retorno da precipitação, onde, para o tempo de retorno de 2 anos a variação foi de 14 minutos e para o tempo de 100 anos, a variação de tempo entre os valores de CN foi de apenas 1 minuto.

Ao avaliar os CN observa-se distanciamento entre os resultados encontrados para os do GCN 250 e os da ANA, o que aponta que os CN da ANA podem ser melhor indicados para a região do Brasil, para a qual esse banco de dados foi desenvolvido, pois o GCN 250 foi criado para o mundo inteiro, assim pode não ser tão adequado quanto o da ANA para regiões brasileiras.

A desconformidade ocasionada por essa variação de resultados, pode acarretar em estruturas de drenagem dimensionadas erroneamente, pois os dados verificados apresentam valores dispersos.

O presente estudo apresenta relevância no que se refere a fornecer subsídios para gestão de riscos e drenagem urbana disponibilizando dados técnicos precisos sobre vazões de pico e tempos de duração crítica da chuva, essenciais para projetos de drenagem e prevenção de enchentes, com efeito direto na redução de impactos socioeconômicos ao prever cenários de chuvas extremas (com tempos de retorno de até 100 anos), o estudo ajuda a evitar prejuízos materiais (alagamentos de vias, danos a residências e comércios) dada a posição da bacia no centro comercial do município.

Propõe-se para aperfeiçoamento do estudo de escoamento superficial com foco nas vazões de pico e duração crítica de chuvas, comparar o método de Huff, utilizado no estudo, com outros métodos de distribuição temporal de chuvas adequados para análises de drenagem

urbana e previsão de escoamentos superficiais. Tendo em vista a expansão e crescimento do município, recomenda-se também avaliar o impacto do crescimento urbano e da impermeabilização do solo na bacia, utilizando projeções de uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasília). **Curve Number da Base Hidrográfica Ottocodificada**. 2018. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67>. Acesso em: 14 ago. 2024.

BALLARDIN, Stefano et al. Espacialização e comparação do parâmetro *Curve Number* (CN) em uma bacia de captação de Caxias do Sul/RS em 1998 e 2018. In: **Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves, RS. Trabalhos técnicos. Caxias do Sul: UCS, 2023**. 2023.

CARVALHO, F.; RODRIGUES, S. C. **Método *Curve Number*** – pesquisas e discussões dos parâmetros valor CN e abstração inicial. *Geografia Ensino & Pesquisa*, Santa Maria, v.25, e31, p.1-50, 2021. DOI 10.5902/2236499447861. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236499447861>. Acesso em: 15 ago. 2024.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. **Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)**, v. 336, 2013.

DATA, C. **Copernicus DEM - Global and European Digital Elevation Model**. Disponível em: <<https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/copernicus-contributing-missions/collections-description/COP-DEM>>

INNOCENTE, Camyla *et al.* Um estudo sobre a definição da duração crítica da chuva de projeto na bacia da UFSC, Florianópolis-SC. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRHidro, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/185106>. Acesso em: 14 ago. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais Climatológicas do Brasil, 1991-2020, 2022, Brasília, DF. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais#>. Acesso em: 18 ago. de 2024.

JAAFAR, H.; AHMAD, F. **GCN250**, Global curve number datasets for hydrologic modeling and design figshare, 20 jun. 2019. Disponível em: https://figshare.com/articles/dataset/GCN250_global_curve_number_datasets_for_hydrologic_modeling_and_design/7756202. Acesso em: 22 ago. 2024.

MAIDMENT, David R. **Handbook of hydrology**. McGraw-Hill, 1993. 1424 p.

NÓBREGA, Alexandre Estrela de Lacerda; NEVES, Yuri Tomaz. Determinação e espacialização de parâmetros de equações de chuvas intensas para o estado da Paraíba. **GEOUSP**, v. 28, n. 3, p. e215955, 2024.

SARTORI, A.; NETO, F.; GENOVEZ, A. Classificação hidrológica de solos brasileiros para estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V.10, n.4, p.5-18, 2005.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos**. Porto Alegre, RS: ABRH. Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.

SOOMRO, Abdul Ghani et al. Sensitivity of direct runoff to curve number using the SCS-CN method. **Civ. Eng. J**, v. 5, p. 2738-2746, 2019.

SOUZA, Rodolfo M. S.; SOUZA, Eduardo S. de; ANTONINO, Antônio C. D.; LIMA, José R. de S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 5, p. 449-455, maio de 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p449-455>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FvKhX6x4cj5JVxZnd7z9N8k/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Patos - Código INEP: 25281925
	Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de conclusão de curso

Assunto:	Trabalho de conclusão de curso
Assinado por:	Jucelio Torres
Tipo do Documento:	Tese
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jucélio Torres Alves, ALUNO (201926550007) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - PATOS**, em 02/04/2025 08:49:47.

Este documento foi armazenado no SUAP em 08/04/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1451543

Código de Autenticação: 647e9149b8

