

CLIMA, MORFOMETRIA E EROSIVIDADE EM UNIDADE HIDROGRÁFICA DO CERRADO DO DF: IMPLICAÇÕES SOCIOAMBIENTAIS E DIREITOS DIFUSOS

CLIMATE, MORPHOMETRY AND EROSIVENESS IN A HYDROGRAPHIC UNIT OF THE CERRADO OF THE DF: SOCIOENVIRONMENTAL IMPLICATIONS AND DIFFUSE RIGHTS

CLIMA, MORFOMETRÍA Y EROSIÓN EN UNA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL CERRADO DEL DF: IMPLICACIONES SOCIOAMBIENTALES Y DERECHOS DIFUSOS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n7-250>

Data de submissão: 21/06/2025

Data de publicação: 21/07/2025

Carlos Eduardo Pacheco Lima

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Embrapa Hortaliças
Endereço: Distrito Federal, Brasil
E-mail: carlos.pacheco-lima@embrapa.br

Mariana Rodrigues Fontenelle

Doutora em Microbiologia Agrícola
Instituição: Embrapa Hortaliças
Endereço: Distrito Federal, Brasil
E-mail: mariana.fontenelle@embrapa.br

Marcos Brandão Braga

Doutor em Irrigação e Drenagem
Instituição: Embrapa Hortaliças
Endereço: Distrito Federal, Brasil
E-mail: marcos.braga@embrapa.br

Karen Mendes Nascimento Barbosa da Silva

Graduanda em Agronomia
Instituição: Universidade de Brasília (UnB)
Endereço: Distrito Federal, Brasil
E-mail: kmendes.silva99@gmail.com

Giovana Silva Santos Rodrigues

Graduanda em Ciências Biológicas
Instituição: Universidade de Brasília (UnB)
Endereço: Distrito Federal, Brasil
E-mail: giovana.unbio@gmail.com

Kelly Cristina Rodrigues Silva

Graduanda em Ciências Biológicas
Instituição: Universidade de Brasília (UnB)
Endereço: Distrito Federal, Brasil
E-mail: kellycristina150724@gmail.com

RESUMO

As mudanças climáticas globais tendem a gerar insegurança, com o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos. Esses efeitos são agravados por processos antrópicos como a urbanização desordenada em áreas estratégicas para a recarga hídrica e o amortecimento de impactos negativos, comprometendo o direito difuso ao meio ambiente equilibrado e sustentável para as gerações futuras. Este estudo realizou uma análise climática e hidrológica de uma unidade hidrográfica na microbacia do Córrego Tamanduá, situada no Cerrado do Distrito Federal. A abordagem enfatizou a caracterização morfométrica da bacia e os efeitos de alterações nos padrões de precipitação sobre a erosividade das chuvas (fator R da RUSLE). Foram utilizados dados pluviométricos organizados em três séries temporais (1971 a 2001, 2002 a 2012 e 2015 a 2024). Foram avaliados tanto o efeito dos níveis totais de precipitação quanto da concentração desta. Como indicadores de concentração dos eventos chuvosos foram utilizados os índices PCI (já consagrado) e ISC (proposto com o auxílio de ferramenta de IA generativa a partir de bootstrap com 10.000 combinações e IC 95%). Os resultados indicam mudanças na distribuição das chuvas, principalmente no período recente, com aumento da sazonalidade e da estimativa da erosividade, o que intensifica a vulnerabilidade hídrica. Conclui-se que tais alterações representam uma ameaça concreta ao direito coletivo e intergeracional ao meio ambiente equilibrado, fato esse agravado pela urbanização desordenada e outras ações antrópicas que causem degradação de áreas que cumprem importante papel no oferecimento do serviço ecossistêmico de produção de água.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Erosividade da Chuva. Serviços Ecossistêmicos. Recarga Hídrica. Direitos Difusos. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

Global climate change tends to generate insecurity, with the increased frequency and intensity of extreme events. These effects are exacerbated by anthropogenic processes such as uncontrolled urbanization in areas strategic for water recharge and the cushioning of negative impacts, compromising the widespread right to a balanced and sustainable environment for future generations. This study conducted a climatic and hydrological analysis of a hydrographic unit in the Córrego Tamanduá microbasin, located in the Cerrado region of the Federal District. The approach emphasized the morphometric characterization of the basin and the effects of changes in precipitation patterns on rainfall erosivity (RUSLE R factor). Rainfall data organized into three time series (1971 to 2001, 2002 to 2012, and 2015 to 2024) were used. The effects of both total precipitation levels and precipitation concentration were evaluated. The PCI (already established) and ISC (proposed with the aid of a generative AI tool based on bootstrapping with 10,000 combinations and 95% CI) indices were used as indicators of rainfall event concentration. The results indicate changes in rainfall distribution, particularly in recent times, with increased seasonality and erosivity estimates, which intensify water vulnerability. It is concluded that these changes pose a concrete threat to the collective and intergenerational right to a balanced environment, a fact exacerbated by disorderly urbanization and other anthropogenic actions that cause degradation of areas that play an important role in providing the ecosystem service of water production.

Keywords: Climate Change. Rainfall Erosivity. Ecosystem Services. Water Recharge. Diffuse Rights. Sustainable Development Goals.

RESUMEN

El cambio climático global tiende a generar inseguridad, con el aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos. Estos efectos se ven exacerbados por procesos antropogénicos como la urbanización descontrolada en áreas estratégicas para la recarga hídrica y la amortiguación de los impactos negativos, comprometiendo el derecho generalizado a un medio ambiente equilibrado y sostenible para las generaciones futuras. Este estudio realizó un análisis climático e hidrológico de una unidad hidrográfica en la microcuenca Córrego Tamanduá, ubicada en la región del Cerrado del Distrito Federal. El enfoque enfatizó la caracterización morfométrica de la cuenca y los efectos de los cambios en los patrones de precipitación en la erosividad de la lluvia (factor R de RUSLE). Se utilizaron datos de lluvia organizados en tres series de tiempo (1971 a 2001, 2002 a 2012 y 2015 a 2024). Se evaluaron los efectos tanto de los niveles totales de precipitación como de la concentración de precipitación. Los índices PCI (ya establecidos) e ISC (propuestos con una herramienta de IA generativa basada en bootstrap con 10 000 combinaciones y un IC del 95 %) se utilizaron como indicadores de la concentración de precipitaciones. Los resultados indican cambios en la distribución de las precipitaciones, especialmente en los últimos años, con un aumento de la estacionalidad y de las estimaciones de erosividad, lo que intensifica la vulnerabilidad hídrica. Se concluye que estos cambios representan una amenaza concreta para el derecho colectivo e intergeneracional a un medio ambiente equilibrado, agravado por la urbanización desordenada y otras acciones antropogénicas que degradan áreas importantes en la provisión del servicio ecosistémico de producción de agua.

Palabras clave: Cambio Climático. Erosividad de las Precipitaciones. Servicios Ecosistémicos. Recarga Hídrica. Derechos Difusos. Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1 INTRODUÇÃO

A hidrografia do Distrito Federal (DF) é caracterizada pela presença de cursos d'água de pequeno porte e de baixa vazão, sendo bastante influenciados pela sazonalidade climática (Souza et al., 2012). Ocorrem com frequência em desníveis e em vales encaixados. Ela está subdividida em três grandes regiões hidrográficas que são a do Paraná; do São Francisco e do Tocantins/Araguaia. Essas grandes regiões hidrográficas são subdivididas em sete outras menores, que são a Bacia do Rio São Bartolomeu, a Bacia do Rio Descoberto, a Bacia do Lago Paranoá, a Bacia do Rio Preto, a Bacia do Rio Maranhão, a Bacia do Rio Corumbá e a Bacia do Rio São Marcos (ADASA, 2024).

Embora registre a presença de grande quantidade de nascentes, fato esse associado ao seu relevo fortemente dissecado e aos tipos de solos predominantes, além de ser um importante divisor de águas em nível nacional, essa unidade da federação apresenta a terceira menor disponibilidade hídrica do país, atrás apenas dos estados da Paraíba e de Pernambuco (CODEPLAN, 2020). Desafios como o grande crescimento populacional, a sazonalidade das precipitações, a degradação ambiental e as mudanças climáticas globais (MCGs) têm imposto ainda mais dificuldades para a gestão dos recursos hídricos no DF, sendo de suma importância não apenas a elaboração de um robusto arcabouço legal e planejamento ambiental, mas também a sua real implementação. Apesar disso, fatores como a urbanização desordenada, a instalação de empreendimentos impactantes em áreas não aptas, bem como o descumprimento de importantes ferramentas como os Zoneamentos Ecológico Econômico (ZEE) e Planos de Manejo de unidades de conservação (UCs) vem colocando em risco os recursos hídricos (Chelotti & Sano, 2021; ADASA, 2020).

Torna-se importante, portanto, que áreas preservadas ou em diferentes estágios de regeneração, sobretudo aquelas presentes em UCs como a Floresta Nacional de Brasília e a Área de Proteção Ambiental do Planalto Central (APA Planalto Central) tenham seus Planos de Manejo elaborados, implementados e respeitados como estratégia de conservação dos recursos hídricos. Mais especificamente, a APA Planalto Central foi criada pelo Decreto de 10 de janeiro de 2002, ocupando área equivalente a 70% do Distrito Federal e apresenta Plano de Manejo muito bem estruturado (ICMBIO, 2015), porém, muitas vezes, não levado em consideração quando da ocupação e uso do solo.

A Fazenda Tamanduá, sede da Embrapa Hortaliças, está completamente situada na APA Planalto Central e apresenta algumas áreas de Cerrado em estágios diversos de regeneração. Parte da área constitui uma unidade hidrográfica situada na microbacia do Córrego Tamanduá, sendo um dos poucos redutos conservados ou em regeneração da microbacia, apresentando também boa quantidade de nascentes e qualidade da água, estando registrado no Cadastro Ambiental Rural (CAR) da Embrapa

Hortaliças, instrumento imposto pela Lei 12.651/2012, como remanescente de vegetação nativa e, ao longo dos cursos d'água e das nascentes, como Áreas de Preservação Permanente (APPs). Essa área, que foi objeto do presente trabalho, em que pese o fato de cumprir importantes serviços ecossistêmicos para a manutenção das atividades de pesquisa da Embrapa Hortaliças e, conseqüentemente, para agricultores de todo país, e também para os vários pequenos e médios produtores rurais presentes na região, vem sofrendo fortes pressões em razão do processo de urbanização acelerado.

A caracterização pedogeomorfológica da área foi realizada por Lima et al. (2025). Os autores verificaram que a paisagem é composta por Planaltos, Bordas de Chapada, Planaltos Intermediários e Vales encaixados. Predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos, seguidos de Cambissolos Háplicos. Solos menos desenvolvidos como Neossolos Litólicos, Plintossolos e Neossolos Flúvicos podem ocorrer pontualmente. Esses aspectos pedogeomorfológicos tornam a área importante repositora dos recursos hídricos superficiais, amortecedora de impactos negativos aos mesmos e, no caso das Bordas de Chapada, principalmente, muito susceptíveis à erosão e, conseqüentemente, ao assoreamento dos corpos d'água em caso de retirada da vegetação.

A erosividade das chuvas, fator originalmente proposto por Wischmeier & Smith (1978) para a equação universal de perda de solo (USLE), que é função da quantidade e da intensidade desse fenômeno, tem sido determinada em diversos trabalhos em nível nacional (Lima et al., 2023) e regional (Galdino, 2015). Os primeiros autores classificaram a erosividade das chuvas no Brasil como elevada comparativamente com outras regiões do planeta. Já Galdino (2015) também verificou alta erosividade das chuvas num recorte regional para o estado de Goiás (GO) e para o DF, porém, registrando menores valores que aqueles encontrados por Lima et al. (2023). No recorte regional, Galdino (2015) encontrou valor médio da erosividade para o DF de $8.024 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. No contexto das mudanças climáticas globais (MCGs), projeta-se o aumento da ocorrência de eventos extremos de chuva e seca (IPCC, 2023). De fato, dados climáticos observados em longas sequências, bem como aqueles projetados com o uso de diferentes modelos, para diferentes regiões brasileiras, têm apontado para o aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos de chuva, com a possibilidade de incrementos ainda maiores num futuro com MCGs (Ballarin et al., 2023; Costa et al., 2025). Essa intensificação dos eventos extremos tem potencialmente efeito sobre a erosividade (Almagro et al., 2017), aumentando a intensidade dos processos erosivos (Barbosa et al., 2024), tornando ainda mais importante a manutenção do equilíbrio ambiental em áreas com relevante papel de recarga hídrica.

Faz-se necessário lembrar que o artigo 225 da Constituição Federal do Brasil diz que: “*Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e*

preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Dentre os instrumentos encontrados pelo legislador para garantir o cumprimento desse artigo, está o estabelecimento de Unidades de Conservação (UC), definidas pela Lei 9.985/2000, que “*Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências*”. As Áreas de Proteção Ambiental (APA) constituem um dos instrumentos para tal, tendo seus planos de manejo como ferramentas cruciais para regular o uso e ocupação do solo, bem como a conservação ambiental. Outros instrumentos como a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) e o Código Florestal (CF), bem como jurisprudências existentes, impõem aos poderes públicos e à coletividade necessidade de se desenvolver e aplicar instrumentos com vistas à manutenção da sustentabilidade. Por representar direito da coletividade e intergeracional, constitui uma clara questão relacionada aos direitos difusos (Pontes, 2019).

Por tudo exposto, o presente trabalho teve como objetivo levantar aspectos climáticos e hidrológicos de uma unidade hidrográfica da microbacia do Córrego Tamanduá, localizada no Cerrado do DF, com vistas a subsidiar tomadas de decisão estratégicas e sustentáveis de uso e ocupação do solo, em atendimento ao direito difuso ao meio ambiente equilibrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) está situada na microbacia do Córrego Tamanduá, parte da sub-bacia dos Rios Corumbá e Descoberto (Figura 2), em área de Cerrado no DF. Lima et al. (2025) elaborou sua caracterização pedogeomorfológica. Ela está inserida no Planalto Central Brasileiro (PCB). Em termos climáticos, apresenta-se como tropical de savana (Aw) na classificação de Köppen-Geiger, com períodos seco e chuvoso muito bem definidos. O perímetro é de 8,71 km, o comprimento é de 8,67 km e a área de 4,73 km² (473 ha), estando compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Ao Norte, 15°54'30,24”S; à Oeste, 48°09'51,84”O; ao Sul, 15°56'06”S e; à Leste, 48°08'34,08”O. A amplitude altimétrica foi determinada Lima et al. (2025), sendo de 124 m, com ponto máximo de 1.110 m de altitude e ponto mínimo de 986 m.

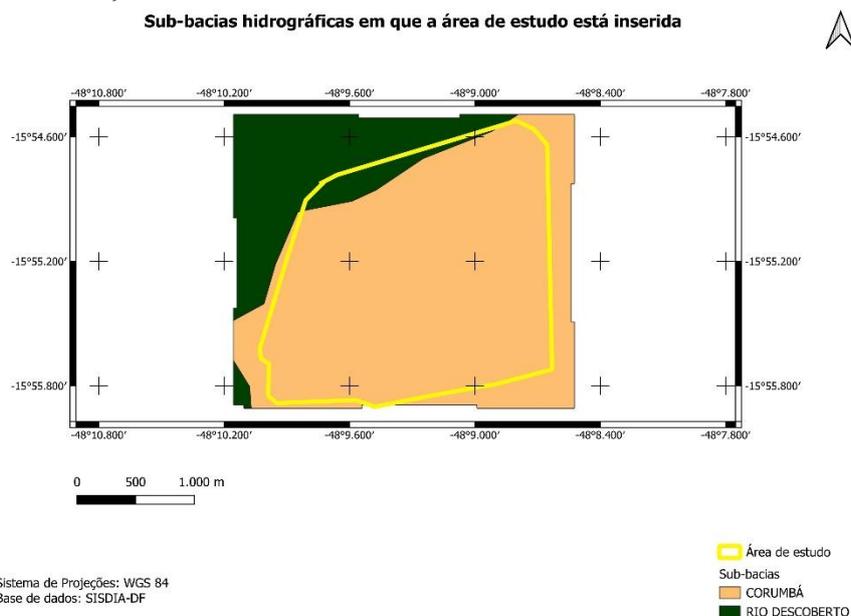
Figura 1 – Vista 3D sentido Leste-Oeste da área de estudo e delimitação dela (polígono amarelo).



Fonte: Os autores.

Figura 2 – Inserção da área de estudo nas sub-bacias do Rio Corumbá e do Rio Descoberto

Sub-bacias hidrográficas em que a área de estudo está inserida



Fonte: Os autores.

2.2 BASES DE DADOS UTILIZADAS

Para a elaboração desse trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM com resolução espacial de 30 m x 30 m;
- Curvas de nível com equidistância de 5 m, obtidas a partir do MDE;
- Imagens Google Satélite com resolução espacial de 0,5 m x 0,5 m;
- Mapa de classes de declividade elaborado por Lima et al. (2025);
- Mapa de uso e ocupação do solo em escala 1:1.000 elaborado por Lima et al. (2025);

- Mapa de reconhecimento semi-detalhado de solos em escala 1:10.000 elaborado por Lima et al. (2025).

2.3 SOFTWARES UTILIZADOS PARA ANÁLISE

Foram utilizados, para todas as análises que constam no presente trabalho, o Google Earth Pro e o QGIS em sua versão 3.42.3.

2.4 DADOS CLIMATOLÓGICOS

Todos os dados climatológicos utilizados no presente trabalho foram obtidos a partir da Estação Meteorológica da Embrapa Hortaliças (15°56'24" S e 48°08'24" O). Para as análises comparativas efetuadas foram utilizados os seguintes períodos: período recente (2015 a 2024) e períodos passados (2002 a 2012; 1971 a 2001). Os dados foram avaliados quanto à existência de tendências, anomalias e medidas de incerteza (Coeficiente de Variação – CV e Intervalo de Confiança – IC). Também se focou na concentração de chuvas (PCI – Oliver, 1980) e seu potencial erosivo. Este calcula o índice de concentração de precipitação (Precipitation Concentration Index). Para o cálculo do PCI foi utilizada a equação a seguir:

$$PCI = \frac{100 \cdot \sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{12} P_i\right)^2}$$

Onde:

P_i é a precipitação mensal total média para o período avaliado.

Adotou-se então a seguinte classificação quanto à concentração de eventos chuvosos (Tabela 1):

Tabela 1 – Classificação utilizada para o índice PCI

$PCI \leq 10$	Distribuição uniforme ao longo do ano
$10 < PCI \leq 15$	Moderada concentração
$15 < PCI \leq 20$	Alta concentração
$PCI > 20$	Muito alta concentração

Fonte: Os autores.

Para análise da severidade das precipitações concentradas ainda foi proposto um índice denominado (Índice de Severidade Concentrada). Tal índice foi desenvolvido com o auxílio de

Inteligência Artificial (Data Analyst) utilizando como base o PCI e a erosividade específica ($\frac{R}{P}$), por meio de testes bootstrap. Bootstrap pode ser entendido como um método estatístico de reestruturação aleatória de dados com reposição para estimar a variabilidade e a distribuição empírica de estatísticas amostrais, permitindo inferências sem depender de pressupostos paramétricos estritos (Efron, 1979). No caso em questão foram analisadas cerca de 10.000 combinações diferentes e intervalo de confiança de 95% para desenvolvimento do ISC, que é calculado pela seguinte fórmula.

$$ISC = PCI \times \frac{R}{P}$$

Onde:

PCI é o índice de concentração de precipitação;

$\frac{R}{P}$ é a erosividade específica em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ por mm de chuva.

2.5 DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS (FATOR R DA RUSLE)

A erosividade da chuva (fator R) foi calculada com base em dados pluviométricos médios mensais coletados pela estação meteorológica da Embrapa Hortaliças, no Cerrado do Distrito Federal. Foram avaliados dados de três períodos, quais sejam 1971 a 2001, 2002 a 2012 e 2015 a 2024. A equação para cálculo utilizada tem sido utilizada em estudos realizados no Brasil, incluindo aquele de Galdino (2015), que avaliou esse processo para GO e DF.

$$EI = 68,730 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,841}$$

Onde:

EI é a média mensal do índice de erosão em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹

p é a média da precipitação total mensal em mm

P é a média da precipitação total anual em mm

O fator R é então calculado pela soma dos EIs mensais calculados, seguindo a fórmula:

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_i$$

Onde:

R é a erosividade das chuvas em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹

EI são os valores mensais do índice de erosão

O fator R estimado foi então interpretado com base nas faixas de erosividade propostas por Lima et al. (2023).

2.6 DETERMINAÇÃO DA MORFOMETRIA DA UNIDADE HIDROLÓGICA

Para análise morfométrica da unidade hidrográfica foram utilizados os seguintes índices: Fator forma (Kf); Índice de compacidade (Kc) e Índice de rugosidade (Ir).

As determinações desses índices foram efetuadas conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Índices morfométricos determinados, suas fórmulas e interpretação básica.

Índice	Fórmula	Interpretação Básica
Compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \times P / \sqrt{A}$	Quão circular é a bacia; menor valor indica maior risco de enchente
Rugosidade (Ir)	$Ir = Dd \times H$	Energia do relevo e potencial erosivo
Fator de Forma (Kf)	$Kf = A / L^2$	Proporção entre largura média e comprimento; risco de enxurradas simultâneas

Fonte: Os autores.

Onde:

Kc = Coeficiente de compacidade (adimensional)

P = Perímetro da bacia (km)

A = Área da bacia (km²)

Ir = Índice de rugosidade (adimensional)

Dd = Densidade de drenagem (km/km²)

H = Amplitude altimétrica da bacia (km), ou seja, diferença entre a altitude máxima e mínima

Kf = fator de forma (adimensional)

L = comprimento axial da bacia (km) – medido ao longo do curso d'água principal

Estes índices foram interpretados em conjunto com a imagem de satélite com alta resolução espacial (0,5 m x 0,5 m) da área.

2.7 DELIMITAÇÃO DOS LIMITES E EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DA REDE DE DRENAGEM DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TAMANDUÁ

O delineamento dos limites da microbacia, bem como a definição de sua hidrografia, foi realizado automaticamente em ambiente QGIS, utilizando a Caixa de Ferramentas de processamento com o complemento GRASS. A partir deste foi aplicado o algoritmo `r.fillnulls` para preenchimento de falhas provocadas por depressões espúrias do MDE. Então, foi utilizado o algoritmo `r.watershed`, aplicado sobre o MDE corrigido, para gerar as camadas rasters de direção de fluxo e número de células que drenam para cada célula (indicador de acumulação). O parâmetro de tamanho mínimo da bacia de contribuição foi ajustado em 3.000 para toda a microbacia e para 1.000 para a área de estudo (unidade hidrográfica), garantindo a coerência hidrológica. Posteriormente, a camada raster de unidades hidrográficas (`watershed basin`), gerada pelo `r.watershed`, foi empregado para delimitar automaticamente a microbacia hidrográfica, tendo como base o ponto de exutório previamente identificado em campo e conferido visualmente com o auxílio do MDE, das curvas de nível e da imagem de satélite com alta resolução espacial. A hidrografia, por sua vez, foi extraída com base nos segmentos de fluxos resultantes (`stream segments`), também obtidos pelo `r.watershed`, em visitas a campo e com base na visualização das imagens de satélite.

2.8 DETERMINAÇÃO DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA

Para identificação do curso d'água principal, foi aplicado o algoritmo `r.stream.order` (ordenação de Strahler) dentro do ambiente GRASS via QGIS. Foi então determinado o canal de ordem mais elevada que, posteriormente, foi convertido para vetor utilizando o `r.to.vect`, permitindo análise detalhada de seu comprimento do talvegue e de sua geometria.

2.9 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO CÓRREGO TAMANDUÁ

Foram coletadas amostras de cinco amostras em diferentes do Córrego Tamanduá, para constituição de uma amostra composta. Essas amostras foram analisadas em laboratórios da Embrapa Hortaliças para os parâmetros que seguem, utilizando suas respectivas metodologias: pH, Oxigênio Dissolvido (OD) e condutividade elétrica (CE) foram determinados utilizando-se sonda multiparâmetro AK 88; Turbidez, concentração de formas nitrogenadas, fosfato, sulfato, cobre, cloro livre, cloro total, dureza total, cromo, alumínio e ferro total foram determinados utilizando-se Fotômetro multiparâmetro Exact Micro 20 e fitas reagentes específicas. Essas análises tiveram como objetivo complementar as avaliações anteriores, integrando as análises climáticas, morfométricas e da

qualidade da água na unidade hidrográfica, denotando, por fim, seu papel em prover serviços ecossistêmicos e, conseqüentemente, sobre os direitos difusos.

2.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS E INTERPRETAÇÃO DE GRANDE VOLUME DE DADOS

As análises estatísticas, geração de gráficos, bem como a interpretação do grande volume de dados gerados no presente trabalho foram realizadas com o auxílio da Inteligência Artificial Generativa (IA) Data Analyst. Faz-se necessário ressaltar, entretanto, que todos os processos foram supervisionados e analisados criticamente por humanos e que os dados utilizados foram obtidos de acordo com os processos previamente descritos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A localização da unidade hidrográfica de que trata o presente estudo, está mostrado no mapa da microbacia hidrográfica do Córrego Tamanduá, delineada a partir do MDE corrigido para depressões espúrias utilizando o algoritmo r.watershed do complemento GRASS em ambiente QGIS. A Figura 3 traz a localização dela na microbacia, enquanto a Figura 4 traz o principal curso d'água desta, mostrando que ele se localiza na unidade hidrográfica avaliada.

Figura 3 – Localização da unidade hidrográfica estudada (área de estudo) na microbacia do Córrego Tamanduá.

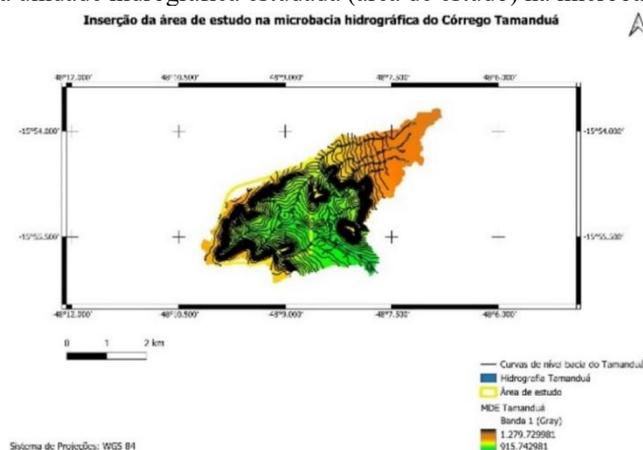
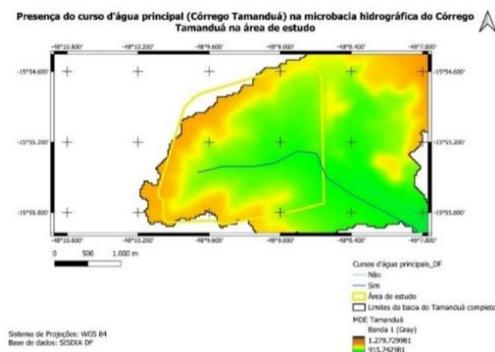


Figura 4 – Curso d’água principal da microbacia do Córrego Tamanduá e presença dele na área de estudo, incluindo sua nascente.

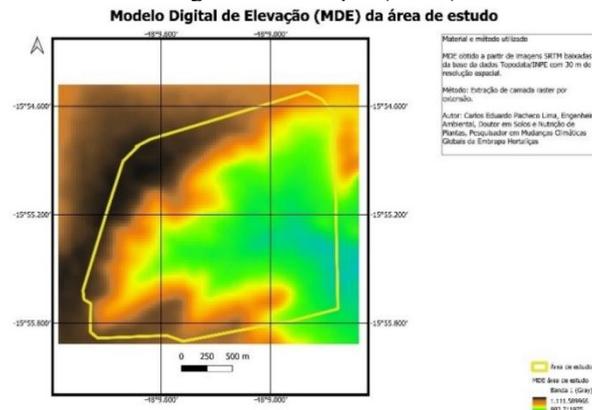


Fonte: Os autores.

Verifica-se que a unidade hidrográfica se encontra praticamente inteira na microbacia, mais especificamente, à sudoeste desta. O MDE e as curvas de nível apontam para paisagem muito comum no PCB, com a presença de áreas planas e mais altas (Planaltos) a nordeste, Bordas de Chapada ao centro e Planaltos Intermediários a sudoeste. Mais especificamente, a área de estudo apresenta todas essas feições que, porém, apresentam-se distribuídas de maneira diferente, com uma pequena porção apenas referente às áreas de Planalto. O MDE da unidade hidrográfica avaliada pode ser encontrado na Figura 5 e foi elaborado por Lima et al. (2025) a partir de imagens SRTM com 30 m de resolução, baixadas na base de dados Topodata do INPE. Estes autores verificaram ainda o bom estado de conservação da área por meio do mapeamento detalhado do uso e ocupação do solo. Cabe ainda ressaltar que a área apresenta-se como importante repositora dos recursos hídricos e APPs em bom estado de conservação, como pode ser observado na Figura 6.

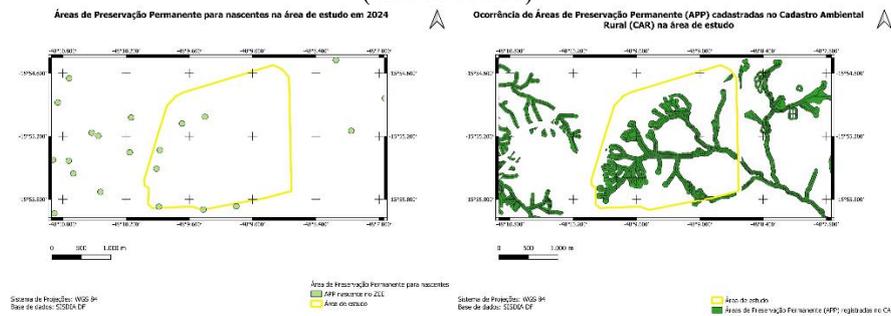
A Figura 4 mostra que o curso d’água principal, incluindo sua nascente, está presente na área de estudo. Isso demonstra a importância da conservação da área com vistas à manutenção da disponibilidade hídrica quantitativa e qualitativa da região, onde são encontradas atividades de pesquisa mantidas pela Embrapa Hortaliças e produção agrícola de pequenos e médios produtores rurais. A manutenção da área conservada é importante para o amortecimento de impactos ambientais negativos, bem como para a garantia da manutenção da capacidade de recarga dos recursos hídricos. Cabe lembrar que o clima local é caracterizado por estações chuvosas e secas muito bem definidas, com importante duração das últimas, sendo, portanto, os corpos d’água muito dependentes da recarga hídrica, sobretudo daquela subterrânea. O DF apresenta a terceira menor disponibilidade hídrica do Brasil, menor apenas que os estados da Paraíba e de Pernambuco (CODEPLAN, 2020), reforçando a necessidade de manutenção da conservação de áreas responsáveis pela recarga dos recursos hídricos.

Figura 5 – Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo.



Fonte: Os autores.

Figura 6 – Ocorrência de nascentes e APPs relacionadas a elas e aos cursos d'água encontrados na unidade hidrográfica (área de estudo).



Fonte: Os autores.

Além disso, o processo acelerado de urbanização tem comprometido a qualidade dos recursos hídricos sendo que, o principal rio da região (Rio Ponte Alta), já se apresenta enquadrado como Classe 3 (Resolução CONAMA 357/2005), com forte ocorrência do processo de assoreamento e sedimentação. Ainda, a área apresenta moderado comprometimento da vazão remanescente T1 e comprometimento muito alto da vazão outorgável para diluição, segundo informações do Sistema Distrital de Informações Ambientais (SISDIA, 2023). Faz-se importante lembrar que a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece que os cultivos de hortaliças só podem ser irrigados por recursos hídricos enquadrados como Classe 1 (hortaliças consumidas cruas e/ou que tem contato direto com a água de irrigação) ou Classe 2 (hortaliças que não são consumidas cruas e/ou não tem contato direto com a água de irrigação). A Tabela 3 mostra a caracterização química e físico-química realizada para amostras do Córrego Tamanduá. Todos os parâmetros de qualidade da água avaliados e que constam para enquadramento dos recursos hídricos na Resolução CONAMA 357/2005 são compatíveis a Classe 1, demonstrando a elevada qualidade da água do Córrego Tamanduá e seu uso potencial para a irrigação de hortaliças. As amostras foram coletadas no ápice do período seco no DF, período este que, em tese, a água apresentaria pior qualidade.

Tabela 3 – Resultados das análises químicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no Córrego Tamanduá.

Parâmetro de qualidade	Unidade	Córrego Tamanduá
pH		8,00
CE	μS/cm	10,10
OD	mg/L	6,80
Turbidez	UNT	15,00
N-NH ₃	mg/L	0,24
N-NO ₃		ND
N-NO ₂		ND
Dureza Total		ND
Ca ²⁺		ND
PO ₄ ³⁻		ND
SO ₄ ²⁻		ND
Cu ²⁺		ND
Cl livre		ND
Cl total		ND
Cr		ND
Al ³⁺		0,06
Fe total		ND

Legenda: ND – Não detectado

Fonte: Os autores.

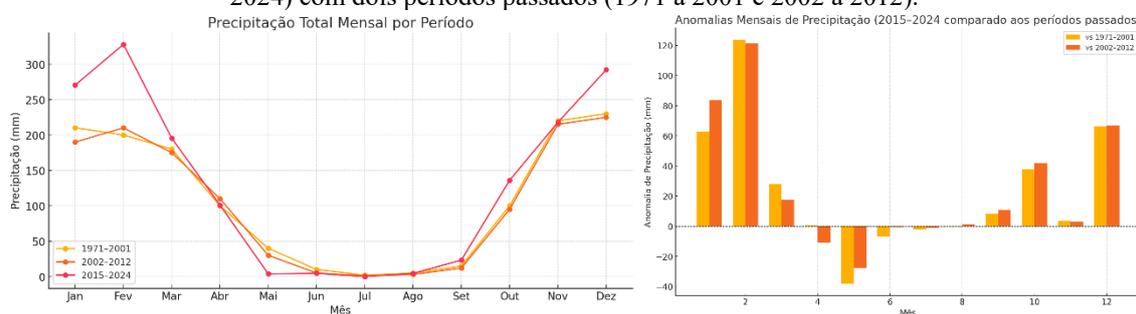
A morfometria da unidade hidrográfica aponta para uma forma quase circular ($K_c = 1,12$), muito alongada ($K_f = 0,06$) e perímetro pouco irregular ($I_r = 228,34$). O formato circular aponta tendência moderada à concentração de escoamento superficial, com potencial maior rapidez na resposta a eventos extremos de precipitação, levando a riscos de enchentes, bem como com grande dependência desse processo para abastecimento dos cursos d'água superficiais (Braga et al., 2013). Já o perímetro pouco irregular indicado pelo K_f muito inferior a 1 denota uma bacia alongada (Moro Neto, 2017), o que reduz o risco de enchentes anteriormente mencionado, uma vez que o escoamento se torna mais distribuído ao longo do tempo. Já o índice de rugosidade pode ser classificado como médio ($I_r = 228,34$) apontando para moderada energia do relevo, indicando significativo potencial erosivo, uma vez que maior desnível associado a maior densidade de canais normalmente reflete maior capacidade de mobilização de sedimentos (Fiorese & Torres, 2019). A análise conjunta desses índices com a imagem de satélite aponta para uma unidade hidrográfica com susceptibilidade moderada a eventos erosivos e hidrológicos, o que deve ser levado em consideração quando da definição do uso e ocupação do solo, bem como do planejamento ambiental (Trajano et al., 2012; Sehnem et al., 2015).

A área está localizada em região com previsto agravamento da situação hídrica. Dados da plataforma Adapta Brasil (MCTI, 2025) apontam para um aumento do índice de risco de seca sobre os recursos hídricos e sobre a segurança alimentar em curto prazo, alcançando níveis muito alto e alto, respectivamente, já em 2030, mesmo em cenários otimistas de MCGs. De fato, os dados observados já apontam para a tendência de agravamento da situação hídrica, com alterações importantes nos níveis

de precipitação, no agravamento da concentração das chuvas e aumento da duração e intensidade dos períodos secos (Ballarin et al., 2023; Costa et al., 2025). Os níveis de precipitação total anual médio entre 1971 a 2001, 2002 a 2012 e 2015 a 2024 foram de, respectivamente, 1312,00 mm, 1271,00 mm e 1582,52 mm. Embora tenha havido um aumento nos níveis de precipitação total anual no último período, este se deu em razão da concentração de chuvas em poucos meses, por meio da ocorrência de eventos extremos, estando esse cenário de acordo com aquele traçado em nota técnica do CEMADEN (CEMADEN, 2024).

Esse cenário resulta em aumento do escoamento superficial e menor capacidade de infiltração de água no solo, reduzindo o tempo de detenção hidráulica na unidade hidrográfica, ficando-a mais susceptível a inundação nos períodos chuvosos e à redução da vazão dos corpos d'água nos períodos secos. Também se aumenta o potencial de erosão (erosividade). O Gráficos 1 mostra as comparações entre os totais médios mensais de precipitação e as anomalias mensais registrados para os períodos avaliados.

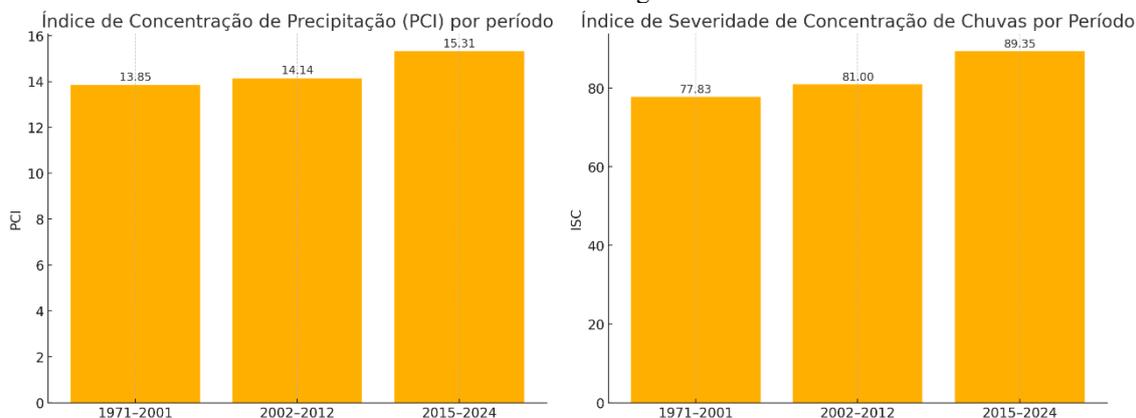
Gráfico 1 – Médias de precipitação total mensal (à esquerda) e anomalias destas comparando o período recente (2015 a 2024) com dois períodos passados (1971 a 2001 e 2002 a 2012).



Fonte: Os autores.

A análise do Gráfico 1 aponta para uma grande intensificação dos eventos de chuva no período recente durante os meses chuvosos e aumento da duração do período seco em pelo menos um mês. Historicamente o período seco tem início em junho e duração até setembro. Já no período recente, o período foi expandido para maio a setembro. Esses dados suportam a afirmação de que, embora aumento da precipitação total anual tenha sido observado no período recente, ele se deu às custas da intensificação de eventos extremos. Esse fenômeno é ainda suportado pelos dados anuais de PCI e de ISC, conforme pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Variação do Índice de Concentração de Precipitação (PCI) (à esquerda) e do Índice de Severidade de Chuvas (ISC), calculados por período para a área de estudo. O ISC foi obtido por meio de simulações bootstrap ($n = 10.000$, IC95%). Valores mais altos dos dois índices indicam maior concentração sazonal de chuvas e agravamento dos processos erosivos e hidrológicos.



Fonte: Os autores.

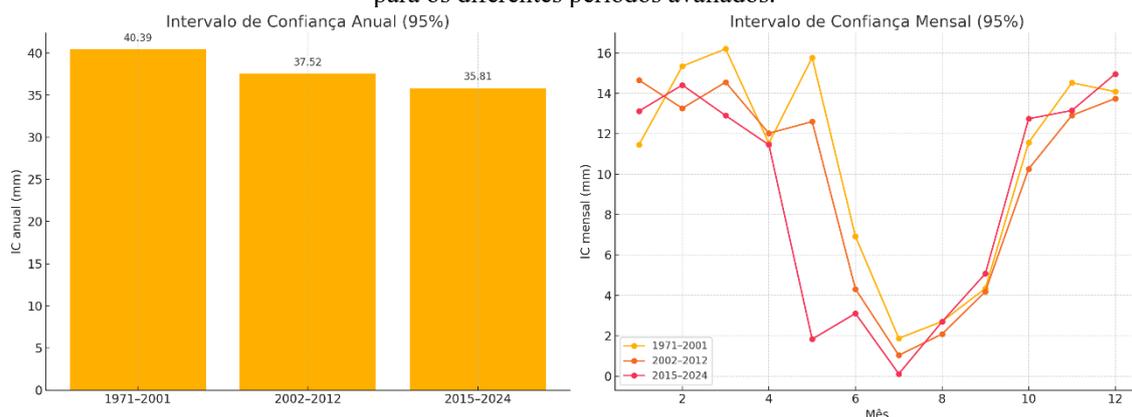
Os dados mostrados no Gráfico 2 confirmam a tendência de aumento da concentração de chuvas, bem como sua severidade sobre os processos erosivos. Embora tenha sido observado aumento do PCI ao longo do tempo, os valores registrados nos períodos de 1971 a 2001 e de 2002 a 2012 são muito próximos, enquanto aquele registrado no período recente (2015 a 2024) registrou aumento mais expressivo. O PCI tem sido utilizado em outros trabalhos conduzidos no território brasileiro como aquele realizado por Nery et al. (2017), que, entretanto, encontraram resultados divergentes daqueles encontrados no presente trabalho. Historicamente, o PCI pode ser classificado como moderada concentração dos eventos chuvosos, enquanto para o período recente, esse índice passa a ser classificado como apresentando alta concentração.

O ISC, por sua vez, aponta que, embora tenha sido observado redução dos níveis médios de precipitação total anual em 2002 a 2012 em relação a 1971 a 2001, a severidade da erosividade foi maior para o período mais recente. Já o período entre 2015 a 2024 apresentou valor maior que os dois primeiros. Esses resultados indicam uma tendência de aumento da severidade das chuvas em razão da sua concentração em curtos períodos. Esses dados estão em consonância com as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima em seu sexto relatório (IPCC, 2023) e outros trabalhos conduzidos no Brasil (Lucio & Spyrides, 2016; Wanderley et al, 2018; Monteiro & Zanella, 2019; Cardoso et al, 2020). Esse cenário tende a se agravar com as MCGs, comprometendo a situação dos recursos hídricos no Brasil, bem como de seus múltiplos usos (ANA, 2024).

Observou-se ainda uma redução das medidas de incerteza (intervalos de confiança – ICs e coeficientes de variação – CVs) no último período em relação a 1971 a 2001 e 2002 a 2012. O comportamento anual e mensal dos dados é mostrado tanto no Gráfico 3 quanto no Gráfico 4. Tal comportamento pode estar ligado a uma estabilização das condições climáticas, assumindo um “novo

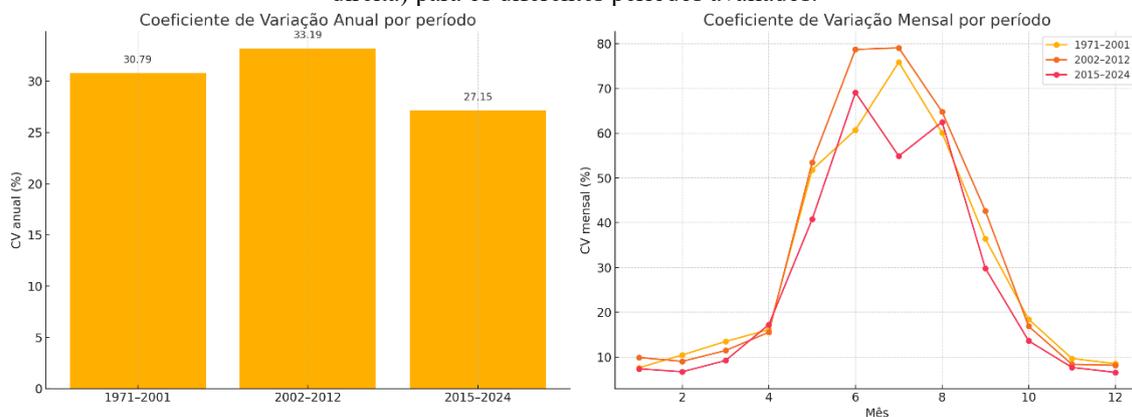
normal” com a ocorrência de eventos climáticos extremos. A redução foi observada tanto para os dados médios anuais quanto para a maioria dos dados médios mensais para os ICs. Entretanto, o comportamento é mais claro para o período seco. Para os CVs, os valores registrados para período recente foram constantemente menores que aqueles observados para os outros períodos, com exceção dos meses de abril, junho e agosto. Embora haja a hipótese de os dados apontarem para um “novo normal”, não se pode descartar ainda a influência de outros fatores como, por exemplo, a maior precisão na obtenção dos dados por motivos diversos. É necessária traçar linhas de tendência e a observação das medidas de incerteza durante maiores períodos e para um conjunto mais robusto de dados para que conclusões sejam tomadas. A cautela na interpretação dos dados climáticos, bem como de sua projeção futura, é pregada em outros trabalhos como, por exemplo, aquele elaborado por Ferreira et al. (2015).

Gráfico 3 – Comportamento anual dos valores de Intervalos de Confiança (ICs) anuais (à esquerda) e mensais (à direita) para os diferentes períodos avaliados.



Fonte: Os autores.

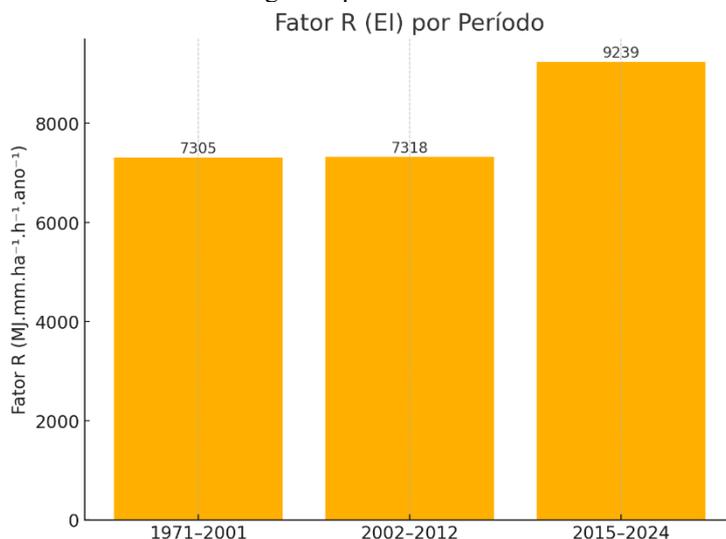
Gráfico 4 – Comportamento anual dos valores de Coeficientes de Variação (CVs) anuais (à esquerda) e mensais (à direita) para os diferentes períodos avaliados.



Fonte: Os autores.

O aumento dos eventos extremos, bem como da precipitação anual resultaram em aumento da estimativa da erosividade (fator R), conforme mostrado no Gráfico 5. As estimativas dessa variável se mantiveram praticamente constantes entre os períodos de 2002 a 2012 e 1971 a 2001, porém, registrou um aumento de aproximadamente $1921 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ entre 2015 a 2024 em relação a 2002 a 2012. O comportamento do gráfico dos dados de erosividade acompanha aquele observado para os valores de precipitação total anual média e para os índices PCI e ISC, sugerindo uma ação conjunta destes fatores. A incidência de extremos climáticos pode levar a mudanças no ciclo hidrológico, colocando em risco infraestruturas hídricas existentes, tornando a população mais vulnerável a eventos hidrológicos extremos como secas e enchentes, o que aumenta a insegurança hídrica (UNESCO, 2024). Uma possível retirada da vegetação nativa ou em regeneração atualmente existente em decorrência da urbanização descontrolada poderia agravar o quadro, resultando em aumento dos processos erosivos, o que levaria ao aumento de processos de assoreamento e sedimentação (Luna Pequeno et al., 2002; Castro et al., 2013), bem como da qualidade da água, comprometendo os serviços ecossistêmicos (Costa et al., 2021).

Gráfico 5 – Comportamento da erosividade estimada (fator R da equação universal de perda de solo revisada - RUSLE) ao longo dos períodos avaliados.



Fonte: Os autores.

Os valores de R podem ser classificados como médios para os dois primeiros períodos e alto no período mais recente (Lima et al., 2023). Portanto, houve o aumento observado não foi apenas numérico, mas também relacionado ao potencial de causar impactos negativos sobre a perda de solo. Costa et al. (2025) apontam que o fator R representa o potencial erosivo das chuvas e é influenciado tanto pela ocorrência de eventos extremos de precipitação, quanto pelo total anual desse fenômeno.

O conjunto de resultados do trabalho ora apresentado reforça a necessidade de conservação da área de estudo, conforme relatado por Lima et al. (2025). Trata-se não apenas de uma questão de conservação e preservação ambiental, mas também do direito da coletividade à manutenção de suas atividades econômicas, uma vez que a área é uma importante fonte de recarga hídrica, bem como de amortecimento de impactos negativos sobre os recursos hídricos regionais, abastecendo corpos d'água utilizados para realização de pesquisas, abastecimento humano e irrigação por pequenos e médios produtores rurais. Trata-se, portanto, de um direito coletivo e transgeracional, características constituintes dos direitos difusos (Pontes, 2019). Em que pese o fato de a área apresentar um robusto arcabouço protetivo, estando situada na Zona de Uso Sustentável da APA Planalto Central (ICMBIO, 2015), apresentando-se como área com importância biológica e prioridade de adoção de ações de conservação extremamente altas (denominada Rio São Bartolomeu), onde a adoção de boas práticas como o CAR deve ser implementada com urgência (MMA, 2005) e registrada no CAR da Embrapa Hortaliças como remanescente de vegetação nativa com pontuais ocorrências de APPs, a unidade hidrográfica tem sofrido forte pressão pela urbanização acelerada e desordenada. Esse fenômeno tem resultado em degradação do cerrado e prejuízo aos recursos hídricos, assim como mostrado por Sano et al. (2010) e Chelotti & Sano (2021).

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que a unidade hidrográfica se apresenta como uma importante área para manutenção da quantidade e qualidade dos recursos hídricos na região de influência. A qualidade da água do Córrego Tamanduá aponta para o baixo nível de antropização da área, podendo ser tratada como uma ilha diante de um contexto urbano crescente e impactante. A morfometria da bacia aponta para riscos erosivos que tendem a serem agravados com o aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, conforme mostraram a avaliação temporal dos índices de precipitação total anual, PCI e ISC. Os baixos valores de intervalos de confiança e de coeficientes de variação podem indicar a estabilização climática numa situação de ocorrência de extremos sem, porém, poderem ser descartadas a influência de outros fatores como, por exemplo, a maior precisão na aquisição de dados, sendo, portanto, necessário a avaliação de tendências temporais maiores. Tanto o aumento da precipitação total anual quanto o aumento da ocorrência dos eventos extremos de chuva influenciaram um grande aumento na estimativa da erosividade no período recente (2015 a 2024). Todo o cenário traçado põe em risco a capacidade da unidade hidrográfica de prover serviços ecossistêmicos como a recarga hídrica e o amortecimento de impactos ambientais negativos, colocando em risco a realização de atividades econômicas como a condução de pesquisa científica e a produção de alimentos

por pequenos e médios produtores rurais, aumentando os riscos de vulnerabilidade socioeconômica, insegurança hídrica, alimentar e nutricional. Portanto, ameaça as presentes e futuras gerações, constituindo ameaça ao cumprimento do Art. 225 da Constituição Federal, caracterizando-se, portanto, como uma ameaça aos direitos difusos. Existe ainda um forte alinhamento com a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), principalmente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 – Água potável e saneamento, 13 – Ação contra a mudança global do clima e 15 – Vida terrestre, denotando a importância e o estado da arte do tema estudado.

REFERÊNCIAS

- ADASA. Superintendência de Recursos Hídricos. Relatório de Atividades SRH 2020. Brasília, DF: ADASA, 2020.
- ADASA. Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do Distrito Federal: subproduto 1.D – Instrumentos de gestão. Elaborado por Elisa Kich, Carlos Bortoli e Sidnei Agra. Brasília, DF: ADASA, 2024. 94 p.
- ANA. Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil. Brasília, DF: ANA, 2024. 96 p.
- ALMAGRO, A.; OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; HAGEMANN, S. Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. *Scientific Reports*, Londres, v. 7, n. 8130, p. 1–12, 2017.
- ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; SOMBRA, S. S.; BARBOSA, A. C. B.; SANTOS, A. C. S.; LIRA, M. A. T. Eventos extremos diários de chuva no Nordeste do Brasil: características atmosféricas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 127–136, 2017.
- BALLARIN, A. S.; WENDLAND, E.; ZAERPOUR, M.; HATAMI, S.; MEIRA NETO, A. A.; PAPALEXIOU, S. M. Frequency rather than intensity drives projected changes of rainfall events in Brazil. *Earth's Future*, Hoboken, v. 12, n. 1, p. e2023EF004053, 2024.
- BARBOSA, W. C. S.; GUERRA, A. J. T.; LIMA, I. M. M. F. Impact of extreme rainfall events on soil erosion in downstream Parnaíba River Basin, Brazilian Cerrado. *Journal of Geography and Cartography*, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 9639, 2024.
- BARTOLOMEI, F. R.; RIBEIRO, J. G. M.; REBOITA, M. S. Eventos extremos de precipitação no Sudeste do Brasil: verão 2021/2022. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 16, n. 5, p. 2658–2676, 2023.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 545–552, 2002a.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um Cambissolo Húmico alumínico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 451–461, 2001.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico alumínico-léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 465–471, 2002b.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.
- BRAGA, B. B.; ALMEIDA, T. R.; SCHILAEFLI, C. R. C.; DIÓGENES, K. C. A.; RODRIGUES, R. M.; COSTA, C. A. G. Análise das características fisiográficas e do tempo de concentração da bacia do Carão, Ceará. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Florianópolis. Anais... Porto Alegre: ABRHidro, 2013.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Novo Código Florestal. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2012.
- CARDOSO, C. S.; QUADRO, M. F. L.; BONETTI, C. Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: variabilidade espacial e padrões atmosféricos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 221–230, 2020.
- CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; SOUZA, P. C. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. *Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia*, Goiânia, v. 4, p. 230–241, 2014.
- CEMADEN. Nota técnica: estado do clima, extremos de clima e desastres no Brasil em 2024. São José dos Campos: CEMADEN, 2024.

CHELOTTI, G. B.; SANO, E. E. Sessenta anos de ocupação urbana da capital do Brasil: padrões, vetores e impactos na paisagem. Texto para Discussão nº 73. Brasília, DF: CODEPLAN, 2021.

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Um panorama das águas no Distrito Federal. Brasília, DF: CODEPLAN, 2020. 31 p.

CEBDS. Gerenciamento de riscos hídricos no Brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades. Rio de Janeiro: CEBDS, 2015.

CORREIA FILHO, W. L. F.; LÚCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. C. Caracterização dos extremos de precipitação diária no Nordeste do Brasil. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 539–554, 2016.

COSTA, J. C. C.; MELO, R. E.; SANTOS, C. G. Caracterização do fator R na bacia hidrográfica do Rio Paraíba sob zona de clima tropical. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 33, p. 293–309, 2023.

COSTA, J. M. F.; SILVEIRA, C. S.; COSTA, A. C.; MARCOS JUNIOR, A. D.; GONÇALVES, S. T. N. Trend analysis of precipitation extremes in Brazil: the role of atmospheric temperature. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, São Paulo, v. 60, e2123, 2025.

COSTA, T. G.; SOUSA, N. F. M.; PAULA, F. L. J.; LEMOS, K. L. S.; LIMA, L. P. Z. Mensuração dos serviços ecossistêmicos de áreas de preservação permanente de cursos d'água. In: IX Seminário de Iniciação Científica do IFMG, 2021, Planeta IFMG. Anais... Bambuí: IFMG, 2021.

EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the jackknife. The Annals of Statistics, v. 7, n. 1, p. 1–26, 1979.

FERREIRA, B. C. C.; VALVERDE, M. C. Análise dos índices de extremos de precipitação em cenários futuros na bacia do Rio Ribeira de Iguape – São Paulo. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 41–55, 2022.

FERREIRA, D. H. L.; PENEREIRO, J. C.; FONTOLAN, M. R. Análises estatísticas de tendências das séries hidroclimáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do Rio Tietê. Holos, Natal, v. 31, n. 2, p. 50–60, 2015.
FIORESE, C. H. U.; TORRES, H. Morfometria da sub-bacia hidrográfica do Córrego Amorim, em Muniz Freire – ES, Brasil. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 16, n. 29, p. 219–229, 2019.

GALDINO, S. Distribuição espacial da erosividade da chuva no Estado de Goiás e no Distrito Federal. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2015. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Planalto Central. Brasília: ICMBio, 2015.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023.

LIMA, C. E. P. et al. Fragility and environmental relevance of an area of the Cerrado in the DF: pedogeomorphological subsidies for the protection of diffuse rights. ARACÊ, [S.l.], v. 7, n. 7, p. 38028–38054, 2025.

LIMA, E. P.; XAVIER, J. P. S.; BARROS, A. H. C.; SILVA, B. B. Erosividade da chuva do Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023. 43 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 286).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA (Brasil). Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação da Biodiversidade. Comissão Nacional de Biodiversidade – CONABIO. Deliberação CONABIO nº 39, de 14 de dezembro de 2005: dispõe sobre a aprovação da metodologia para revisão das Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira. Brasília, DF: CONABIO, 2005. 10 p.

MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. Eventos extremos no estado do Ceará, Brasil: uma análise estatística de episódios pluviométricos no mês de março de 2019. *GeoTextos*, Salvador, v. 15, n. 2, p. 149–171, jul./dez. 2019.

MORO NETO, G. Caracterização morfométrica e análise do risco de inundação na sub-bacia hidrográfica de Itirama-ES. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

LUNA PEQUENO, P. L.; VASCONCELOS, L. P.; VIEIRA, A. H.; MARTINS, E. P.; LOCATELLI, M.; OLIVEIRA, V. B. V. Importância das matas ciliares. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2002. 22 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 61).

PONTES, I. O que são direitos difusos? Jusbrasil, [S.l.], 4 fev. 2019. Acesso em: 8 jul. 2025.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, [S.l.], v. 166, n. 1-4, p. 113–124, 2010.

SEHNEM, M.; PETRAZZINI RODRIGUES, G.; CAMARGO, G. I. L.; CORSEUIL, C. W.; D'AQUINO, C. A. Análise da morfometria de bacias hidrográficas sujeitas a inundações na região sul de Santa Catarina – Brasil. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. Anais... Porto Alegre: ABRHidro, 2015.

SISDIA – Sistema Distrital de Informações Ambientais. SISDIA: Base para um futuro sustentável. Brasília, DF: Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal – SEMA/DF, 2023. 21 p.

SOUZA, F. A. O. de; SILVA, C. L. da; MAGGIOTTO, S. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. P. de. Caracterização das vazões em uma pequena bacia hidrográfica do Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 10–17, 2012.

TRAJANO, S. R. R. S.; SPADOTTO, C. A.; HOLLER, W. A.; DALTIO, J.; MARTINHO, P. R. R.; FOIS, N. S.; SANTOS, B. B. O.; TOSCHI, H. H.; LISBOA, F. S. Análise morfométrica de bacia hidrográfica – subsídio à gestão territorial: estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape. Brasília, DF: Embrapa Gestão Territorial, 2012. 32 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2).

UNESCO. Water for prosperity and peace: United Nations World Water Development Report 2024. Paris: UNESCO, 2024.

WANDERLEY, L. S. S.; NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, A. R.; JUNIOR, A. S.; ALMEIDA, C. P. F. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 22, p. 145–162, jul./dez. 2018.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, O. D. Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978. (Agriculture Handbook, 537).