



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ANNA LAURA DOS REIS SOUSA

**ESTUDO DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO CÓRREGO
SAMAMBAIA, GOIÂNIA - GO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APARECIDA DE GOIÂNIA
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): **Anna Laura dos Reis Sousa**

Título do trabalho: **Estudo de impactos das mudanças climáticas no sistema de drenagem da bacia do córrego Samambaia, Goiânia - GO.**

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Walter Manoel Mendes Filho, Professor do Magistério Superior**, em 02/07/2025, às 15:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anna Laura Dos Reis Sousa, Discente**, em 02/07/2025, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5473022** e o código CRC **CECB0C89**.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ANNA LAURA DOS REIS SOUSA

**ESTUDO DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
NO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO CÓRREGO
SAMAMBAIA, GOIÂNIA - GO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da graduação em Engenharia de Transportes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás.

Orientador: Prof. Dr. Walter Manoel Mendes Filho

APARECIDA DE GOIÂNIA

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Sousa, Anna Laura dos Reis
ESTUDO DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO CÔRREGO SAMAMBAIA,
GOIÂNIA - GO [manuscrito] / Anna Laura dos Reis Sousa. - 2025.
47 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Walter Manoel Mendes Filho.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Engenharia
de Transportes, Aparecida de Goiânia, 2025.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui abreviaturas, tabelas, lista de figuras.

1. mudança climática. 2. sistema de drenagem. 3. planejamento
urbano. 4. mudança hidrológica. I. Mendes Filho, Walter Manoel , orient.
II. Título.

CDU 625



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DECLARAÇÃO

CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ANNA LAURA DOS REIS SOUSA

ESTUDO DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA, GOIÂNIA - GO

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da graduação em Engenharia de Transportes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás.

Aprovada por:

Prof. Dr. Walter Manoel Mendes Filho - Orientador

Prof. Dr. João Paulo Souza Silva Examinador Interno

Prof. Dr. Liosber Medina Garcia Examinador Interno

Data: 25/6/2025



Documento assinado eletronicamente por **Walter Manoel Mendes Filho, Professor do Magistério Superior**, em 25/06/2025, às 15:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joao Paulo Souza Silva, Professor do Magistério Superior**, em 25/06/2025, às 15:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Liosber Medina Garcia, Professor do Magistério Superior**, em 25/06/2025, às 15:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](#), informando o código verificador **5459373** e o código CRC **9E47202B**.

*Dedico este trabalho à minha irmã
Karolynne Cristina, que partiu cedo
deste plano, mas deixou em mim a
força de uma vida inteira. Seu amor,
apoio e parceria seguem vivos em
cada uma das minhas conquistas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, a base de tudo em minha vida, por me conceder forças nos momentos de fraqueza e luz nos caminhos de incerteza.

Aos meus familiares, em especial meus pais e minha avó - Lucélia Cristina, Kleysller Augusto e Maria Aparecida - que, não tiveram tantas oportunidades, mas nunca mediram esforços para que eu aproveitasse todas. Me ensinaram o valor da persistência e do sacrifício. Sem eles essa conquista não seria possível.

À minha irmã, Karolynne Cristina (*in memoriam*), que sempre me incentivou e apoiou o início da minha jornada acadêmica com entusiasmo e orgulho, e que hoje segue me dando forças, mesmo após a sua partida.

À Universidade Federal de Goiás, pela oportunidade de cursar Engenharia de Transportes em uma instituição pública e de excelência, que colaborou imensamente para minha formação técnica e humana. Agradeço, também, aos docentes que, com tanto empenho, contribuíram para meu desenvolvimento, mesmo em contextos difíceis como a pandemia, oferecendo apoio acadêmico e psicológico.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Walter Manoel Mendes Filho, que não mediu esforços para que esta pesquisa fosse concluída, e por toda a confiança depositada desde o momento em que aceitou o convite de orientação.

À equipe por trás do time de futsal feminino da Universidade Federal de Goiás, que tornou os anos de graduação mais leves e foi meu lugar de refúgio e acolhimento.

À equipe do Plano de Drenagem Urbana de Goiânia, pelo fornecimento dos materiais necessários à realização deste trabalho.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos os familiares e amigos que não foram citados diretamente, mas que, por meio de apoio, conversas, risos e lágrimas, tornaram possível a conclusão desta etapa tão significativa da minha vida.

RESUMO

O desenvolvimento de estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas globais na dinâmica de respostas hidrológicas das bacias hidrográficas é um aspecto essencial para a adaptação e o gerenciamento integrado da infraestrutura urbana em cidades resilientes. Este estudo foca em bacias hidrográficas como unidade de análise para sistemas de drenagem em regiões metropolitanas, que são fundamentais para enfrentar os desafios impostos por eventos climáticos extremos. Embora haja evidências sobre a magnitude das mudanças climáticas globais, prever seus efeitos em escalas regionais e locais continua sendo um desafio. Entretanto, cresce a responsabilidade dos governos locais em se prepararem para essas mudanças, através de planejamento urbano focado na adaptação climática. No Brasil, o censo de 2022 indicou que as cidades e as regiões não litorâneas são as que mais cresceram no atual século. Ademais, desde os anos 1970, a população rural tem diminuído e todo o crescimento tem ocorrido em áreas urbanas. Dentre as consequências associadas às mudanças climáticas, o país já registra um aumento significativo nos eventos extremos, com cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Porto Alegre enfrentando enchentes recorrentes, causando prejuízos de bilhões de reais anualmente. Nesse cenário, sistemas de drenagem mais modernos são imprescindíveis para a mitigação de eventos de alagamentos, especialmente em áreas metropolitanas densamente urbanizadas. Contudo, o desempenho desses sistemas de drenagem tem gerado preocupações crescentes, à medida que as mudanças climáticas contribuem para a intensificação das precipitações e a maior frequência de eventos extremos de precipitação. Portanto, associado às mudanças no padrão de respostas hidrológicas, é preciso aumentar os índices de resiliência climática nas grandes cidades, adaptando as infraestruturas urbanas para enfrentar os desafios impostos por esses eventos cada vez mais severos. De maneira especial, este estudo adota como área de estudo a bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, localizada no município de Goiânia - GO. Inserida no centro do bioma Cerrado, estudos desenvolvidos para a Região Metropolitana de Goiânia apontam a necessidade de análise dos impactos ambientais desencadeados por mudanças climáticas sobre a região e sua população, incorporando à análise, os cenários de projeções do clima. O objetivo deste estudo é analisar os impactos das mudanças climáticas associados aos efeitos das projeções hidrológicas de longo prazo (ano 2025 até 2040) na bacia do Córrego Samambaia, com foco no processo de geração de escoamento superficial e potenciais impactos no planejamento da infraestrutura de drenagem urbana. Ante o exposto, as

mudanças nos padrões das respostas hidrológicas, no que se refere à componente escoamento superficial, foram obtidas com a integração das projeções climáticas de precipitação, ao modelo hidrológico SCS (*Soil Conservation Service*). Os resultados obtidos a partir das projeções hidrológicas de longo prazo indicam uma redução no padrão de precipitação máxima diária no período analisado, o que reflete em mudanças no padrão das relações I-D-F (Intensidade - Duração - Frequência) da precipitação. Por outro lado, ao simular cenários com aumento da impermeabilização na bacia, observou-se que aproximadamente 44% da precipitação pode contribuir para a geração de escoamento superficial. Nesse sentido, o estudo permitiu avaliar potenciais impactos climáticos na bacia do Córrego Samambaia, oferecendo subsídios para pesquisas futuras voltadas à adaptação e o planejamento de sistemas de drenagem em regiões estratégicas da bacia, com atualizações baseadas em novas projeções climáticas.

Palavras-chave: mudança climática; sistema de drenagem; planejamento urbano; mudança hidrológica.

ABSTRACT

The development of studies on the effects of global climate change on the hydrological response dynamics of watersheds is an essential aspect of adaptation and integrated management of urban infrastructure in resilient cities. This study focuses on river basins as the unit of analysis for drainage systems in metropolitan regions, which are crucial for addressing the challenges posed by extreme weather events. Although there is evidence on the magnitude of global climate change, predicting its effects at regional and local scales remains a challenge. However, the responsibility of local governments to prepare for these changes is increasing through urban planning focused on climate adaptation. In Brazil, the 2022 census indicated that inland cities and regions have experienced the most growth in the current century. Moreover, since the 1970s, the rural population has declined, with all growth occurring in urban areas. Among the consequences associated with climate change, the country has already recorded a significant increase in extreme events, with cities like São Paulo, Rio de Janeiro, and Porto Alegre facing recurring floods that cause billions of reais in damages annually. In this scenario, more modern drainage systems are essential for mitigating flood events, especially in densely urbanized metropolitan areas. However, the performance of these drainage systems has generated growing concerns as climate change contributes to more intense rainfall and a higher frequency of extreme precipitation events. Thus, alongside changes in hydrological response patterns, there is a need to increase climate resilience in large cities by adapting urban infrastructure to face the challenges posed by these increasingly severe events. In particular, this study adopts the Córrego Samambaia watershed as its study area, located in the municipality of Goiânia, GO. Located in the heart of the Cerrado biome, studies carried out for the Goiânia Metropolitan Region point to the need to analyze the environmental impacts of climate change on the region and its population, incorporating climate projection scenarios into the analysis. This study aims to analyze the impacts of climate change associated with the effects of long-term hydrological projections (the year 2025 to 2040) in the Córrego Samambaia basin, with a focus on the process of generating surface runoff and potential impacts on the planning of urban drainage infrastructure. In view of the above, changes in the patterns of hydrological responses, with regard to the surface runoff component, were obtained by integrating climate projections of precipitation into the SCS (Soil Conservation Service) hydrological model. This study aims to analyze the impacts of climate change associated with the effects of long-term hydrological projections (the year

2025 to 2040) in the Córrego Samambaia basin, with a focus on the process of generating surface runoff and potential impacts on the planning of urban drainage infrastructure. In view of the above, changes in the patterns of hydrological responses, with regard to the surface runoff component, were obtained by integrating climate projections of precipitation into the SCS (Soil Conservation Service) hydrological model. The results obtained from the long-term hydrological projections indicate a reduction in the pattern of maximum daily precipitation over the period analyzed, which reflects changes in the pattern of the I-D-F (Intensity - Duration - Frequency) relationships of precipitation. On the other hand, when simulating scenarios with increased sealing in the basin, it was observed that approximately 44% of rainfall could contribute to the generation of surface runoff. In this sense, the study made it possible to assess potential climate impacts in the Córrego Samambaia basin, offering subsidies for future research aimed at adapting and planning drainage systems in strategic regions of the basin, with updates based on new climate projections.

Keywords: climate change; drainage system; urban planning; hydrological change.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	3
1.2	RELEVÂNCIA CIENTÍFICA DA PESQUISA	4
1.3	ABORDAGEM DA PESQUISA	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	7
2.1.1	Modelos e projeções climáticas	9
2.1.2	Projeções hidrológicas de longo prazo	10
<i>2.1.2.1</i>	<i>O modelo SCS (Soil Conservation Service)</i>	<i>11</i>
<i>2.1.2.2</i>	<i>Parâmetros “S” e “CN”</i>	<i>12</i>
<i>2.1.2.3</i>	<i>Classificação hidrológica dos solos</i>	<i>13</i>
2.2	VULNERABILIDADE CLIMÁTICA E CIDADES RESILIENTES	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4	ÁREA DE ESTUDO E O CONTEXTO REGIONAL	23
4.1	BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SAMAMBAIA	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1	DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS	27
5.1.1	Precipitação	27
5.1.2	Temperatura	30
5.1.3	Balanço hídrico simplificado	31
5.2	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA	32
5.2.1	Equações IDF: avaliação do padrão de precipitação	32
5.2.2	Análise dos parâmetros CN e tempo de concentração (TC)	33
5.2.3	Análise dos hietogramas: projeções hidrológicas	35
6	CONCLUSÕES	40
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	Apêndice A - Anomalias de precipitação referente ao período histórico.	46
	Apêndice B - Comparação entre curvas IDFs existente e futura (projeções)	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.1. Excesso de precipitação.	11
Equação 1.2. Escoamento superficial.	12
Equação 1.3. Retenção potencial.	12
Equação 1.4. Precipitação intensa.	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Abordagem de pesquisa.	06
Figura 2. Emissões de dióxido de carbono CO ₂ no RCP e as trajetórias de cenário associado.	07
Figura 3. Projeções de Mudanças na Temperatura Média da Superfície e na Precipitação Média Global para os Cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 (1986-2005 a 2081-2100).	08
Figura 4. Impacto hipotético do uso do solo e da variabilidade climática na resposta hidrológica em função da escala.	16
Figura 5. Rota metodológica.	20
Figura 6. Modelo conceitual do sistema analisado.	21
Figura 7. População e Taxa Geométrica de Crescimento Demográfico (2000-2010).	24
Figura 8. Bacia hidrográfica do Córrego Samambaia	25
Figura 9. Precipitação mensal (1961-2020).	28
Figura 10. Projeção de Precipitação no MCR Eta-HadGEM2-ES em Goiânia (até 2040).	29
Figura 11. Projeção de Precipitação no MCR Eta-Miroc5 em Goiânia (até 2040).	29
Figura 12. Projeção de Temperatura no MCR Eta-HadGEM2-ES em Goiânia (até 2040).	30
Figura 13. Projeção de Temperatura no MCR Eta-Miroc5 em Goiânia (até 2040).	31
Figura 14. Balanço hídrico simplificado - normais climatológicas (1991-2020).	31
Figura 15. Hietograma para Tr = 50 anos, duração 1,5 horas (situação atual), Goiânia.	36
Figura 16. Hietograma para Tr = 50 anos, duração 1,5 horas (Modelo HADGEM2-ES - Cenário 4.5), Goiânia.	37
Figura 17. Hietograma para Tr = 50 anos, duração 1,5 horas (Modelo HADGEM2-ES - Cenário 8.5), Goiânia.	37
Figura 18. Hietograma para Tr = 50 anos, duração 1,5 horas (Modelo Eta-Miroc5 - Cenário 4.5), Goiânia.	38
Figura 19. Hietograma para Tr = 50 anos, duração 1,5 horas (Modelo Eta-Miroc5 - Cenário 8.5), Goiânia.	38

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CN	Número de Curva (<i>Curve Number</i>)
GEE	Gases de Efeito Estufa
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (<i>Intergovernmental Panel On Climate Change</i>)
MCGs	Modelos Climáticos Globais
MCRs	Modelos Climáticos Regionais
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
PDIRMG	Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Goiânia
PIB	Produto Interno Bruto
PMBC	Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
RCP	Cenários Representativos de Concentração (<i>Representative Concentration Pathways</i>)
RMG	Região Metropolitana de Goiânia
SCS	Serviço de Conservação do Solo (<i>Soil Conservation Service</i>)
SUDS	Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (<i>Sustainable Urban Drainage System</i>)

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são definidas como alterações no estado do clima, podendo ser identificadas por testes estatísticos e/ou na variabilidade de suas propriedades. Essas alterações podem ser desencadeadas por processos naturais endógenos, forçantes exógenas, ou ainda, mudanças antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso do solo, por um período prolongado, tipicamente décadas ou mais (IPCC, 2012).

Em escala global, as mudanças climáticas são uma das maiores preocupações da sociedade, podendo gerar crises relacionadas ao esgotamento de recursos naturais, com causas divididas em dois aspectos principais: a ação antrópica e as mudanças no clima global. Entre os efeitos mais perceptíveis, a água desempenha um papel central, pois alterações nos padrões de precipitação e no escoamento dos rios serão, provavelmente, os primeiros e mais intensos sinais dessas transformações para a população. (IPCC, 2014; ANA, 2016).

A sociedade vem evoluindo tecnologicamente nos últimos anos, o que pode estar refletido nas condições socioeconômicas da sociedade, com o acelerado processo de crescimento demográfico em diversas regiões do mundo. No setor de recursos hídricos, esse crescimento pode gerar uma pressão significativa sobre a demanda pelos recursos hídricos (ONU, 2018). Consequentemente, as pressões provocadas por atividades antrópicas podem modificar as concentrações de CO₂ e outras forçantes radiativas, ocasionando mudanças no equilíbrio entre a radiação que entra e sai para a atmosfera, causadas por alterações nas componentes atmosféricas (IPCC, 2007).

No âmbito das mudanças climáticas existem grandes incertezas no futuro, que requerem o uso de cenários do futuro para explorar as consequências potenciais de diferentes opções de resposta (MOSS *et al.*, 2010). Segundo Baker *et al.* (2012), apesar das evidências sobre a magnitude das mudanças climáticas globais, é difícil projetar como essas mudanças se manifestarão em escalas regionais e locais. No entanto, mundialmente, há uma responsabilidade crescente dos governos locais na preparação para essas mudanças, com o planejamento da adaptação às mudanças climáticas.

O ciclo hidrológico está estreitamente ligado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação, sendo impactado pelo aquecimento global, que pode alterar padrões de precipitação, intensificando sua variabilidade e que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios, de forma positiva ou negativa.

Além disso, eventos extremos, como secas e enchentes, podem se tornar mais frequentes (ANA, 2016).

No Brasil, a ciência das mudanças climáticas busca responder a esses desafios atuando em três frentes principais: o desenvolvimento e adaptação de modelos climáticos, a análise e previsão de impactos e os estudos sobre adaptação. Essas frentes permitem o avanço no entendimento dos efeitos das alterações climáticas e na preparação para os riscos associados. Embora os pesquisadores brasileiros tenham uma longa trajetória na área de modelos climáticos, foi apenas nos últimos anos que os esforços para sistematizar os resultados desses modelos ganharam força (MARENGO *et al.*, 2012; TORRES; MARENGO, 2013; CHOU *et al.*, 2014; LYRA *et al.*, 2018). Esses esforços incluem o desenvolvimento de um modelo climático brasileiro (BESM) e a regionalização das simulações dos modelos globais, voltados para projeções de clima futuro (BRASIL, 2016). Na área de previsão e análise de impactos, o projeto Brasil 3 Tempos: Adaptação 2040, da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (BRASIL, 2015) é o primeiro estudo em nível nacional a sistematizar pesquisas em seis áreas distintas — Recursos Hídricos, Energia, Infraestruturas Urbana e Costeira, Saúde, Agricultura e Transportes —, essenciais para o planejamento em grande escala. Já na área de adaptação, embora os estudos sejam cada vez mais frequentes, eles ainda são pouco integrados, revelando uma lacuna importante de sistematização na interface entre a análise de impactos e a adaptação às mudanças climáticas.

Estudos para aplicação dos modelos de previsão de vazões em bacias hidrográficas brasileiras diante de cenários de mudanças climáticas apresentam resultados divergentes, mas concordam na indicação de alterações no regime de escoamento (ANA, 2016). Nesse contexto, é essencial considerar as particularidades de regiões específicas, como a Região Metropolitana de Goiânia (RMG), inserida no centro do bioma Cerrado, que enfrenta desafios ligados ao agronegócio, à hidroenergia e ao desmatamento (FARIAS; LUIZ, 2015; FARIAS, 2016). Nesse sentido, conforme o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Goiânia (GOIÁS, 2019), quanto à análise dos impactos ambientais, existe uma necessidade de estudos sobre os impactos das mudanças climáticas sobre a RMG e sua população. Assim como, avaliar cenários de projeções do clima para RMG, em diferentes períodos anuais.

Assim, o presente estudo propõe analisar os impactos das mudanças climáticas associados aos efeitos das projeções hidrológicas de longo prazo sobre a infraestrutura de drenagem urbana da Região Metropolitana de Goiânia (RMG), com foco em trechos críticos

do sistema de transporte urbano inseridos na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia (BHCS), localizada no município de Goiânia. A análise será baseada em estratégias de adaptação, utilizando modelos hidrológicos e considerando as projeções climáticas. As projeções climáticas serão obtidas da combinação de Modelos do Sistema Terrestre (ESMs, sigla em inglês) do “*Coupled Model Inter-comparison Project Phase*” (CMIP), considerando fases 5 e 6 (atual), as quais correspondem, respectivamente, ao conjunto de experimentos utilizados nos 5º e 6º Relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com o CMIP5 integrando projeções publicadas em 2013-2014 e o CMIP6 incorporando avanços recentes, publicados entre 2021 e 2023.

1.1 OBJETIVOS

Sob o impacto das mudanças climáticas, os sistemas hídricos enfrentam maior variabilidade nos padrões climáticos e nas respostas hidrológicas. Diante disso, é essencial que as abordagens de gerenciamento integrado de recursos hídricos incorporem projeções climáticas, responsáveis por importantes mudanças nos padrões hidrológicos, e a indicadores socioeconômicos, como os cenários de expansão urbana e viária, por exemplo. Essa adaptação possibilitaria atualizar as preocupações das partes interessadas, como agências reguladoras, operadoras de sistemas, usuários, comitês de bacias e outros.

Diante dessas adversidades, é essencial considerar as dinâmicas hidrológicas e socioeconômicas da região. Assim, postula-se que é necessário integrar estratégias de longo prazo para alcançar padrões sustentáveis e reduzir riscos climáticos, considerando bacias hidrográficas como unidade de análise para sistemas de drenagem. O objetivo deste estudo é analisar os impactos das mudanças climáticas associados aos efeitos das projeções hidrológicas de longo prazo (ano 2025 até 2040), na bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, situada no município de Goiânia. A análise concentra-se no processo de geração de escoamento superficial e em potenciais impactos no planejamento da infraestrutura de drenagem urbana, considerando o contexto de urbanização acelerada e as mudanças no uso do solo, que afetam diretamente a dinâmica hidrológica, o planejamento urbano da região e a mobilidade no transporte local.

No âmbito específico da análise desses impactos na infraestrutura de drenagem urbana, este trabalho possui os objetivos de:

- Caracterizar parâmetros hidrológicos na influência do uso e do tipo de solo na geração do escoamento superficial, analisando o potencial do escoamento na bacia Samambaia;
- Avaliar tendências de eventos hidrometeorológicos extremos;
- Simular projeções hidrológicas associadas ao processo de geração de escoamento superficial, considerando cenário de mudanças nos padrões de uso do solo e cenários climáticos na bacia Samambaia.

1.2 RELEVÂNCIA CIENTÍFICA DA PESQUISA

O desenvolvimento urbano se acelerou na segunda metade do século XX, com altas concentrações populacionais em pequenos espaços e impactos sobre os sistemas hídricos e sobre a própria população por meio de inundações, doenças e redução da qualidade de vida. Esse processo ocorre devido ao controle deficiente da área urbana, o que leva a efeitos diretos sobre a infraestrutura hídrica: abastecimento, saneamento, drenagem urbana e inundação de rios e resíduos sólidos (TUCCI, 2007).

A urbanização desenfreada também contribui para a deterioração da qualidade da água, conforme argumentam Huong e Phatirana (2013). O escoamento superficial aumenta o transporte de sedimentos das erosões, resíduos e poluentes provenientes de diversas fontes urbanas para os corpos d'água, impactando negativamente a qualidade da água nos rios, lagos e oceanos, afetando os aquíferos, a saúde da fauna e também dos cidadãos.

Conforme Dong *et al.* (2017), as mudanças climáticas agravam ainda mais essa situação devido a intensificação e alterações nos padrões de precipitação, além do aumento na frequência de eventos climáticos extremos. Portanto, a combinação desses fatores eleva o risco de inundações, transbordamentos de esgoto e sobrecarga nos sistemas de drenagem e estações de tratamento de água residuais.

Diante desse cenário, é essencial desenvolver sistemas resilientes, capazes de se adaptar às mudanças climáticas e reduzir os impactos e possíveis falhas, além da capacidade de recuperação após eventos disruptivos. Mugume *et al.* (2015), abordam diferentes estratégias de adaptação que visam o aumento da resiliência dos sistemas de drenagem urbana, e consequentemente, a implementação de mecanismos que ajudam a controlar picos de fluxo durante precipitações intensas, ou seja, que reduzem o volume de água que chega ao

sistema de escoamento, aumentando assim a flexibilidade de captação, reduzindo falhas hidráulicas.

Nesse contexto de busca por resiliência, Semadeni-Davies *et al.* (2007), exploram a relação complexa entre urbanização e o ciclo hidrológico, com foco nos impactos nos sistemas de escoamento pluvial e residual, ou seja, no sistema de esgoto combinado, na cidade de Helsingborg, Suécia. Em meio a esses desafios, surge a necessidade de implementação de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (SUDS), a fim de minimizar os impactos da urbanização no sistema de escoamento por meio da infiltração, retenção e tratamento da água da precipitação no local, além da adoção de tecnologias de baixo consumo de água em residências.

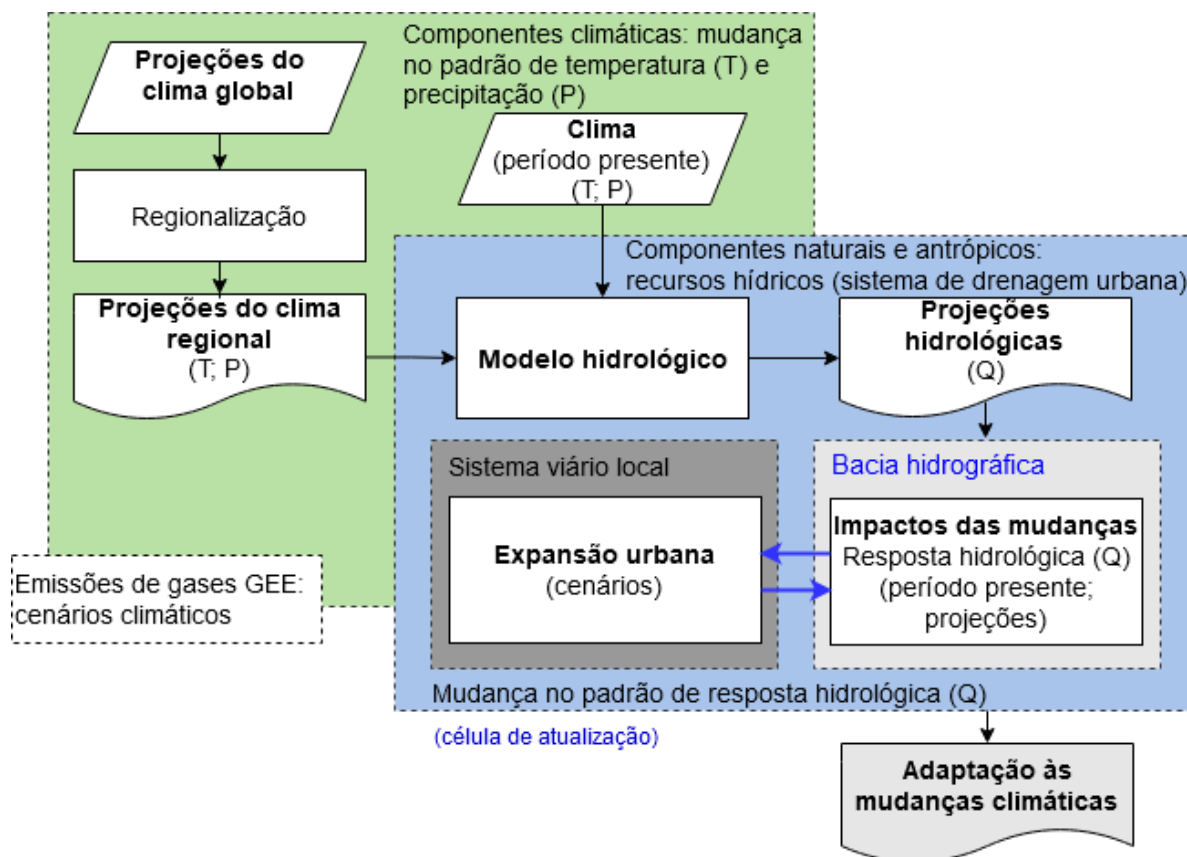
Nas últimas décadas, as mudanças no uso e na cobertura do solo têm sido uma das principais causas de diversos problemas ambientais. Para a RMG, o estudo de Farias e de Brito (2022), destaca que as projeções climáticas apresentam uma diminuição significativa da precipitação total tanto na primavera quanto no verão, em ambos os cenários analisados, de maneira mais significativa no período próximo (2011 - 2040). Eles também chamam a atenção para o fato de que o cenário RCP 8,5 é bem mais seco que o RCP 4,5. A estação da primavera dada as suas características climatológicas serão mais irregulares na RMG. Nesse sentido, torna-se essencial obter dados que subsidiem estudos voltados à análise dos impactos das mudanças no uso do solo e das mudanças climáticas. Esses estudos são fundamentais para o desenvolvimento e a difusão de técnicas mais eficientes para o mapeamento da superfície terrestre e a identificação dos impactos causados, bem como a vulnerabilidade das populações a essas transformações.

1.3 ABORDAGEM DA PESQUISA

Para apresentar o escopo da pesquisa, destaca-se nesta seção os elementos considerados no desenvolvimento da pesquisa para analisar os impactos das mudanças climáticas associadas aos efeitos das projeções hidrológicas de longo prazo sobre a infraestrutura de drenagem urbana da RMG. Com essa abordagem, é possível analisar a infraestrutura urbana, compreendendo as relações entre as componentes naturais/antrópicas e as socioeconômicas, sob ação das mudanças climáticas. Desenvolvido para aplicação em contexto local/regional, essa abordagem considera uma célula de atualização da unidade de análise desta pesquisa, a infraestrutura de drenagem urbana sob mudanças climáticas,

conforme a Figura 1. Essa abordagem é de aplicabilidade geral em relação às características do problema, a variabilidade dos cenários de expansão urbana sob mudanças climáticas.

Figura 1: Abordagem de pesquisa.



Fonte: Autor (2024).

Cabe ressaltar que o escopo de aplicação desta abordagem limita-se em escala regional/local. Consequentemente, a abordagem de pesquisa considera que a resiliência hídrica do sistema depende dos limites de vazão da infraestrutura hídrica (âmbito do sistema viário). Essa característica é imposta pela capacidade hidráulica do sistema, além do contexto regulatório (legislação, plano diretor, diretrizes de projeto e outros).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

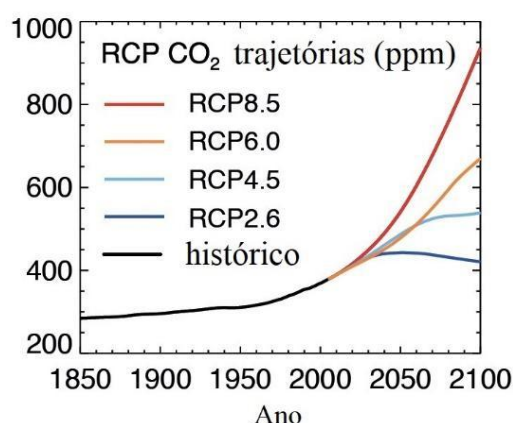
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

De acordo com o IPCC (2004), mudança climática é uma variação a longo prazo, que seja estatisticamente significativa sobre um parâmetro climático. Um cenário de alteração climática pode ser oriundo de processos naturais, do planeta ou de forças externas, mas também de alterações antrópicas (UNITED NATIONS, 2009).

Uma grande questão que se manifesta quanto às mudanças climáticas é o porquê de a temperatura estar aumentando e qual é o peso das ações humanas em comparação aos processos naturais nesse aquecimento. O relatório do PBMC (2016) aborda a questão do aumento da temperatura global impulsionado pelas emissões de gases de efeito estufa que implica no aumento de eventos extremos, levando à sobrecarga da infraestrutura de drenagem existente, uma vez que as cidades são grandes contribuintes dessas emissões, consumindo 70% da energia mundial e emitindo 40% dos Gases do Efeito Estufa (GEE).

Conforme Vuuren *et al.* (2011), os cenários climáticos *Representative Concentration Pathways* (RCP) incluem: mais restritivo (RCP 2.6); dois intermediários (RCP 4.5 e RCP 6.0); e um que considera altas trajetórias de emissões de GEE (RCP 8.5), Figura 2.

Figura 2: Emissões de dióxido de carbono CO₂ no RCP e as trajetórias de cenário associado.

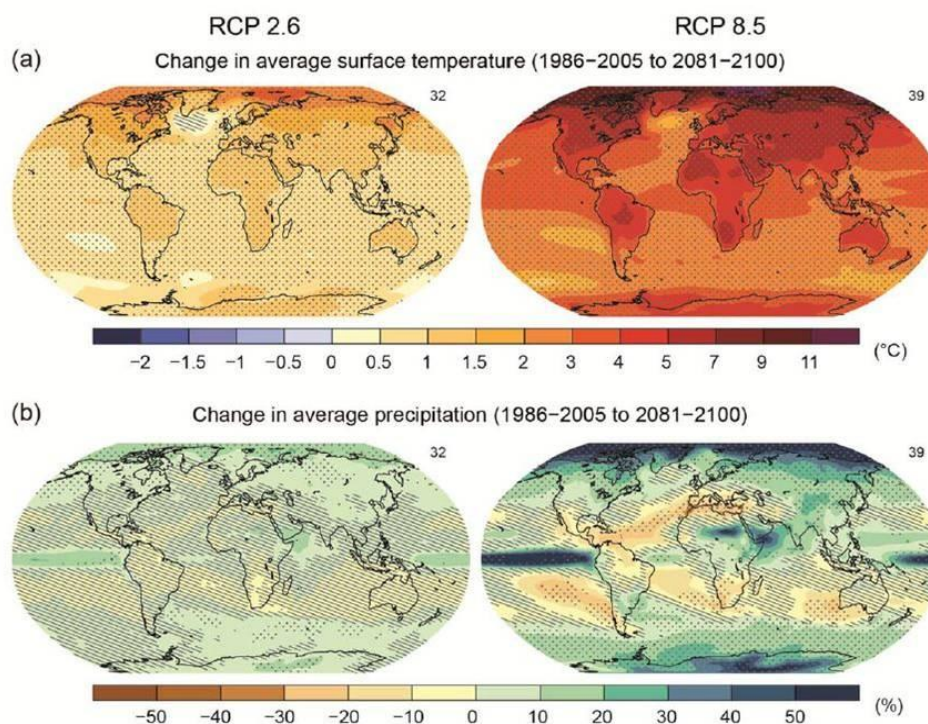


Fonte: IPCC (2014).

A Figura 3 ilustra as variações projetadas na temperatura média da superfície e na precipitação média global entre os períodos de 1986-2005 e 2081-2100, para os cenários de

concentração de gases de efeito estufa RCP 2.6 e RCP 8.5. Especificamente, na Figura 3. (a), os tons mais intensos de vermelho indicam maiores aumentos de temperatura em °C. No cenário RCP 2.6, esses aumentos são moderados, variando entre 0 °C e 2 °C na maior parte do globo, com aquecimentos mais acentuados nas regiões polares. No cenário RCP 8.5, observa-se um aquecimento significativo, ultrapassando 7 °C em áreas continentais e de altas latitudes. No mapa (b), os tons intensos de azul representam aumentos expressivos na precipitação, enquanto os tons de marrom e amarelo claro indicam uma tendência ao aumento de secas. No cenário RCP 2.6, as mudanças na precipitação são mais moderadas e restritas a algumas regiões. Contudo, no cenário RCP 8.5, há um aumento significativo de precipitação nas latitudes altas, enquanto áreas próximas aos trópicos e regiões subtropicais apresentam maior tendência a condições de seca.

Figura 3: Projeções de Mudanças na Temperatura Média da Superfície e na Precipitação Média Global para os Cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 (1986-2005 a 2081-2100).



Fonte: IPCC (2014).

Segundo o CGEE (2014), a incerteza de projeções de cenários climáticos reforça a importância de uma análise rigorosa das respostas de uma gama de cenários climáticos, a fim de adaptar e melhorar o desempenho do sistema de escoamento e de tratamento da água. Fatores como o uso e ocupação do solo e a vulnerabilidade na infraestrutura urbana,

combinados à incerteza dessas projeções, representam um desafio quanto ao gerenciamento dos recursos hídricos, especialmente, quanto ao planejamento de sistemas de drenagem urbana.

2.1.1 Modelos e projeções climáticas

O relatório Brasil (2016) aborda a importância do *downscaling*. Este processo refere-se à etapa de regionalização das projeções de Modelos Climáticos Globais (MCG), permitindo resultados mais detalhados em menores escalas, aumentando a precisão de projeções (regionalizadas). Essa técnica é recomendada porque, embora os Modelos Climáticos Globais (MCG) sejam essenciais para simular mudanças climáticas com base em cenários futuros, eles geram projeções em resoluções inadequadas para análises em escalas urbanas, como bacias hidrográficas. A aplicação desse método é crucial em estudos sobre os impactos das mudanças climáticas, especialmente para a operação e gerenciamento de recursos hídricos. No Brasil, as simulações do Modelo Climático Regional (MCR) Eta (MESINGER *et al.*, 1988), operacionalizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) são forçadas pelas simulações dos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5.45 Esses cenários representam trajetórias de desenvolvimento futuro distintas, visando a análise de mudanças climáticas, os impactos causados por estas e as respectivas medidas mitigadoras.

Para executar integrações em períodos de longo prazo, o Modelo Eta teve sua estrutura inicial adaptada (CHOU *et al.*, 2005; CHOU *et al.*, 2014). Admitindo nesta pesquisa como período “presente” (1961 – 2005) e o período “futuro” (2006 – 2040).

No entanto, as projeções climáticas resultantes dessas integrações estão sujeitas a incertezas, uma vez que representam versões simplificadas da realidade. Entre os principais fatores que contribuem para essas incertezas estão o número limitado de simulações, a escala utilizada, o estado inicial da atmosfera, a necessidade de *downscaling* para ajustar a resolução em escalas menores e a baixa resolução espacial dos modelos climáticos globais (BRASIL, 2016).

No âmbito dos estudos de mudanças climáticas, as anomalias são variações ou desvios em um padrão climático esperado. Assim, elas representam as diferenças entre as condições climáticas projetadas para o futuro e as condições climáticas observadas em um determinado período. As anomalias climáticas representam a vulnerabilidade, e podem ser anomalias

positivas que indicam valores acima da média ou anomalias negativas que indicam valores abaixo da média do período de referência (BRASIL, 2016).

Nesse sentido, as anomalias são um indicador importante quanto ao impacto das mudanças climáticas, uma vez que indicam alterações nos padrões climáticos causadas por fatores naturais ou fatores antropogênicos. Portanto, os índices climáticos como temperatura, precipitação, umidade, entre outros, podem apresentar anomalias climáticas.

2.1.2 Projeções hidrológicas de longo prazo

Wagener (2007) destaca os desafios na estimativa de parâmetros para modelos hidrológicos, considerando conceitos e a física. O autor destaca a importância da correlação entre parâmetros do modelo e as características da bacia hidrográfica para que haja credibilidade nas projeções climáticas. No entanto, a complexidade dos processos hidrológicos e a escassez de dados dificultam esse processo.

Por outro lado, Blöschl *et al.*, (2007) reforçam a necessidade de considerar as incertezas nas projeções hidrológicas, além de destacar a importância de aprimorar os modelos. Desse modo, é importante compreender os processos hidrológicos em diferentes escalas e a interação entre clima, uso do solo e uso da água.

Para Beven (2011), a credibilidade limitada dos modelos climáticos atuais, principalmente em relação à estimativa de precipitação, compromete a confiabilidade dos estudos de impacto que se baseiam nesses modelos. Nesse sentido, o autor defende uma abordagem cuidadosa no planejamento de recursos hídricos diante dessas incertezas nas projeções, ou seja, destaca a importância de considerar diferentes cenários de mudanças, incluindo custos e benefícios de diferentes níveis de precaução.

A inclusão de fatores como urbanização, mudanças no uso do solo e intensificação agrícola na modelagem hidrológica pode ter impactos significativos nas respostas das bacias hidrográficas, resultando em projeções mais realistas. Assim, é importante reconhecer a heterogeneidade espacial das bacias, considerando que bacias rurais podem responder de forma diferente das bacias urbanas (BLOSCHL *et al.*, 2007; BEVEN, 2011).

Principal componente hidrológica dos sistemas hídricos, a precipitação é objeto de estudo em todo o mundo, em razão de sua variabilidade temporal e espacial (ALLEN *et al.*, 2000; TORRES; MARENGO, 2013; COELHO *et al.*, 2016a; MARENGO *et al.*, 2020a). As informações sobre a mudança nos padrões de precipitação são o ponto de partida para uma

avaliação dos recursos hídricos, controle de enchentes e secas, a compreensão da mudança climática e o gerenciamento dos sistemas (HUANG *et al.*, 2013).

Considerando a importância da precipitação para a avaliação dos recursos hídricos, as mudanças potenciais na disponibilidade hídrica e sua variabilidade temporal merecem atenção, uma vez que têm sido negligenciadas, ao considerar apenas as médias a longo prazo. Além disso, as mudanças hidrológicas podem ter consequências que vão muito além da disponibilidade para uso humano, por exemplo, como a alteração na ocorrência de eventos extremos (GOSLING *et al.*, 2011; SCHEWE *et al.*, 2014).

Assim, o entendimento dos processos hidrológicos e dos impactos que ocorrem nas bacias é imprescindível para melhorar a capacidade dos gestores nas análises dos sistemas hídricos diante de cenários climáticos, possibilitando formular e testar políticas de adaptação que promovam maior resiliência aos sistemas.

2.1.2.1 O modelo SCS (Soil Conservation Service)

Diante da necessidade de entender os processos hidrológicos para melhorar a análise dos sistemas hídricos, é fundamental compreender os diferentes tipos de escoamento. Os escoamentos são em geral definidos em superficial, que representa o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais, subsuperficial, correspondente àquele que se dá junto às raízes da cobertura vegetal, e subterrâneo, devido à contribuição do aquífero (TUCCI, 2005).

O modelo chuva-vazão desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS) em 1972, órgão do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA, na sigla em inglês), é muito utilizado para estimar o número da curva de escoamento superficial “CN” e também a distribuição e o volume do escoamento superficial de uma área, segundo as características geomorfológicas e físicas de bacias hidrográficas com áreas que variam de 3km² a 250km² (TOMAZ, 2011). Segundo Nakayama *et al.* (2011), o método SCS consiste em determinar a chuva efetiva utilizando os conceitos básicos do hidrograma unitário. Nesse sentido, estima o excesso de precipitação, o qual é responsável pela produção do escoamento superficial, fundamentando-se em uma função de precipitação cumulativa, tipos de solo, categorias de uso e ocupação do solo e de considerações de umidade, usando a seguinte equação:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (1.1)$$

Sendo que P_e é o excesso de precipitação acumulada no tempo t , P é a quantidade de precipitação total no tempo t , I_a representa as perdas iniciais e S é a retenção máxima potencial.

O escoamento superficial direto é dado pela equação a seguir:

$$Q = \frac{(p - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad \text{para } P > 0,2S \quad (1.2)$$

Onde P é a precipitação em mm, e S a retenção potencial do solo em mm.

O valor de S depende do tipo e do uso do solo e pode ser determinado por tabelas específicas. A parcela de $0,2S$ refere-se a uma estimativa de perdas iniciais, devidas à interceptação e retenção em depressões. Por esse motivo, condiciona-se $P > 0,2S$.

2.1.2.2 Parâmetros “S” e “CN”

Para obter o escoamento direto (Q) a partir de uma precipitação conhecida (P), é necessário estimar a variável desconhecida (S), que representa o potencial máximo de retenção do solo. Com esse objetivo, o Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (SCS) desenvolveu o número da curva de escoamento superficial (CN), que visa facilitar a aplicação prática da equação de escoamento proposta por esse método. O CN é um parâmetro adimensional que expressa os efeitos combinados do tipo de solo, do uso e cobertura da terra, e da condição de umidade anterior ao evento de chuva, influenciando diretamente o volume de escoamento gerado (UNITED STATES, 1972; TUCCI, 2005). As curvas foram numeradas de 0 a 100, e a variável S está relacionada ao CN da seguinte forma:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1.3)$$

O parâmetro *Curve Number* (CN) é o número de escoamento da bacia, ou seja, expressa o escoamento superficial da água, considerando as condições de umidade anterior ao evento chuva-vazão, o tipo geológico e o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica. Os valores do CN variam de 0 (limite inferior) a 100 (limite superior), onde 0 é atribuído para áreas com baixo poder de produzir escoamento superficial e elevada capacidade de infiltração no solo, e o valor de 100 é atribuído para áreas com alto poder de produzir escoamento superficial e baixa capacidade de armazenamento da água (UNITED STATES, 1972; TUCCI, 2005).

Como mencionado anteriormente, o parâmetro S é obtido por meio do valor de CN , representando a capacidade máxima de retenção de água no solo, expressa em milímetros (mm), ou seja, indica a capacidade máxima do solo de armazenar água antes do início do escoamento superficial. Em outras palavras, S expressa o volume de água que infiltra e permanece retido no solo, preenchendo os seus poros e reduzindo o volume de água que se transforma em escoamento direto. Assim, quanto maior o valor de S , maior a capacidade do solo em absorver a água da chuva, retardando ou mesmo evitando a formação do escoamento superficial (CHOW *et al.*, 1988; TUCCI, 2005).

Cabe destacar que o valor de S pode sofrer influência de eventos pluviométricos anteriores, os quais elevam a umidade do solo e, conseqüentemente, reduzem sua capacidade de retenção. Essa característica torna o parâmetro S sensível à variabilidade temporal das condições do solo, reforçando a importância de sua correta estimativa para a modelagem hidrológica (SOUSA *et al.*, 2020; TUCCI, 2005).

2.1.2.3 Classificação hidrológica dos solos

A metodologia original do modelo SCS do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) agrupa os solos em quatro categorias, denominadas Grupos Hidrológicos do Solo (GHS): A, B, C e D. A ordem dos grupos (A a D) reflete um aumento no potencial de escoamento superficial e conseqüentemente uma diminuição na taxa de infiltração, baseando-se na premissa de que os perfis de solo com características semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e grau de expansão) responderão de forma semelhante a uma precipitação de grande duração e intensidade considerável.

Ocorre que esta classificação não foi desenvolvida para os solos tropicais como os do Brasil, uma vez que solos argilosos no Brasil podem se comportar de maneira diferente do esperado pela classificação original (SARTORI *et al.*, 2005). Assim, com o intuito de corrigir as distorções entre classificações, nesse estudo utiliza-se a classificação estendida da proposta de Lombardi *et al.* (1989), elaborada por Sartori *et al.*, (2005).

A proposta adaptada, como mostra o Quadro 1 reconhece que solos arenosos no Brasil podem ser incluídos nos grupos de maior potencial de escoamento (C e D), enquanto solos argilosos podem ser alocados nos grupos de menor potencial (A e B), dependendo de suas características físicas específicas.

Quadro 1 - Classificação Hidrológica do Solo

Grupo	Resistência à erosão	Profundidade	Permeabilidade	Textura
A	Alta	Muito profundo (> 2m) ou profundo (1 a 2m)	Rápida/rápida; Moderada/rápida	Média/média; Muito argilosa/muito argilosa; Argilosa/argilosa
B	Moderada	Profundo (1 a 2m)	Rápida/rápida; Rápida/moderada; Moderada/moderada	Arenosa/arenosa; Arenosa/média; Arenosa/argilosa; Média/argilosa; Argilosa/muito argilosa
C	Baixa	Profundo (1 a 2m) ou moderadamente profundo (0,5 a 1m)	Lenta/rápida; Lenta/moderada; Rápida/moderada	Arenosa/média; Média/argilosa; arenosa/argilosa; Arenosa/muito argilosa
D	Muito baixa	Moderadamente profundo (0,5 a 1m) ou raso (0,25 a 0,50m)	Rápida, moderada ou lenta sobre lenta	Muito variável

Fonte: Adaptado de Lombardi Neto *et al.* (1989)

Segundo Mockus (1972), apud Sartori *et al* (2005), as características dos grupos hidrológicos do solo, apresentadas pelo SCS são:

- Grupo A: compreende os solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, constituindo principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados;
- Grupo B: compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa;
- Grupo C: compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração;

- **Grupo D:** compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão.

A análise hidrológica nesta pesquisa está fundamentada no modelo de excedente do solo (SCS), que considera que o escoamento superficial ocorre somente após a saturação parcial ou total do solo, ou seja, quando a capacidade de infiltração é excedida pela precipitação. A combinação entre tipo de solo e uso e ocupação do solo influencia diretamente esse excedente, determinando o volume de água que escoar superficialmente.

A aplicação desse modelo é especialmente relevante para compreender o comportamento da geração de escoamento superficial frente a diferentes cenários de uso do solo. Solos classificados nos grupos C e D, por exemplo, mesmo em condições naturais, já apresentam propensão ao escoamento superficial, que pode ser acentuada com o avanço de áreas impermeabilizadas (como ocupações urbanas e vias pavimentadas). Por outro lado, solos dos grupos A e B, quando mantidos com cobertura vegetal adequada, tendem a reter maiores volumes de água, reduzindo o pico de escoamento (UNITED STATES, 1972).

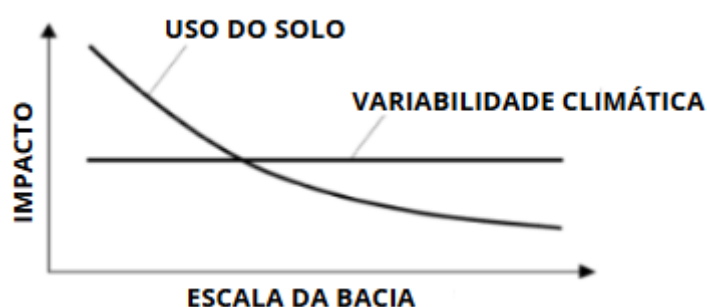
Dessa forma, a caracterização dos solos com base nessa classificação hidrológica, aliada à análise do uso e cobertura do solo, é essencial para quantificar o parâmetro *curve number* (CN), o volume de escoamento direto e o tempo de concentração da bacia. Conforme Tucci (2005), esses elementos contribuem para a formulação de cenários hidrológicos e auxiliam na tomada de decisões para o manejo sustentável das bacias, bem como no planejamento de intervenções que minimizem os riscos de enchentes, degradação ambiental e impactos no sistema de transporte local.

2.2 VULNERABILIDADE CLIMÁTICA E CIDADES RESILIENTES

Compreender os impactos climáticos é crucial para que gestores possam formular e testar políticas de adaptação mais eficazes, aumentando a resiliência dos sistemas. Nesse sentido, entender a vulnerabilidade associada a cada sistema analisado é etapa essencial desse processo. Para o PBMC (2016), a vulnerabilidade é o grau em que um sistema é suscetível e incapaz de lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas. Nesse sentido, eventos climáticos extremos podem desencadear efeitos cascatas, impactando setores como transporte, saneamento, saúde e energia.

A Figura 4, proposta por Blöschl *et al.* (2007), indica a influência relativa da mudança do uso do solo e da variabilidade climática na resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica. O eixo horizontal do gráfico representa a escala espacial da bacia hidrográfica, já o eixo vertical, representa o impacto hipotético na resposta hidrológica. A curva correspondente às mudanças no uso do solo revela um impacto mais significativo em bacias de menor escala, demonstrando uma relação inversamente proporcional: quanto menor a bacia, maior é a influência das alterações no uso do solo em sua resposta hidrológica, uma vez que bacias menores são mais sensíveis a alterações locais, como desmatamento, urbanização ou mudanças em práticas agrícolas. Por outro lado, na Figura 4 a reta que representa a variabilidade climática atua em todas as escalas. Essa uniformidade sugere que os efeitos das mudanças climáticas não variam de forma significativa com o tamanho da bacia, indicando que os fatores climáticos impactam a hidrologia de maneira mais homogênea, independentemente da escala espacial.

Figura 4: Impacto hipotético do uso do solo e da variabilidade climática na resposta hidrológica em função da escala.



Fonte: Blöschl *et al.* (2007).

Oliveira *et al.*, (2023) demonstram a importância de cenários para simular um desenvolvimento urbano sustentável e resiliente, de modo a respeitar o limite de escoamento, incorporando infraestruturas verdes e azuis. O autor sugere a incorporação de parques lineares e áreas verdes a fim de aumentar a capacidade de retenção de água, reduzir o escoamento superficial e com isso, reduzir o risco de inundações.

Essas intervenções na infraestrutura contribuem para uma melhor gestão dos recursos hídricos e reduzem os efeitos de enchentes, além de contribuírem para a qualidade de vida, ao ampliar as áreas de lazer e preservar a biodiversidade local. Ao integrar essas soluções no planejamento urbano, é possível aumentar a resiliência das cidades frente às mudanças

climáticas, promovendo a sustentabilidade e garantindo benefícios a longo prazo para a população e o meio ambiente (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

No setor de energias renováveis, fica evidente a vulnerabilidade decorrente das mudanças climáticas. Segundo o relatório COPPE (2008), mesmo com reservatórios, ainda há o risco ligado à maior evaporação das águas decorrente do aumento da temperatura, especialmente em usinas de grandes dimensões, ou seja, o período de seca influencia no potencial de produção de energia hidrelétrica, principalmente na região central e norte do Brasil. Em contrapartida, com relação à energia eólica, devido às projeções de aumento da velocidade total dos ventos, aumenta o potencial de geração dessa fonte de energia. Quanto à energia solar, estima-se que a radiação solar tende a diminuir comparado com o clima atual, variando de 4 a 8% em todo o país (BRASIL, 2016).

Nesse cenário, a intensificação de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e precipitações intensas, pode afetar diretamente a disponibilidade de água, sobrecarregar os sistemas de drenagem e aumentar os riscos de contaminação, impactando também a produção de energia hidrelétrica. Para que as cidades brasileiras se tornem mais resilientes, é necessário promover mudanças significativas nas abordagens de planejamento urbano (IPCC, 2014).

O PBMC (2016), define adaptação como o ajuste dos sistemas naturais ou humanos em resposta a estímulos climáticos reais ou esperados. O relatório também destaca a importância da capacidade de resiliência da infraestrutura de drenagem, principalmente nas áreas densamente urbanizadas. Nessa lógica, as cidades devem tomar medidas adaptativas com relação aos efeitos adversos da mudança climática, inclusive nos setores de energia, transporte e gestão de resíduos. Portanto, a adoção de tecnologias eficientes e sustentáveis, juntamente com a promoção de energias renováveis e a melhoria da gestão de resíduos são exemplos de medidas mitigadoras e da adaptação conforme a necessidade.

O setor de transportes é vulnerável às condições de tempo e clima, e as avaliações concentram-se em mudanças nas condições meteorológicas que são diretamente relevantes para o setor (PBMC, 2016). Entre os principais impactos identificados, destacam-se:

- **Gargalos operacionais:** resultantes do aumento na frequência e intensidade das chuvas, que comprometem a capacidade do sistema de transporte de atender à demanda, afetando o transporte de passageiros e de cargas;

- **Danos à infraestrutura:** decorrentes de eventos climáticos extremos e do aumento na frequência de precipitações, que causam danos ao pavimento, túneis e demais estruturas;
- **Alteração de rotas:** principalmente devido às condições das vias em períodos de intensificação de chuvas, que exigem desvios que acarretam maior tempo e custo no transporte;
- **Interrupção das operações:** ocorre principalmente em modos de transporte mais sensíveis, como o transporte aéreo e marítimo, que podem ser impactados por tempestades, nevascas ou outros eventos climáticos, resultando em paralisações prolongadas.

Esses cenários reforçam a necessidade de adaptar e fortalecer as infraestruturas e os sistemas de transporte frente às mudanças climáticas, priorizando resiliência e planejamento integrado para mitigar os impactos em um setor tão essencial para a mobilidade e a economia. No entanto, as soluções mais eficazes variam de acordo com a localização geográfica, o tipo de infraestrutura e as condições climáticas específicas de cada região (IPCC, 2014).

Nesse sentido, a adoção de tecnologias pode contribuir significativamente para o aumento da resiliência climática. Kourtis e Tsihrintzis (2021) destacam que o planejamento resiliente de redes de drenagem urbana deve integrar soluções sustentáveis para mitigar os impactos das mudanças climáticas. Uma solução viável é a implementação de pavimento drenante em áreas públicas, que permite a infiltração da água da precipitação, reduzindo o volume de escoamento superficial, aliviando o sistema de drenagem urbano. Essa medida pode ser complementada com outras tecnologias, como sistemas de retenção de água e parques lineares, que auxiliam na gestão integrada das águas pluviais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

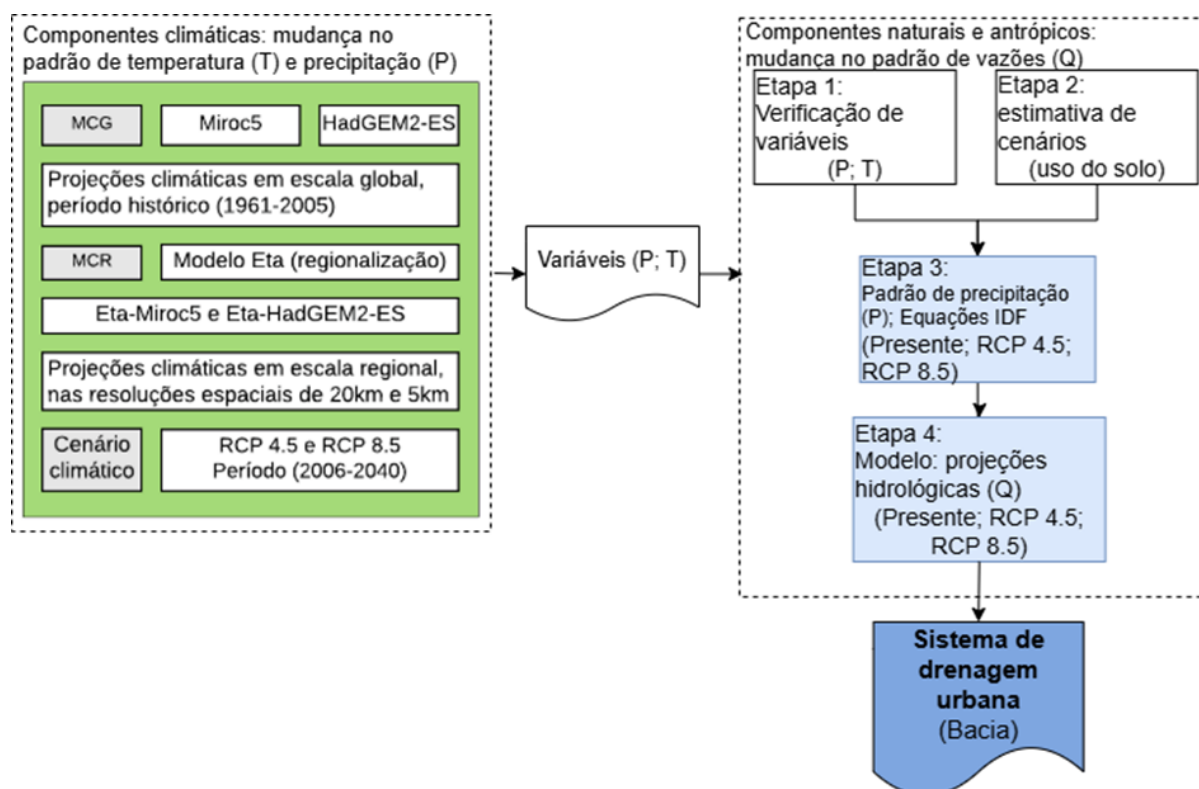
A complexidade dos sistemas de infraestrutura urbana e os desafios de regiões metropolitanas sob mudanças climáticas apresentados no Capítulo 2 limitam o desenvolvimento de metodologias que abordem de maneira integrada, as estratégias de adaptação de sistemas hídricos a eventos extremos climáticos, sobretudo em análises de longo prazo. Em relação ao contexto global dessas mudanças climáticas, também apresentado no Capítulo 2, é necessário refinar a abordagem de pesquisa discutida na Seção 1.3. Assim, são analisados os impactos das mudanças climáticas sobre uma bacia hidrográfica como unidade de análise para sistemas de drenagem na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), com base em projeções hidrológicas de longo prazo (ano 2025 até 2040). A análise considera cenários de expansão urbana na bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, situada no município de Goiânia, caracterizada por reduzida taxa de impermeabilização. Porém, considerando cenários de expansão urbana desordenada, mudanças no uso do solo podem impactar diretamente a dinâmica hidrológica e o planejamento urbano local.

Portanto, nesta seção é apresentada a metodologia proposta a ser aplicada ao gerenciamento integrado dos sistemas de drenagem urbana, abrangendo três estágios, a saber: (1) o desenvolvimento em escala local, com a análise do potencial de escoamento superficial na bacia Samambaia como base para a delimitação do espaço de pesquisa, considerando as transformações decorrentes do processo de urbanização; (2) representação dos processos hidrológicos associados ao problema, com avaliação de tendências de eventos hidrometeorológicos extremos - a padrão de precipitação máxima diária; e (3) simulação de projeções hidrológicas que consideram mudanças no uso do solo (período presente) e cenários climáticos RCP 4.5 e 8.5 (período futuro: projeções climáticas). Essas etapas visam subsidiar pesquisas futuras voltadas à adaptação e o planejamento de sistemas de drenagem em regiões estratégicas da bacia, com atualizações baseadas em novas projeções climáticas.

Na implementação de um processo estruturado para o desenvolvimento da metodologia é necessário o estabelecimento de um ambiente de análise para estudos de impactos das mudanças climáticas no sistema de drenagem na bacia do Córrego Samambaia. Essa metodologia segue as etapas descritas na Figura 5, considerando a bacia hidrográfica como unidade de análise para sistemas de drenagem. Conforme a abordagem apresentada na Seção 1.3, o quadro “componentes climáticos” avalia projeções de temperatura (T), precipitação (P) e indicadores climáticos relacionados. A partir dessas informações, o quadro

“componentes naturais e antrópicos” examina mudanças nos padrões hidrológicos (Q) em quatro etapas: (1) análise dos padrões atuais e futuros de temperatura e precipitação; (2) uso de processos (parâmetros “CN” e “S” do modelo SCS para mapear o potencial de escoamento superficial na bacia Samambaia; (3) análise de precipitação com base em equações IDF; e (4) geração de projeções hidrológicas (Q), precipitação excedente.

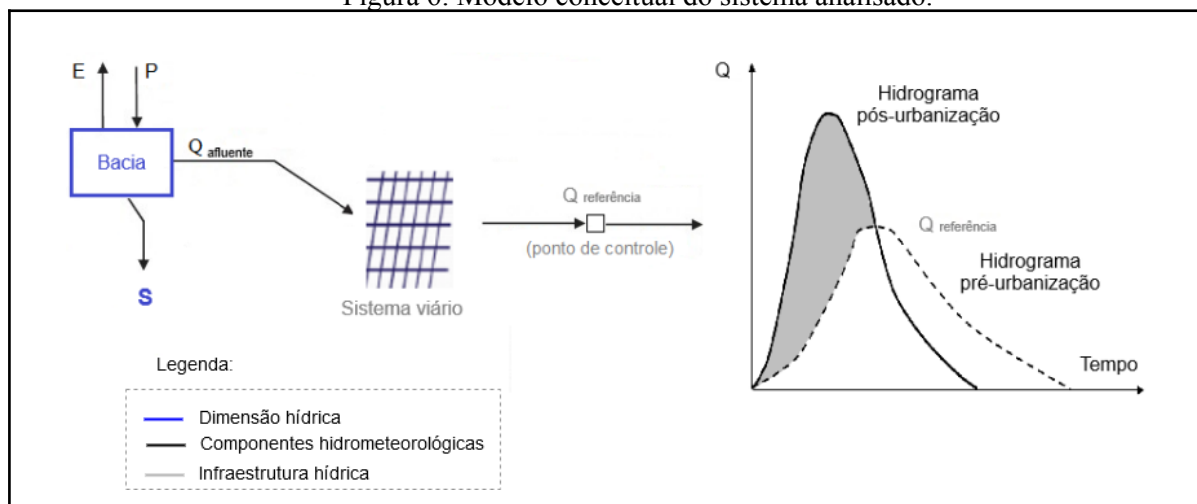
Figura 5: Rota metodológica.



Fonte: Autor (2025).

Para a articulação do problema, considerando o contexto regional, e delimitação do espaço de pesquisa, é apresentado na Figura 6 um modelo conceitual. O sistema analisado é subdividido em: (a) aspectos fisiográficos das bacias hidrográficas (dimensão hídrica) – análise do potencial de retenção máxima (S) com uso de processos do modelo SCS; (b) processos hidrometeorológicos que ocorrem nas bacias hidrográficas associados às respostas hidrológicas (componentes hidrometeorológicas) – temperatura (T), precipitação (P) e evapotranspiração potencial (E); e (c) as características físicas do sistema (infraestrutura hídrica), os componentes de infraestrutura hídrica do sistema – as restrições em pontos críticos do sistema viário local (condição de controle = CN_{Atual}).

Figura 6: Modelo conceitual do sistema analisado.



Fonte: Autor (2024).

a) componentes hidrometeorológicos: avaliar tendências de eventos hidrometeorológicos extremos.

Coleta de dados climáticos e hidrológicos (observados e projeções): esta etapa envolve a coleta de dados históricos de precipitação (P) e temperatura (T) para a área de estudo. Estes dados foram obtidos de estações meteorológicas locais (INMET). A escolha do intervalo de tempo de análise deve considerar séries temporais longas (pelo menos 30 anos) para capturar variações climáticas. Além disso, foram adotadas projeções climáticas regionalizadas (CHOU *et al.*, 2014) a partir de modelos climáticos globais, adotando-se diferentes cenários de emissões (RCP4.5 e RCP8.5). Na Tabela 1 são apresentados os dados hidrometeorológicos utilizados para esse estudo.

Tabela 1: fonte dos dados espaciais para a área de estudo.

Descrição	Tipo de dado	Instituição
Dados pluviométricos	Série de dados (diário; mensal)	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
Dados meteorológicos	Série de dados (diário; mensal)	Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
Projeções climáticas	Série de dados (diário; mensal)	CPTEC/INPE (CHOU <i>et al.</i> , 2014)

Fonte: Autor (2025).

b) determinação das equações IDF:

Para caracterizar o período atual, foi utilizada a equação IDF disponibilizada para o município de Goiânia pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). Já para o período futuro, foi realizado o ajuste de curvas IDF para o município Goiânia/GO utilizando a plataforma *Genetic Algorithm Methodology for IDF* (GAM-IDF), adotando o ajuste dos dados através da distribuição estatística de Gumbel, considerando os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Os cenários climáticos projetados foram incorporados ao estudo, analisando o impacto esperado de eventos extremos de precipitação sobre a bacia do Samambaia. Essa metodologia para o ajuste de curvas IDF seguiu o processo adotado para a cidade de Pelotas/RS e desenvolvido por De Oliveira et al., (2023).

Com a obtenção das IDFs atuais e futuras é possível estabelecer as precipitações críticas para um determinado período de retorno e, através do modelo hidrológico, quantificar a parcela que é convertida para escoamento superficial, a qual determina o dimensionamento de um sistema de drenagem ou permite avaliar o quão comprometido está o sistema, caso esteja implantado (BRASIL, 2015).

c) projeções hidrológicas e potenciais impactos no planejamento de infraestrutura de drenagem urbana.

O modelo SCS foi utilizado para analisar os impactos associados aos efeitos das projeções hidrológicas de longo prazo (ano 2025 até 2040) na bacia hidrográfica do Córrego Samambaia. Essa análise concentra-se no processo de geração de escoamento superficial e em potenciais impactos no planejamento da infraestrutura de drenagem urbana, considerando o contexto de urbanização acelerada e mudanças no uso do solo, que afetam diretamente a dinâmica hidrológica, o planejamento urbano da região e a mobilidade no transporte local, como discutida na Seção 1.3. Os estudos hidrológicos foram conduzidos para avaliar as variações em pico de precipitação excedente por meio de hietogramas da bacia. Nas simulações hidrológicas foi considerado o período de recorrência de precipitação de 50 anos, e curva IDF existente do posto de Goiânia. Com base na análise do tempo de concentração disponibilizado no relatório do Plano de Drenagem Urbana de Goiânia (PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA, 2025), foi adotada com duração de 1,5 hora para a obtenção dos hietogramas. Além disso, foi realizada a distribuição temporal da precipitação pelo método dos Blocos Alternados, que consiste em posicionar as maiores intensidades de precipitação no centro do hietograma.

4 ÁREA DE ESTUDO E O CONTEXTO REGIONAL

A Região Metropolitana de Goiânia (RMG) está localizada no centro-oeste do país, configurando-se como um importante centro urbano e econômico do país, com uma população que ultrapassa 2,5 milhões de habitantes. A região é composta por 20 municípios e enfrenta desafios devido ao crescimento urbano sem planejamento, incluindo a intensificação da ocupação do solo e a crescente demanda por infraestrutura e serviços industriais e agropecuários (GOIÁS, 2017).

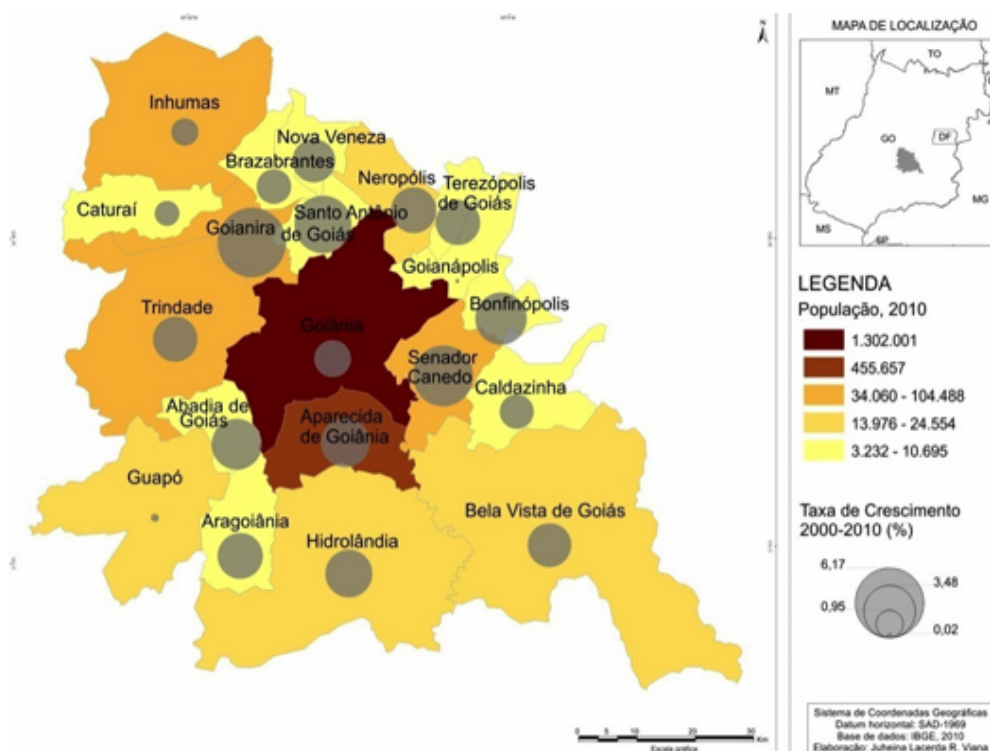
Este estudo adota como área de estudo a bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, localizada no município de Goiânia-GO. Diante do exposto, este estudo concentra-se na bacia hidrográfica como unidade de análise para sistemas de drenagem em regiões metropolitanas, que são fundamentais para enfrentar os desafios impostos por eventos climáticos extremos, crucial para a qualidade de vida e a resiliência da região.

A região abrange uma área considerável do bioma Cerrado. O município de Goiânia, capital do estado e centro da RMG, exerce grande influência no desenvolvimento socioeconômico regional, visto que concentra 69,45% do PIB da região. Segundo o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana (GOIÁS, 2017), a região é marcada por um relevo predominantemente plano, com a presença de chapadas e vales, e um clima tropical sazonal, que é caracterizado por verões chuvosos e invernos secos. A hidrografia é composta por importantes bacias hidrográficas, como a do Rio Meia Ponte e a do Ribeirão João Leite, responsáveis pelo abastecimento de água da população metropolitana.

A RMG, como muitas áreas urbanas em rápido desenvolvimento, enfrenta desafios significativos relacionados à sua infraestrutura de drenagem. A impermeabilização do solo, resultante da expansão urbana, intensifica o escoamento superficial das águas pluviais, aumentando o risco de alagamentos e inundações, especialmente durante eventos de precipitação extrema. A gestão inadequada de resíduos sólidos também agrava a situação, com o acúmulo de lixo em vias fluviais e sistemas de drenagem, comprometendo sua capacidade e eficiência. Além disso, a ocupação irregular de áreas de mananciais contribui para a degradação dos recursos hídricos, a poluição, o desmatamento e a perda de biodiversidade (GOIÁS, 2017).

A Figura 7 exibe a população da RMG, destacando que os municípios com maior população são Goiânia, Aparecida de Goiânia, Trindade e Senador Canedo, que juntos representam aproximadamente 90% da população total da região (GOIÁS, 2017).

Figura 7: População e Taxa Geométrica de Crescimento Demográfico (2000-2010).



Fonte: Goiás, 2017.

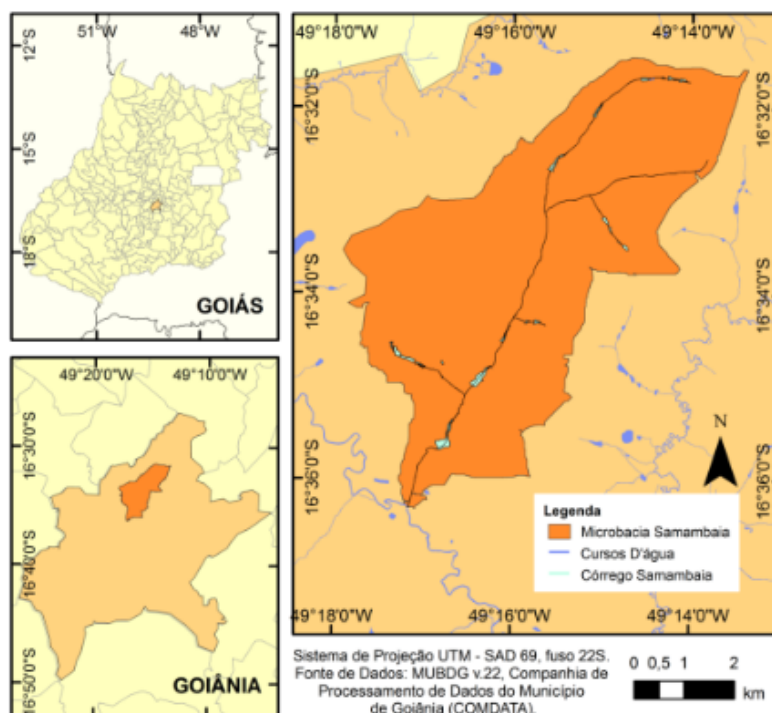
O crescimento urbano na RMG se caracteriza por uma distribuição espacial desigual, evidenciada pela alta porcentagem de lotes vazios. No ano de 2016, aproximadamente 48% do total de lotes estavam desocupados. Essa informação, apontada pelo relatório Goiás (2017) sugere que a expansão urbana não tem sido acompanhada pela ocupação efetiva, reforçando o padrão de crescimento desordenado.

4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SAMAMBAIA

A Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia (BHCS) está localizada na região norte do município de Goiânia e constitui um afluente do Rio Meia Ponte, manancial essencial para o abastecimento de aproximadamente 48% da população goianiense. Com uma área total de 32 km², a bacia do Samambaia é atualmente classificada como predominantemente rural, apresentando um baixo grau de urbanização, com aproximadamente 33,31% de sua superfície ocupada (ROCHA, 2013; PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA, 2025). No entanto, a bacia tem apresentado um rápido processo de urbanização, impulsionado pela valorização da área e melhorias na infraestrutura.

A bacia do Samambaia apresenta um formato alongado e com relação ao uso e ocupação do solo, a área da bacia é predominantemente ocupada por áreas verdes, com relevo variando de plano a suavemente ondulado, o que favorece a infiltração da água da chuva, contribuindo para o abastecimento do lençol freático e a preservação de recursos hídricos (ROCHA, 2013; SILVA; SANTOS, 2016).

Figura 8: Bacia hidrográfica do Córrego Samambaia



Fonte: Adaptado de Rocha *et al.*, (2012).

Gouvêa (2002) considera o solo de uma região como o elemento físico mais importante quando se pretende desenvolver conceitos e critérios para o planejamento ambiental urbano. Nesse contexto, o estudo dos solos da bacia torna-se fundamental para compreender as dinâmicas ambientais locais. De acordo com a Prefeitura Municipal de Goiânia (2025), a bacia hidrográfica do Córrego Samambaia é composta predominantemente por Latossolos, que ocupam cerca de 82% da área da bacia e apresentam alta estabilidade e boa capacidade de infiltração, o que a torna favorável à recarga hídrica e ao controle do escoamento superficial. Na sequência, os Gleissolos representam cerca de 10% da bacia, especialmente ao longo da rede hidrográfica, com condições encharcadas e drenagem deficiente, frequentemente saturados por água na superfície ou subsuperfície, o que os torna sensíveis a processos erosivos e à compactação. Os Cambissolos, que ocupam cerca de 7% da bacia, encontram-se nas adjacências da rede hídrica e são caracterizados como solos jovens e

em processo de formação, cujas características de infiltração e escoamento variam conforme o grau de desenvolvimento e as condições ambientais locais. Por fim, há uma pequena ocorrência de Argissolos (menos de 1%), que possuem infiltração moderada, mas apresentam maior suscetibilidade à erosão devido à escassez de nutrientes.

Partindo desse pressuposto, é possível analisar a classificação hidrológica do solo com base no modelo proposto por Lombardi Neto *et al.* (1989) e elaborado por Sartori (2004), como mostrado anteriormente no Quadro 1, apresentado na seção 2.1.2.3. Portanto, para o Latossolo com textura argilosa predominante na Bacia Samambaia, a classificação hidrológica mais provável, segundo a proposta adaptada para solos brasileiros, seria o Grupo Hidrológico A. Isso ocorre porque, apesar de serem argilosos, os Latossolos no Brasil geralmente possuem características que promovem alta taxa de infiltração e baixo potencial de escoamento superficial.

A escolha da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, justifica-se pelo seu atual e significativo processo de transição de um ambiente predominantemente rural para urbano, o que a torna um estudo de caso ideal para avaliar os impactos da urbanização no regime hidrológico, como o aumento do escoamento superficial, por meio do método SCS (*Soil Conservation Service*), que é particularmente sensível às mudanças no uso e ocupação do solo através do parâmetro *curve number* (CN), permitindo simular como a expansão urbana altera a dinâmica hidrológica. Adicionalmente, a bacia já apresenta problemas de drenagem como pontos de alagamento ligados à microdrenagem e impermeabilização, potencial para processos erosivos e comprometimento da qualidade da água, destacando a relevância prática de estudar e modelar sua resposta hidrológica frente à urbanização (PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA, 2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A urbanização desordenada tende a sobrecarregar o sistema de drenagem urbana, agravando os riscos de alagamentos e intensificando a degradação da qualidade da água, especialmente em decorrência do lançamento irregular de efluentes sanitários. Esses impactos não apenas comprometem a viabilidade do abastecimento hídrico local, mas também colocam em risco o funcionamento do sistema viário da região (VEIGA *et al.*, 2014; ROCHA, 2013). Diante disso, torna-se essencial integrar estratégias de planejamento urbano e de conservação ambiental, visando equilibrar o desenvolvimento territorial com as funções ambientais que a bacia desempenha.

A partir de dados de precipitação e temperatura do município de Goiânia, disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) da estação de número 1649013, foi possível visualizar as séries temporais de dados observados.

5.1 DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

5.1.1 Precipitação

a) precipitação observada

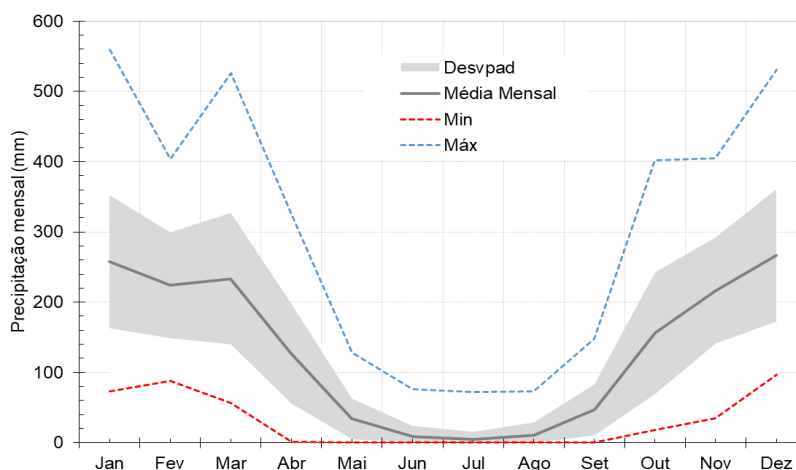
Para esse estudo, inicialmente analisou-se a precipitação mensal ao longo de um período de 60 anos, de 1961 a 2020. Na Figura 9 são apresentados os limites máximos e mínimos de precipitação para o período analisado, indicando o desvio padrão para cada mês.

É crucial analisar os padrões de precipitação, pois, como mencionado na seção 2.1.2, ela é o principal componente hidrológico dos sistemas hídricos e objeto de estudo em todo o mundo devido à sua variabilidade temporal e espacial. A Figura 11 permite observar a sazonalidade da precipitação, com picos nos meses de verão (dezembro a março) e queda acentuada durante o inverno (junho a agosto), característico do clima tropical sazonal da região. A intensificação de eventos extremos, como secas e enchentes, torna-se uma preocupação crescente, demandando a análise de projeções climáticas futuras para subsidiar o planejamento de infraestruturas mais resilientes.

Nesse contexto, a Prefeitura Municipal de Goiânia (2025) destaca que as mudanças climáticas globais podem influenciar os padrões de precipitação, aumentando a intensidade e a frequência das precipitações em algumas regiões, bem como a intensificação da escassez em outras. Essa alteração pode resultar em inundações e alagamentos de maior escala, assim

como secas mais severas e frequentes, reforçando a importância de considerar cenários climáticos nos estudos hidrológicos.

Figura 9: Precipitação mensal (1961-2020).



Fonte: Autor (2024).

A análise da frequência e intensidade desses eventos é essencial para o dimensionamento de infraestruturas de drenagem, considerando as projeções de mudanças climáticas que podem intensificar as precipitações. A combinação de dados históricos e projeções futuras é fundamental para a gestão de riscos e a adaptação de áreas urbanas aos impactos das mudanças climáticas, como o aumento do risco de alagamentos e inundações.

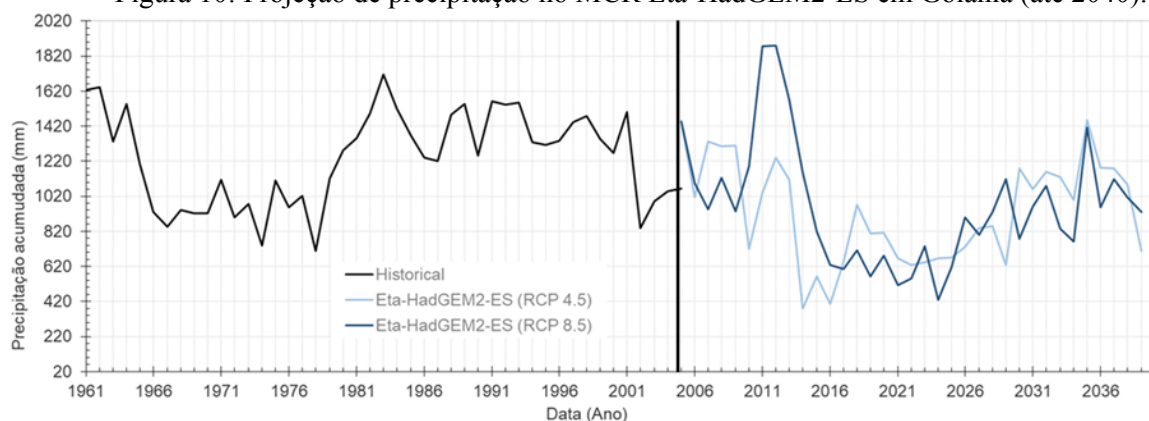
b) precipitação projetada

A Figura 10 e 11 apresentam a projeção da precipitação média anual em Goiânia até o ano de 2040 obtidos do CPTEC/INPE como produtos de regionalização dos modelos MCR Eta-HadGEM2-ES e MCR Eta-Miroc5 (CHOU *et al.*, 2014). A análise dessa projeção é fundamental para a compreensão dos impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos. É importante destacar que as projeções climáticas, como mencionado na seção 2.1.1, possuem incertezas, e diferentes modelos climáticos podem apresentar resultados divergentes. Por esse motivo, para esse estudo optou-se por apresentar saídas regionalizadas de dois modelos climáticos globais. Os modelos MCR Eta-HadGEM2-ES e MCR Eta-MIROC5 foram adotados por apresentarem desempenho satisfatório na América do Sul em termos de circulação atmosférica e precipitação (CHOU *et al.*, 2014). Completamente, a análise de diferentes cenários de emissões, como os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, é crucial para a

avaliação dos riscos e a tomada de decisão em relação à gestão de recursos hídricos, em especial no contexto desse estudo, considerando bacias hidrográficas como unidade de análise para sistemas de drenagem.

As projeções do MCR Eta-HadGem2-ES para ambos os cenários climáticos indicam redução de precipitação no período (2016 - 2026). A linha na cor preta representa o período histórico dessas projeções climáticas.

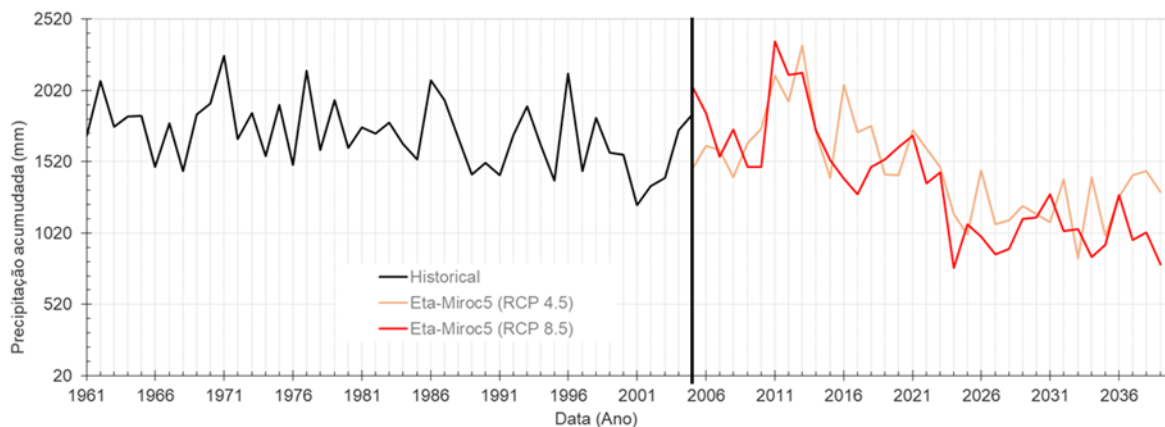
Figura 10: Projeção de precipitação no MCR Eta-HadGEM2-ES em Goiânia (até 2040).



Fonte: Autor (2024).

A projeção do MCR Eta-Miroc5 também indica uma tendência de redução de precipitação em Goiânia, conforme apresentado na Figura 11. Assim como o MCR Eta-HadGEM2-ES, ambos os cenários climáticos projetam trajetórias semelhantes, o que sugere elevada redução no padrão de precipitação acumulada neste período projetado (2025 - 2040).

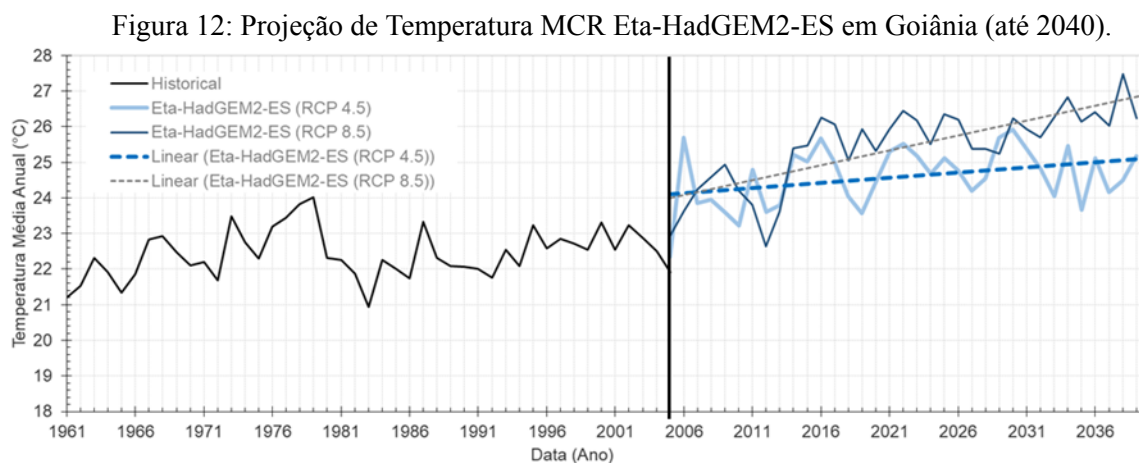
Figura 11: Projeção de precipitação no MCR Eta-Miroc5 em Goiânia (até 2040).



Fonte: Autor (2024).

5.1.2 Temperatura

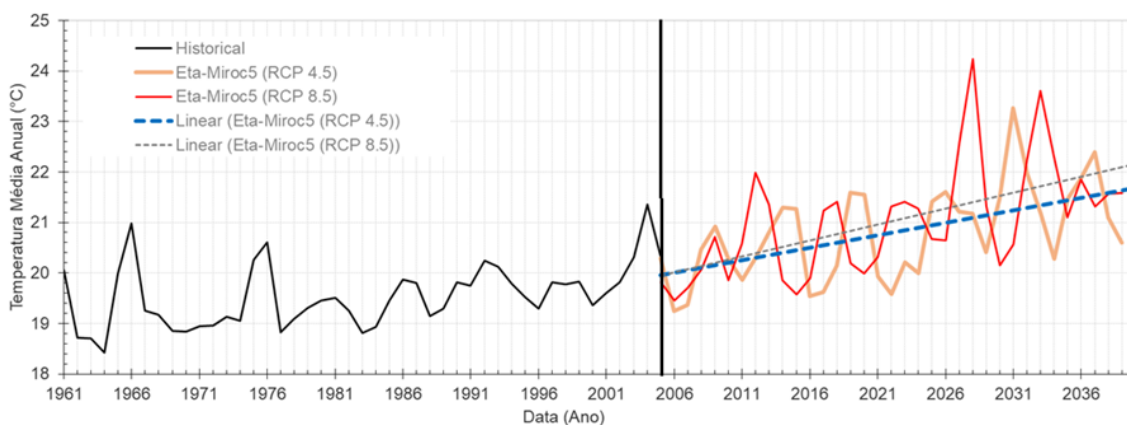
A Figura 12 e 13 destacam a projeção da temperatura média em Goiânia até o ano de 2040, também obtidas do CPTEC/INPE como produtos de regionalização dos modelos MCR Eta-HadGEM2-ES e MCR Eta-Miroc5 (CHOU *et al.*, 2014). Observa-se uma tendência de aumento da temperatura média ao longo do período projetado, o que corrobora as previsões de aquecimento global em escala regional. Além disso, a elevação da temperatura média também impacta a demanda por energia para refrigeração, sobrecarregando o sistema energético e aumentando as emissões de gases de efeito estufa. Fatores que podem atuar de maneira significativa na mudança das componentes do ciclo hidrológico.



Fonte: Autor (2024).

Segundo o relatório IPCC (2014), como resposta à forçante radiativa por GEE, áreas de solo seco tendem a apresentar uma redução da evaporação, acompanhada de um aumento da temperatura superficial. Ao alterar de maneira significativa essa componente evaporação, a dinâmica dos padrões de temperatura podem influenciar de maneira decisiva condições importantes como a umidade antecedente do solo, fator que desempenha papel essencial no processo de geração de escoamento superficial em bacias hidrográficas.

Figura 13: Projeção de Temperatura no MCR Eta-Miroc5 em Goiânia (até 2040).

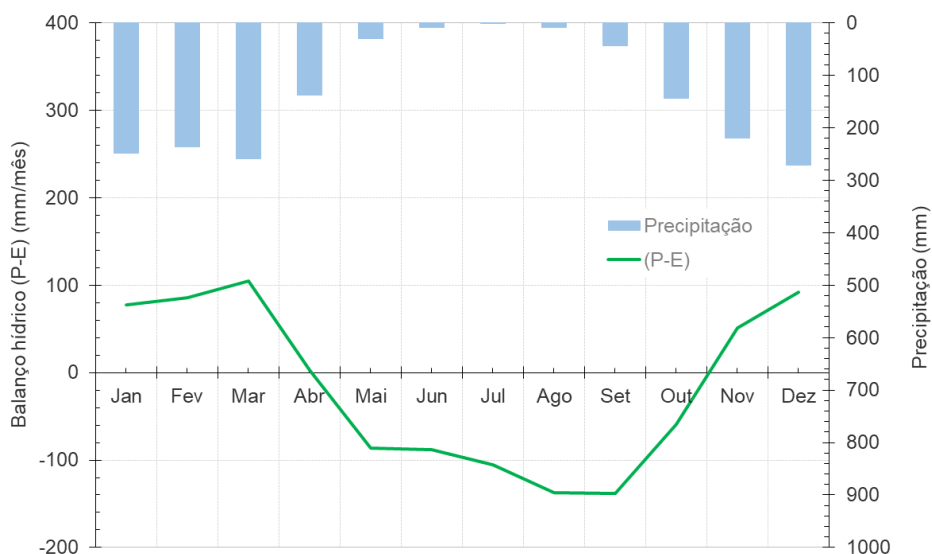


Fonte: Autor (2024).

5.1.3 Balanço hídrico simplificado

Considerando a análise das tendências de precipitação (P) e o aumento da temperatura (T) média ao longo do período projetado, esta seção busca apresentar uma análise dos efeitos da evapotranspiração potencial na dinâmica da formação do escoamento superficial. Para isso, procedeu-se com o estabelecimento do balanço hídrico simplificado, com base nos dados obtidos pelas normais climatológicas do INMET para Goiânia. A Figura 14 apresenta o balanço para a cidade de Goiânia, com resultados que indicam períodos de superávit nos meses de Outubro a Abril.

Figura 14: Balanço hídrico simplificado – normais climatológicas (1991-2020).



Fonte: Autor (2024).

Essa análise de tendências observadas no balanço hídrico simplificado, baseada na diferença entre precipitação (P) e evapotranspiração (E), é um processo fundamental para compreender a dinâmica da água nas áreas urbanas. Associada ao potencial de retenção de água no solo (S), componente essencial na estrutura do modelo SCS, esse tipo de análise permite estimar a quantidade de água que tende a escoar superficialmente, especialmente em regiões de predominância de solos impermeabilizados.

Portanto, o produto dessa análise insere-se no contexto do objetivo deste estudo, por permitir analisar potenciais impactos no planejamento da infraestrutura de drenagem urbana, considerando processos de urbanização acelerada associados às mudanças no uso do solo, que afetam diretamente a dinâmica hidrológica, além do planejamento urbano e a mobilidade no transporte local.

5.2 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

5.2.1 Equações IDF: avaliação do padrão de precipitação

Com as projeções de precipitação, é possível estabelecer equações que relacionam Intensidade-Duração-Frequência (IDF) e contemplem os cenários de mudanças climáticas (RCP 4.5 e 8.5) adotados neste estudo.

Essas equações podem ser utilizadas no dimensionamento de sistemas de drenagem, fornecendo aos modelos hidrológicos as informações sobre as precipitações críticas (intensidades), que são transformadas em parcela importante do escoamento superficial. Portanto, podem apontar informações para o desenvolvimento de uma carteira importante de parâmetros que permitam a adaptação futura de tais sistemas de drenagem urbana.

Seguindo o processo de obtenção das equações IDF adotado por De Oliveira et al., (2023), foi extraída uma série de dados de precipitação máxima diária a partir da série de dados projetados pelos modelos MCR Eta-HadGEM2-ES e MCR Eta-MIROC5. Na sequência foram realizados os ajustes das equações IDF considerando o período (ano 2006 a 2040). Esse ajuste foi realizado na plataforma *Genetic Algorithm Methodology for IDF* (<https://gphidro.shinyapps.io/gam-idf/>) a partir de dados diários de precipitação e da técnica de desagregação de chuvas.

Apresentadas no Apêndice A, as Figuras A1 e A2 indicam as anomalias de precipitação máxima anual para os modelos MCR Eta-HadGEM2-ES e MCR Eta-MIROC5. Ambos os modelos apresentaram redução no padrão de precipitação máxima.

Já no Apêndice B, são apresentadas as Figuras B1 a B4, com a comparação entre as curvas IDF's existentes e futuras, para as projeções de precipitação máxima anual, considerando os períodos de retorno de 5, 10, 50 e 100 anos.

As curvas IDF podem ser ajustadas a equações genéricas, que fornecem relações matemáticas entre a intensidade, a duração e a frequência das precipitações. Para esse estudo, adotou-se equações de precipitação intensas expressas na forma da Equação (1.4).

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad (1.4)$$

onde: a, b, c, d = parâmetros adimensionais relativos à localidade.

5.2.2 Análise dos parâmetros CN e tempo de concentração (TC)

Integrado a estrutura do modelo SCS, como mencionado na seção 2.1.2.2, o parâmetro CN é obtido a partir de tabelas específicas, considerando o tipo de solo, o uso e cobertura do solo e as condições de umidade antecedente. Nesse sentido, o CN separa a precipitação total em três componentes: abstração inicial (volume de água retido na bacia antes do início do escoamento superficial, devido à interceptação vegetal, armazenamento em depressões e infiltração inicial), retenção (água que permanece armazenada no solo após o evento) e precipitação efetiva (volume que gera escoamento superficial), objeto deste estudo. Desse modo, enquanto a precipitação for inferior à abstração inicial, não há escoamento superficial (PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA, 2025).

Para este estudo, foi adotado um CN obtido por média ponderada a partir de dados provenientes da caracterização das bacias hidrográficas, conforme o relatório da Prefeitura Municipal de Goiânia (2025). Nesse documento, a bacia do Samambaia é dividida em seis sub-bacias, a fim de facilitar a aplicação do método SCS e permitir uma análise mais detalhada das diferentes condições de uso e ocupação do solo. Com base nos dados apresentados para o parâmetro CN, o valor ponderado a ser utilizado neste estudo para caracterizar o cenário atual da bacia é 61.

O tempo de concentração (TC) é outro parâmetro utilizado para análises nesse estudo, uma vez que ele auxilia na definição da duração de precipitação adotada para a simulação hidrológico com a construção dos hietogramas. De maneira similar ao procedimento adotado para a obtenção do parâmetro CN, a análise do tempo de concentração (TC) considerou os dados disponibilizados no relatório (PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA, 2025), que para a determinação do parâmetro TC das sub bacias adotou diversos métodos, conforme Tabela 3. Além disso, os valores obtidos pela equação empírica, porém, o relatório destaca o ajuste de TC por meio de simulações, considerando as velocidades geradas no modelo hidrodinâmico, a fim de refletir as condições reais da bacia.

Com base nesses dados, para simular a construção dos hietogramas em diferentes cenários para a bacia do Samambaia, este estudo adotou o maior tempo de duração de precipitação de 1,5 hora.

Tabela 3: Estimativa do tempo de concentração para as sub-bacias hidrográficas do Córrego Samambaia, Goiânia - GO

Sub bacia	TC Schaake (min)	TC Kirpich (min)	TC ajustado (min)
01/01	26,22	86,43	86,43
01/02	27,29	92,23	94,74
01/03	23,73	119,73	156,44
01/04	23,55	123,19	171,07
01/05	23,79	126,21	177,04
02/01	7,72	12,06	12,06

Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Goiânia (2025)

5.2.3 Análise dos hietogramas: projeções hidrológicas

Para avaliar possíveis impactos dos eventos extremos de precipitação no município de Goiânia, foram considerados os seguintes cenários para a bacia do Córrego Samambaia, a saber:

- Situação atual (IDF Existente), obtida pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB);

- MCR Eta-HADGEM2-ES, cenários RCP 4.5 e 8.5;
- MCR Eta-MIROC5 cenários RCP 4.5 e 8.5.

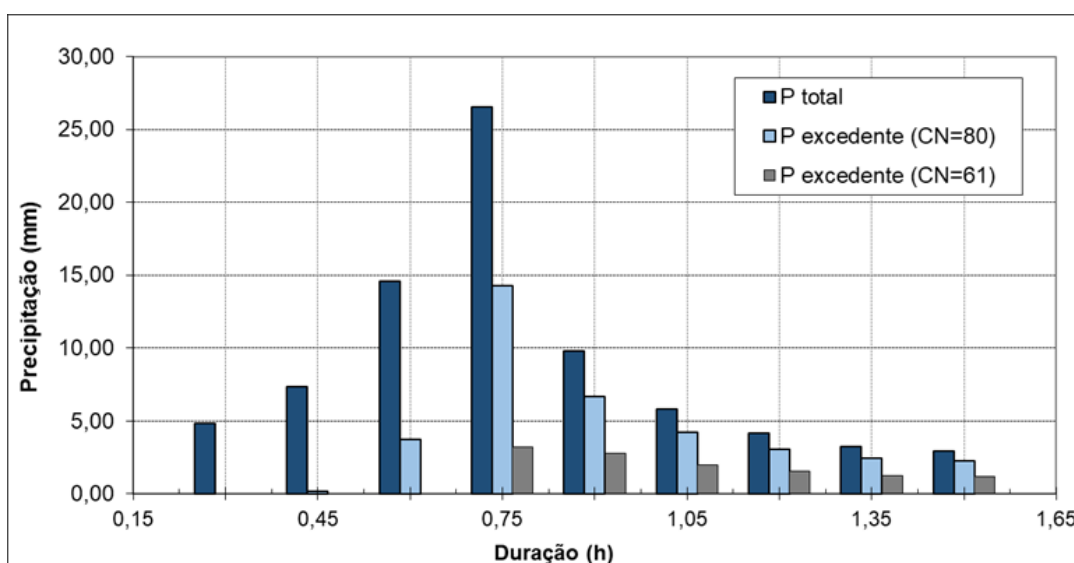
Para avaliar o comportamento da bacia estudada no âmbito de infraestruturas urbana, no que se refere ao hietograma de precipitação excedente, foram realizadas simulações, admitindo hipótese de aumento do parâmetro CN. Pretende-se assim, observar o comportamento dos hietogramas em cenários com mais áreas impermeáveis.

Observando-se as características fisiográficas da bacia do Samambaia, foram adotados previamente os seguintes parâmetros:

- $CN_{(atual)} = 61$
- $CN_{(cenário)} = 80$
- Área (km²) = 126,63

Os hietogramas obtidos para duração de 1,5 hora estão apresentados nas Figuras 15 a 19. Observa-se que a parcela que corresponde à precipitação excedente, para o cenário atual (CN = 61) reflete de maneira satisfatória a característica da bacia ainda não totalmente urbanizada. Porém, ao projetar um cenário pós-urbanização que reflete o alto grau de impermeabilização na bacia (CN = 80), a parcela de precipitação excedente apresenta um aumento, atingindo cerca de 44% da precipitação total, considerando a relação IDF existente.

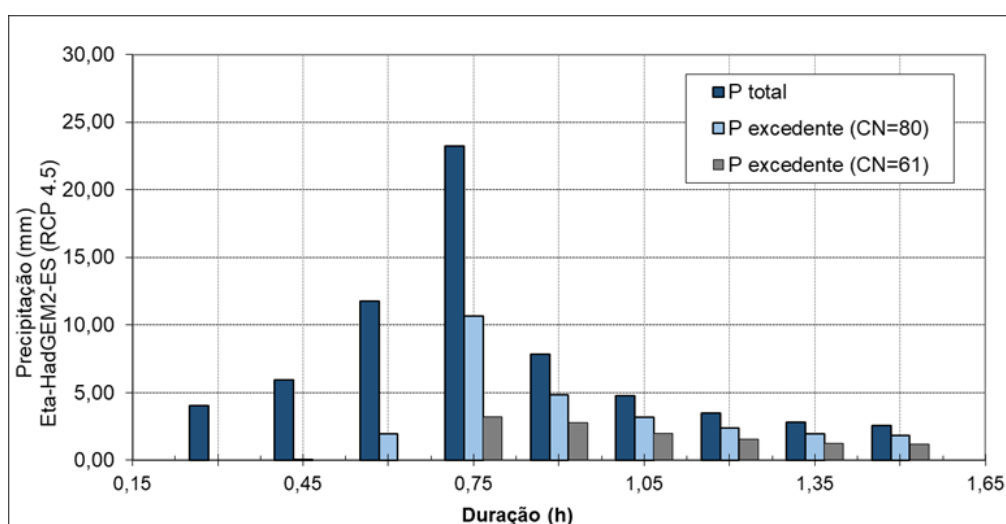
Figura 15: Hietograma para Tr = 50 anos, duração 1,5 horas (situação atual), Goiânia.



Fonte: Autor (2025).

De maneira específica, para analisar os potenciais impactos no planejamento infraestrutura de drenagem urbana, as simulações hidrológicas apresentadas nas Figuras 15 a 19 consideram o efeito combinado de cenários climáticos e mudanças no padrão de uso do solo, com alteração do parâmetro CN ($CN(\text{atual}) = 61$; e $CN(\text{cenário}) = 80$). Portanto, apesar das equações IDF futuras indicarem uma redução de intensidade, especialmente em precipitações de curta duração, considera-se a hipótese de um aumento do escoamento superficial devido à elevação do parâmetro CN associado ao uso do solo em cenário futuro (impermeabilização). Isso evidencia o risco hidrológico não apenas pela precipitação, mas pela alteração do espaço urbano onde se insere o sistema de drenagem.

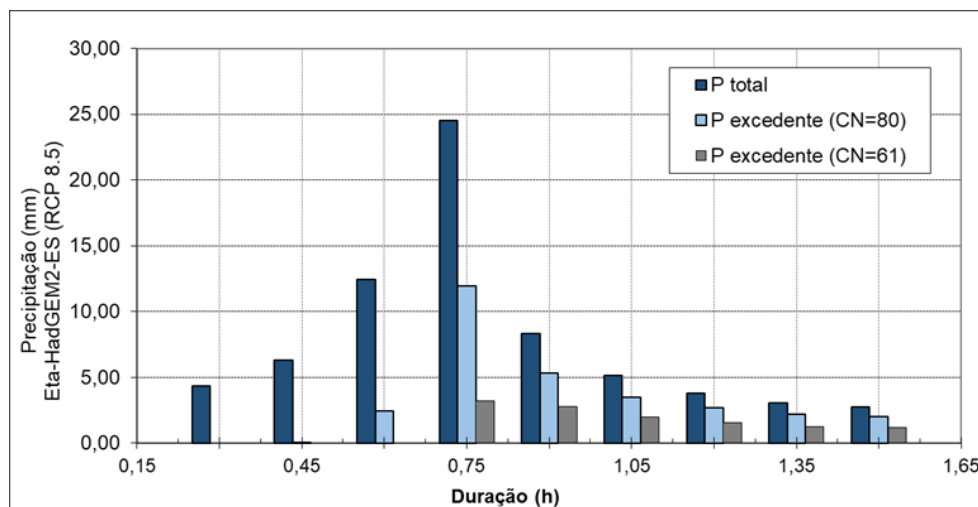
Figura 16: Hietograma para $T_r = 50$ anos, duração 1,5 horas (Modelo HADGEM2-ES - Cenário 4.5), Goiânia.



Fonte: Autor (2025).

Para a simulação com o modelo MCR Eta-HadGEM2-ES, nas Figuras 16 e 17 são apresentados os hietogramas para os cenários RCP 4.5 e 8.5, respectivamente. Em ambos os cenários, quando analisada a razão (P excedente e P total), observa-se que os valores caem para 39 % no cenário RCP 4.5 (Figura 18) e 41 % no RCP 8.5 (Figura 19), considerando $CN = 80$. Em relação à precipitação total, observou-se uma redução de 13,4 mm e 8,8 mm para os cenários RCP 4.5 e 8.5, respectivamente.

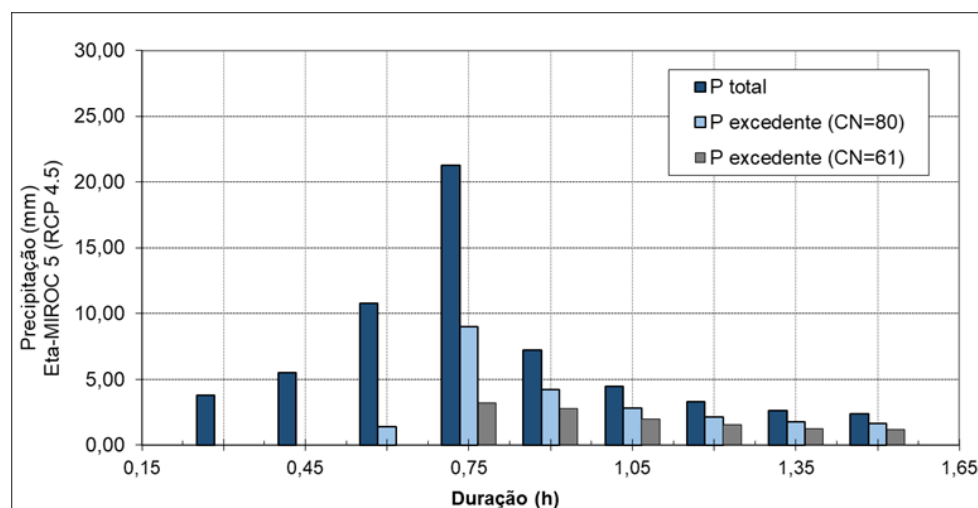
Figura 17: Hietograma para $Tr = 50$ anos, duração 1,5 horas (Modelo HADGEM2-ES - Cenário 8.5), Goiânia.



Fonte: Autor (2025).

Para a simulação com o modelo MCR Eta-MIROC5, por exemplo, para uma precipitação total de aproximadamente 64,16 mm (cenário RCP 4.5), com um CN = 80 produz-se uma precipitação excedente de pouco mais de 23 mm, enquanto que para um CN = 61, a precipitação excedente, é reduzida para aproximadamente 5,17 mm.

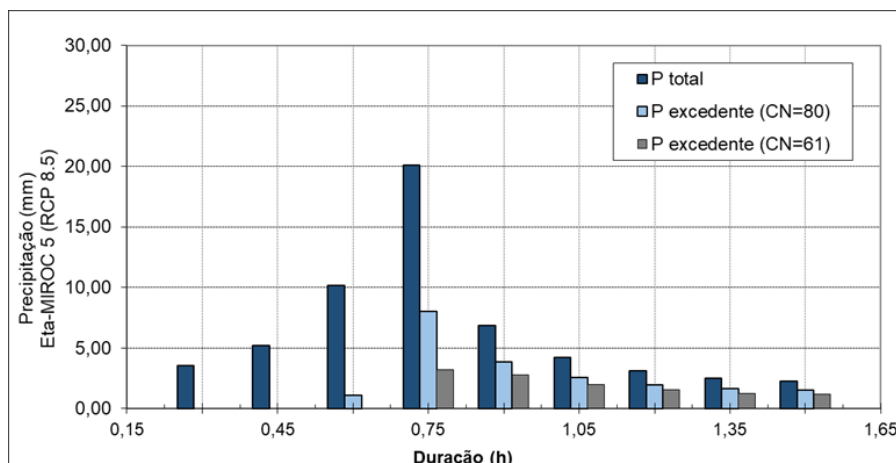
Figura 18: Hietograma para $Tr = 50$ anos, duração 1,5 horas (Modelo Eta-Miroc5 - Cenário 4.5), Goiânia.



Fonte: Autor (2025).

Já no cenário RCP 8.5, a precipitação total reduz para 60,6 mm (CN = 80) e produz-se uma precipitação excedente de 20,59 mm. Para um CN = 61, a precipitação reduz de maneira significativa a aproximadamente 2 mm.

Figura 19: Hietograma para $T_r = 50$ anos, duração 1,5 horas (Modelo Eta-Miroc5 - Cenário 8.5), Goiânia.



Fonte: Autor (2025).

De maneira geral, para reduzir as vazões de pico e os potenciais impactos no planejamento infraestrutura de drenagem urbana, é importante promover um maior distanciamento entre o hietograma da precipitação de projeto e o hietograma da precipitação excedente, ou seja, favorecer a infiltração por meio de áreas mais permeáveis nos sistemas de drenagem projetados.

Este estudo foi realizado comparando as equações IDF ajustadas com projeções regionalizadas a partir de modelos globais e a IDF do SGB, onde foram simuladas sobrecargas médias de 23% no sistema de drenagem fictício caso as projeções se mostrem verdadeiras para os cenários (CN = 80) e RCP 4.5 e 8.5.

Porém, os resultados obtidos neste estudo devem ser analisados com cautela, uma vez que retratam impactos isolados, basicamente na parcela de escoamento superficial. Não foram considerados efeitos de amortecimento de obras hidráulicas associadas à infraestrutura de drenagem na bacia do Samambaia, fatores que implicariam no aumento do tempo de concentração da bacia, dentre outros fatores.

6 CONCLUSÕES

Diante das rápidas mudanças nas regiões metropolitanas, as projeções hidrológicas podem ser integradas ao gerenciamento de recursos hídricos, conectando a infraestrutura de sistemas de drenagem ao planejamento urbano.

Ao analisar os impactos das mudanças climáticas associados aos efeitos das projeções hidrológicas de longo prazo (ano 2025 até 2040) na bacia do Samambaia, esse estudo buscou fornecer subsídios para a estruturação de mecanismos de planejamento da infraestrutura de drenagem urbana sob mudanças climáticas.

Para isso, a análise ficou concentrada no processo de geração de escoamento superficial e em potenciais impactos no planejamento da infraestrutura de drenagem urbana, considerando o contexto de urbanização acelerada e as mudanças no uso do solo, que afetam diretamente a dinâmica hidrológica, o planejamento urbano da região e a mobilidade no transporte local.

A construção do processo de análise de precipitações máximas anuais podem ser traduzidas em relações IDF que agreguem cenários climáticos, o que permite a projetar eventos extremos, com picos de alta intensidade que podem sobrecarregar os sistemas de drenagem urbana devido o escoamento superficial, especialmente em áreas com alta impermeabilização do solo e/ou urbanização desordenada.

Nesse contexto, o balanço hídrico simplificado, baseada na diferença entre precipitação e evapotranspiração pode ser um importante aliado na fundamentação de uma correlação com as características da pedologia da bacia em estudo, o potencial máximo de retenção de água no solo (S), e o parâmetro CN no âmbito da estrutura do modelo SCS.

Ao integrar essas abordagens nos estudos hidrológicos, é possível planejar melhor a infraestrutura de drenagem, promovendo soluções mais eficazes diante dos impactos da urbanização e das mudanças climáticas, fundamental para projetar a ocorrência de alagamentos, que afetam diretamente o sistema viário local.

Por fim, destacamos que o comportamento das curvas para ambos modelos foi bem semelhante às existentes (SGB). Esse resultado não garante que no futuro haja um aumento ou redução das intensidades das precipitações, uma vez que os modelos climáticos utilizados não são capazes de representar adequadamente eventos de precipitação com durações inferiores a 24 horas, devido à sua resolução temporal diária e à limitação na simulação de

processos convectivos de pequena escala. Mesmo para estas precipitações, os modelos não apresentam intensidades semelhantes aos valores observados, quando comparados ao período histórico. As simulações dos dois modelos em geral apresentam chuvas mais distribuídas em 24 horas, acarretando em redução nas intensidades de precipitações de curtas durações, essenciais para o planejamento da infraestrutura de drenagem urbana.

Dessa forma, os objetivos específicos do trabalho foram contemplados, uma vez que se caracterizaram parâmetros hidrológicos relevantes para a bacia Samambaia, destacando a influência do uso e do tipo de solo na geração do escoamento superficial e no potencial de retenção hídrica do solo. Além disso, foram avaliadas as tendências de eventos hidrometeorológicos extremos com base em séries históricas e projeções climáticas, e realizadas simulações hidrológicas que integraram cenários de mudanças de uso do solo e de alterações climáticas, evidenciando seus impactos sobre a dinâmica do escoamento superficial e sobre a capacidade dos sistemas de drenagem urbana. Esses resultados contribuem para o planejamento de soluções mais eficazes frente aos desafios impostos pela urbanização e pelas mudanças climáticas.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para conseguir gerar as curvas IDF's futuras, foram utilizadas as proporções de literatura, que são baseadas em dados históricos. Ou seja, projetou-se para o futuro os padrões já observados no passado, diferenciando apenas os dados de precipitações diárias; Propõe-se estudos que busquem detalhar os impactos de precipitações de curta duração em sistemas de drenagem na RMG.

Como ferramenta da gestão de enchentes urbanas em sistemas de drenagem, medidas de adaptação que adotem o controle na fonte além de proporcionar reduções nos picos de vazões, auxilia a conscientização da população em relação às inundações e refere-se à adoção de técnicas de redução do escoamento como emprego pavimentos permeáveis em vias locais e ampliação das áreas verdes especialmente em áreas de cabeceira de bacias urbanas; Propõe-se pesquisas que busquem otimizar parâmetros de hidrograma de projeto às características de infraestruturas urbanas, especialmente a geometria de vias urbanas e sistemas de drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEVEN, K. *I believe in climate change but how precautionary do we need to be in planning for the future?* Hydrological Processes, v. 25, n. 10, p. 1517-1520, 2011.
- BLÖSCHL, G. *et al.* *At what scales do climate variability and land cover change impact on flooding and low flows?* Hydrological Processes, v. 21, n. 12, p. 1241-1247, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto Brasil 2040 - Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas**. Projeto Brasil 2040, Brasília. 2015. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/clima/adaptacao/dialogos-projetos-e-parcerias.html>>. Acesso em: 15 Jun. 2025.
- BRASIL. **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 590 p. il.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2014. **Estudos Relativos às Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos para Embasar o Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas**. Eixo 1 - Cenários de Mudanças para Estudos de Adaptação no Setor de Recursos Hídricos. Fortaleza - CE.
- COPPE. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia. **Mudanças climáticas e efeitos na biodiversidade, regiões costeiras e saúde humana no Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J.; GOMES, J. *Evaluation of eta model seasonal precipitation forecasts over south america*. Nonlinear Processes in Geophysics, Copernicus Publications, v. 12, n. 4, p. 537-555, 2005.
- CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D. *Evaluation of the eta simulations nested in three global climate models*. American Journal of Climate Change, Scientific Research Publishing, v. 3, n. 05, p. 438, 2014.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1988.
- DE OLIVEIRA, E. P.; BESKOW, T. L. C.; RODRIGUES, A. A.; NUNES, A. B., SIQUEIRA, T. M.; BESKOW, S.; GUEDES, H. A. S et al. **Impacto das projeções climáticas nas relações**

- Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas em Pelotas/RS.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 33, p. 604-630, 2023.
- DONG, X.; GUO, H.; ZENG, S. *Enhancing future resilience in urban drainage system: Green versus grey infrastructure.* Water Research, v. 124, p. 280-289, 2017.
- FARIAS, S. E. M. : **Estimativas satelitárias de precipitação sobre o bioma Cerrado: possibilidades e perspectivas.** Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Goiás, 1- 102, 2016.
- FARIAS, S. E. M.; DE BRITO, M. N. Cenários de clima futuro em áreas urbanas: o caso da Região Metropolitana de Goiânia (RMG), GO. In: 1ª Jornada Meteorológica del Uruguay, 2022.
- FARIAS, S. E. M; LUIZ, G.C.: *La disponibilité de l'eau dans le Cerrado brésilien.* In: Colloque de l'association Internationale de Climatologie, Liège – França, xxviii, 331-335, 2015.
- FELIPPE, R. G.; OLIVEIRA, J. M. **Hidrologia Aplicada.** Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- GOIÁS. Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos. **Diretrizes para região metropolitana de Goiânia.** Coordenação geral e técnica: Celene Cunha Monteiro Antunes Barreira; Marcelo de Oliveira Safadi. Goiânia: Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos, [2017]. 40 p. il. ISBN: 978-85-495-0212-4.
- HUONG, H.T.L.; PATHIRANA, A. *Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho City, Vietnam.* Hydrol. Earth Syst. Sci. 2013, 17, 379–394.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri e L.A. Meyer (eds.)]. Geneva: IPCC, 2014.
- KOURTIS, I. M.; TSIHRINTZIS, V. A. **Adaptação das redes de drenagem urbana às mudanças climáticas: uma revisão.** Journal of Hydrology, v. 596, p. 1-17, jun. 2021.
- LI, X.; ZHANG, K.; WANG, J.; ZHAO, Q. *Resilient urban drainage systems under climate change: Challenges and strategies.* Science of The Total Environment, v. 790, p. 148-153, 2021.

- MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NIKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. ***The step-mountain coordinate: model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment***. Monthly Weather Review, v. 116, n. 7, p. 1493 - 1518, 1988.
- MUGUME, S. N.; GOMEZ, D. E.; FU, G.; FARMANI, R.; BUTLER, D. ***A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems***. Water Research, v. 81, p. 15-26, 2015.
- NAKAYAMA, P. T.; MENDES, J. B.; LOBO, G. A.; SILVEIRA, G. M. **Avaliação do parâmetro CN do método Soil Conservation Service (SCS) nas bacias do Ribeirão dos Marins e Córrego Bussocaba - Estado de São Paulo**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19., 2011, Maceió. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011.
- OLIVEIRA, Antonio Krishnamurti Beleño de *et al.* ***A framework for assessing flood risk responses of a densely urbanized watershed, to support urban planning decisions***. Sustainable and Resilient Infrastructure, v. 8, n. 4, p. 400-418, 2023.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2016: **Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA: **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia**. Disponível em: <https://pddugyn.com/audiencia-publica-no-01-2025/>. Acesso em: 8 abr. 2025.
- PREFEITURA de Goiânia alerta para as consequências do descarte de lixo nos córregos urbanos. [S. l.], 10 jun. 2024. Disponível em: <https://comurg.com.br/prefeitura-de-goiania-alerta-para-as-consequencias-do-descarte-de-lixo-nos-corregos-urbanos/>. Acesso em: 19 nov. 2024.
- ROCHA, N.; OLIVEIRA, V. T. de; FERREIRA, N. C. **Ocupações na bacia do Córrego Samambaia em Goiânia e suas consequências para o manancial de abastecimento público de água**. Anais VIII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, PUCRS. Goiânia, 2012.
- SARTORI, A., LOMBARDI NETO, F. e GENOVEZ, A. M. **Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos: Classificação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. Vol 10, n4, p. 05-18. Dezembro, 2005.

- SCHAAKE, J. C.; KNAPP, K.; GLADWELL, D. ***Experimental determination of partial areas in small watersheds***. Report 42. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil Engineering, 1967.
- SEMADENI-DAVIES, A.; HERNEBRING, C.; SVENSSON, G.; GUSTAFSSON, Lars-Göran. ***The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system***. Journal of Hydrology, v. 337, n. 1-2, p. 100-113, 2007.
- SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia: fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- SILVEIRA, A. L. L.; MENDIONDO, E. M. **Hidrologia aplicada ao planejamento urbano e de recursos hídricos**. São Carlos: RIMA, 2016.
- SOUSA, F. A.; MEDEIROS, Y. D. P.; MOURA, A. R. **Análise da influência da umidade antecedente na estimativa do escoamento superficial pelo método do *Curve Number***. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 25, e14, 2020.
- TOMAZ, P. **Cálculos Hidráulicos e Hidrológicos para Obras Municipais**. São Paulo: Navegar Editora, 2011.
- TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2005.
- TUCCI, C. E. M. ***Urban flood management***. WMO and Cap-Net, 2007.
- UNITED NATIONS. ***Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction***. UNISDR. Gênova, 2009. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/publications/7817>> Acesso em: 29 dez. 2018.
- UNITED STATES. ***Department of Agriculture. Soil Conservation Service. National Engineering Handbook: Section 4 – Hydrology***. Washington, D.C., 1972.
- VISSMAN, W.; LEWIS, G. L. ***Introduction to Hydrology***. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.
- WAGENER, T. ***Can we model the hydrological impacts of environmental change? Hydrological Processes***, v. 21, n. 23, p. 3233-3236, 2007.

APÊNDICE A - ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO REFERENTE AO PERÍODO HISTÓRICO.

Figura A1: Anomalias de precipitação máxima anual - MCR Eta-HadGEM2-ES.

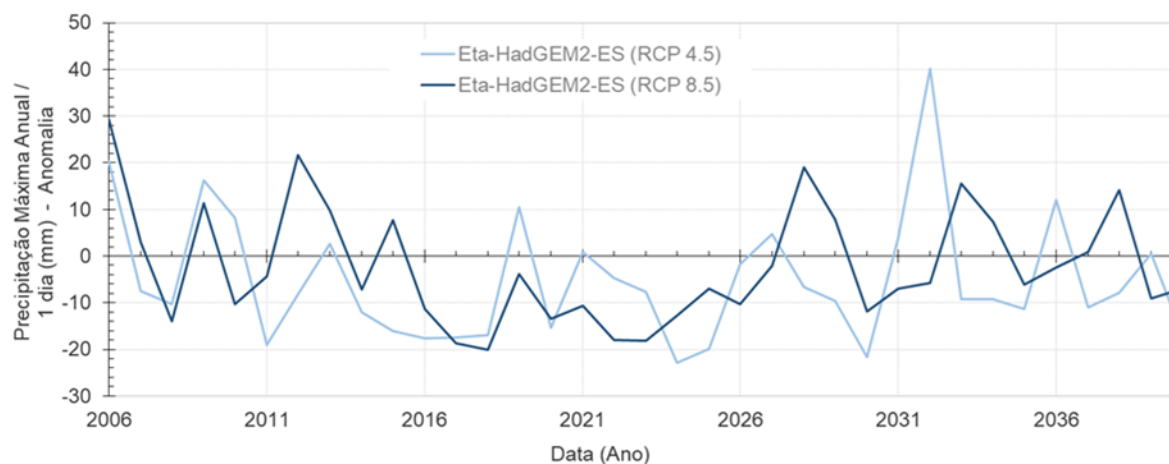
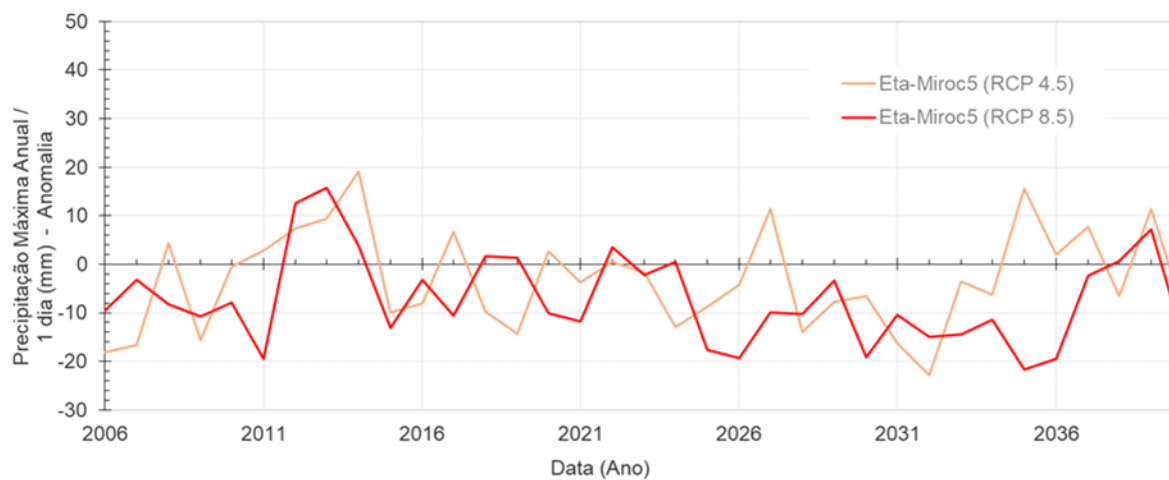


Figura A2: Anomalias de precipitação máxima anual - MCR MIROC5.



APÊNDICE B - COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS IDF'S EXISTENTE E FUTURA (PROJEÇÕES)

Figura B1: Relações IDF – existente (SGB) e MCR Eta-HadGEM2-ES, cenário RCP 4.5.

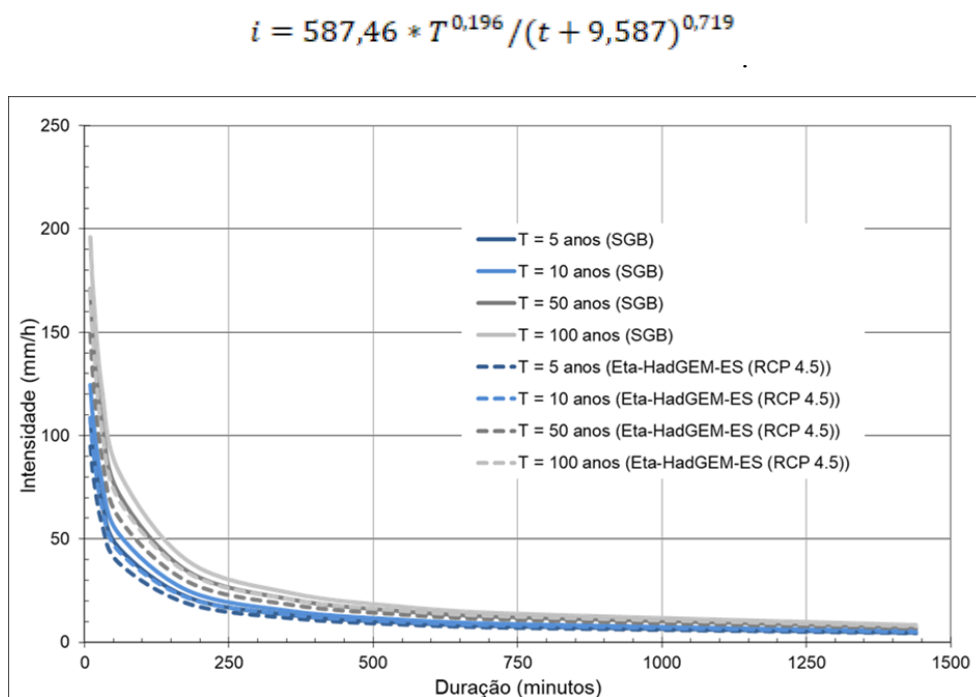


Figura B2: Relações IDF – existente (SGB) e MCR Eta-HadGEM2-ES, cenário RCP 8.5.

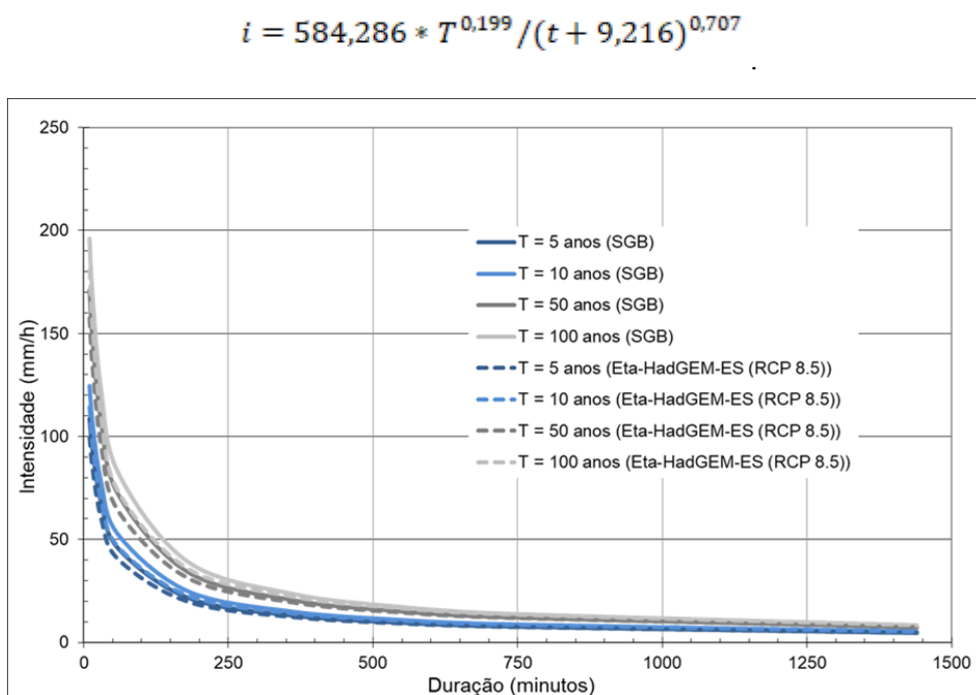


Figura B3: Relações IDF – existente (SGB) e MCR Eta-MIROC5, cenário RCP 4.5.

$$i = 583,260 * T^{0,163} / (t + 9,234)^{0,707}$$

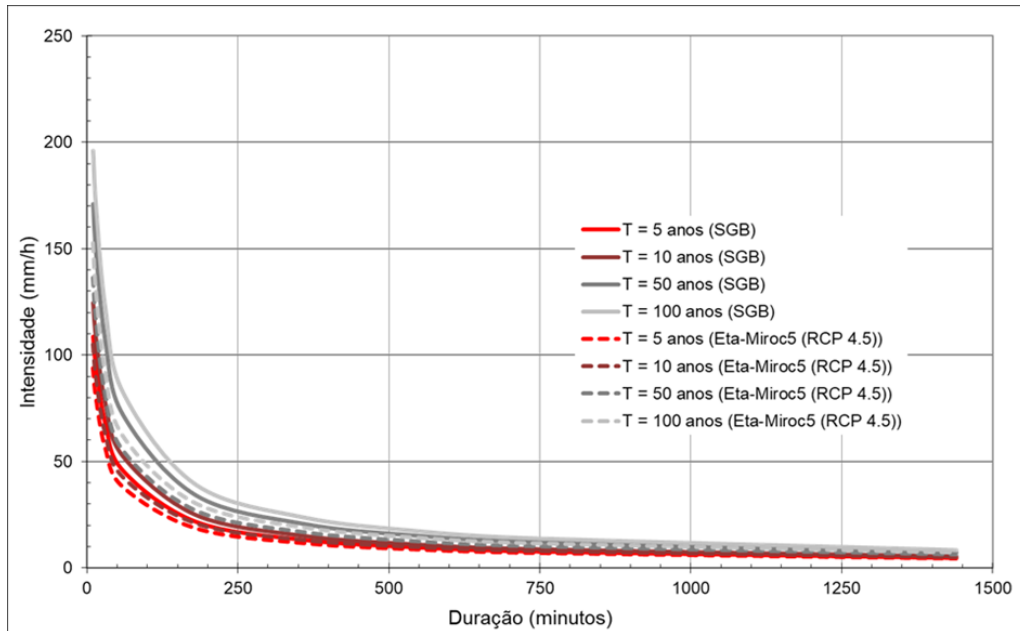


Figura B4: Relações IDF – existente (SGB) e MCR Eta-MIROC5, cenário RCP 8.5.

$$i = 527,599 * T^{0,174} / (t + 9,211)^{0,707}$$

