



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CDS/FACE-ECO/IB/IG/IQ
BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

A importância da Área de Relevante Interesse Ecológico
Capetinga Taquara - DF:
Simulação hidrológica utilizando o modelo SWAT

SOFIA SANTINI HENRIQUES ANTUNES

BRASÍLIA - DF

2023

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca ____ –
(UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA)**

Bibliotecária: _____ – nº _____

A large empty rectangular box with a black border, intended for the cataloging information of the document.

SOFIA SANTINI HENRIQUES ANTUNES

**A importância da Área de Relevante Interesse Ecológico
Capetinga Taquara - DF:
Simulação hidrológica utilizando o modelo SWAT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade de Brasília, como requisito parcial
para obtenção de grau de bacharel em Ciências
Ambientais.

Orientador: Dr. Uidemar Morais Barral
Coorientadora: Alice Rocha Pereira

**BRASÍLIA
2023**

SOFIA SANTINI HENRIQUES ANTUNES

**A importância da Área de Relevante Interesse Ecológico
Capetinga Taquara - DF:
Simulação hidrológica utilizando o modelo SWAT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade de Brasília, como requisito parcial
para obtenção de grau de bacharel em Ciências
Ambientais.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Uidemar Morais Barral
Instituto de Geociências - IGD
Universidade de Brasília

Alice Rocha Pereira
Faculdade de Tecnologia – FT
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Universidade de Brasília

Cristiane Gomes Barreto
Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS
Universidade de Brasília

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Andréa e Delson, pela vida, pelo amor e pelo apoio incondicional em todas as fases da minha vida.

Ao meu irmão Theo por ser referência e à minha irmã Maria Luísa por me possibilitar ser referência.

Agradeço à minha avózinha, Eneida, que sempre me incentivou a estudar, e a todos os meus familiares e ancestrais que me possibilitaram estar aqui.

Ao Nico e a Rubi, que apenas pelas suas existências conseguem melhorar em noventa por cento os meus dias.

Às minhas irmãs do coração, agradeço por me acompanharem de perto nos últimos 18 anos da minha vida.

Aos meus amigos de infância, da faculdade e da vida, sou grata por me apoiarem e me inspirarem. Agradeço especialmente à Jade, ao João Davi, João Vitor, Kande e Garcia que acompanharam com mais proximidade os meus processos relacionados a este trabalho.

Agradeço imensamente aos meus orientadores, Uidemar e Alice, por se fazerem presentes, pela calma, paciência, compreensão e auxílio em todas as etapas e ao longo de todo o processo.

Sou grata a todos os professores, colegas, orientadores e supervisores que me incentivaram e me inspiraram em toda a vida.

Agradeço também ao Mistério, que intriga o âmago do meu ser no simples ato de cogitar a Sua existência, assim como faz meus olhos brilharem ao estudar a beleza e a complexidade da Sua suposta Criação.

Resumo

A substituição da vegetação nativa por áreas urbanas, se realizada de forma não sustentável e não planejada, pode afetar a vazão dos recursos hídricos, acarretando consequências negativas para o funcionamento dos ecossistemas e suas funções, que são essenciais para a sobrevivência das comunidades humanas. O objetivo deste trabalho é analisar a importância hidrológica da Unidade de Conservação Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Capetinga Taquara a partir da utilização do modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para simular as variações na vazão da bacia do Gama do Distrito Federal, a qual a área de estudo está inserida, para diferentes cenários de uso e ocupação do solo. Foram simulados três cenários, o primeiro foi a situação do uso e ocupação do solo da bacia do Gama no ano de 2021, o segundo foi um cenário hipotético em que a ARIE Capetinga Taquara teria sido substituída por uma Área Urbana de Baixa Densidade (UBBD) e o terceiro cenário, também hipotético, em que a ARIE Capetinga Taquara teria sido substituída por uma Área Urbana de Média Alta Densidade (UMAD). O SWAT precisou de calibração para simular de forma eficiente os cenários. A calibração foi realizada no período de 2004 a 2009 e obteve um coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (ENS) satisfatório de 0.6, enquanto a validação foi dos anos de 2010 a 2017 e o ENS encontrado não foi satisfatório, com o valor de 0.41, demonstrando que o período escolhido para calibração não contemplou de maneira eficaz as condições hidrológicas presentes no período de validação. Contudo, a simulação dos cenários hipotéticos apresentou resultados coerentes com o observado em outros trabalhos, isto é, quanto maior a área de solo impermeabilizada, maior o aumento da vazão no curto prazo (vazão do cenário 3 > cenário 2 > cenário 1). Esses resultados mostraram que a conservação de áreas naturais de Cerrado presentes na ARIE têm importância para a manutenção da integridade dos rios da bacia do Gama, visto que o aumento de áreas impermeabilizadas pode causar problemas como assoreamento, contaminação dos rios, enxurradas e nos períodos de estiagem, maior escassez no abastecimento de água dos rios.

Palavras-Chave: Vazão, Modelo Hidrológico, Unidade de Conservação, ARIE.

Abstract

The replacement of native vegetation by urban areas, if done unsustainably and unplanned, can affect the flow of water resources, leading to negative consequences for the functioning of ecosystems and their functions, which are essential for the survival of human communities. The objective of this work is to analyze the importance of the Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara (ARIE), using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrological model to simulate variations in the flow of the Gama basin in the Federal District, in which the study area is located, for different land use and occupation scenarios. Three scenarios were simulated, the first being the situation of land use and occupation in the Gama basin in 2021, the second being a hypothetical scenario in which the Capetinga Taquara ARIE was replaced by a Low Density Urban Area (UBBD), and the third scenario, also hypothetical, in which the Capetinga Taquara ARIE was replaced by a Medium-High Density Urban Area (UMAD). The SWAT model required calibration to efficiently simulate the scenarios. Calibration was performed from 2004 to 2009 and obtained a satisfactory Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (ENS) of 0.6, while validation was from 2010 to 2017 and the ENS found was not satisfactory, with a value of 0.41, demonstrating that the calibration period chosen did not effectively cover the hydrological conditions present in the validation period. However, the simulation of hypothetical scenarios presented results consistent with those observed in other studies, the greater the area of impermeable soil, the greater the increase in flow in the short term (river flow of scenario 3 > scenario 2 > scenario 1). These results showed that the conservation of cerrado natural areas in the ARIE is important for maintaining the integrity of Gama basin, since the increase in impermeable areas can cause problems such as siltation, river contamination, floods, and in periods of drought, greater scarcity in the water supply of rivers.

Keywords: Flow, Hydrological model, Conservation Unit, ARIE.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de Localização da ARIE Capetinga Taquara com as Estações Pluviométricas e Fluviométricas.....13
- Figura 2.** Modelo Digital de Elevação (A), Mapas das Classes de Solos (B) e Uso e Cobertura do Solo (C) da Bacia do Gama usados como dados de entrada no modelo SWAT.....16
- Figura 3.** Cenários Simulados. Cenário 1- Uso do Solo da bacia do Gama em 2021 (A); Cenário 2- Substituição da ARIE e seu corredor ecológico para Área Urbana de Baixa Densidade (B); Cenário 3- Substituição da ARIE e seu corredor ecológico para Área Urbana de Média Alta Densidade (C).....18
- Figura 4.** Vazão observada, simulada e precipitação mensal após calibração usando o modelo SWAT no período de 2004 a 2009.....20
- Figura 5.** Vazão observada, simulada e precipitação mensal após validação usando o modelo SWAT no período de 2010 a 2017.....20
- Figura 6.** Vazão simulada a partir dos cenários 1 (uso do solo da bacia do Gama em 2021) e 2 (substituição da ARIE e do seu corredor ecológico por Área Urbana de Baixa Densidade) no período de 2004 a 2017.....21
- Figura 7.** Vazão Simulada a partir dos cenários 1 (uso do solo da bacia do Gama em 2021) e 3 (substituição da ARIE e seu corredor ecológico por Área Urbana de Média/Alta Densidade).....22
- Figura 8.** Vazão simulada a partir dos cenários 1 (uso do solo da bacia do Gama em 2021), 2 (substituição da ARIE e seu corredor ecológico para Área Urbana de Baixa Densidade) e 3 (substituição da ARIE e seu corredor ecológico para Área Urbana de Média.....22

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** Parâmetros, métodos, valores máximos e mínimos utilizados na calibração do modelo e o melhor valor encontrado com a calibração.....17
- Quadro 2.** Melhores valores encontrados para o coeficiente de eficiência Nash Sutcliffe (ENS) e para o coeficiente de determinação (R^2) nos períodos de calibração e validação do modelo SWAT.....19

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Referencial Teórico	2
2.1 <i>Bacia Hidrográfica Como Unidade de Planejamento e Serviços Ecossistêmicos.....</i>	2
2.1.1 Recursos Hídricos e Serviços Ecossistêmicos	2
2.1.2 Bacias Hidrográficas e Mudanças no Uso e Ocupação do Solo	4
2.2 <i>Gestão e Conservação dos Recursos Hídricos no Distrito Federal</i>	5
2.2.1 Processo de Ocupação do Distrito Federal e suas Unidades de Conservação.....	5
2.2.2 Pressões na Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga e Taquara – DF.....	7
2.3 <i>Simulação Hidrológica Utilizando o Modelo SWAT.....</i>	9
2.3.1 Modelos Hidrológicos e Suas Utilizações	9
2.3.2 Modelo Hidrológico SWAT.....	11
3. Materiais e Métodos	12
3.1 <i>Área de Estudo</i>	12
3.2 <i>Levantamento de Dados.....</i>	15
3.3 <i>Calibração do Modelo</i>	17
3.4 <i>Cenários Simulados.....</i>	17
4. Resultados e Discussão	19
4.1 <i>Calibração e Validação.....</i>	19
4.2 <i>Comparação dos Cenários Simulados.....</i>	21
5. Conclusão	25
6. Referências Bibliográficas	25

1. Introdução

O Brasil é o país com maior disponibilidade hídrica do mundo e destaca-se por possuir entre 15% e 20% da biodiversidade mundial, distribuídas em seus 6 biomas (DRUMMOND; ANTONINI, 2006; EMBRAPA, 2008). O segundo maior bioma do Brasil é o Cerrado, o qual contém cerca de 5% da biodiversidade mundial, sendo responsável também por distribuir os recursos hídricos pelo País e dar origem às maiores bacias hidrográficas do Brasil e da América do Sul (EMBRAPA, 2008; EMBRAPA, 2022).

O crescimento populacional e as mudanças no uso e na cobertura do solo têm intensificado os impactos sobre os recursos hídricos e ecossistemas (ALMEIDA; SERRA, 2017; BRAGA et al., 2021; SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010; SILVA, 2016). Essa situação é preocupante, considerando que o bom funcionamento dos processos naturais é essencial para a existência, para a qualidade de vida humana e de todos os outros seres vivos, que dependem dos diversos serviços que os ecossistemas prestam, como o abastecimento e a purificação de água, a regulação climática, o controle de erosão e de praga, a polinização e os serviços estéticos e culturais (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (PROGRAM), 2005).

As Unidades de Conservação (UCs) são uma das formas de assegurar a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais, visto que têm como alguns de seus objetivos: contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais; contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais; promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais; e proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos (BRASIL, 2000).

A Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) é uma categoria de UC prevista no Sistema Nacional de Unidades de Conservação, dentro do grupo de unidades de Uso Sustentável. As ARIEs possuem objetivo básico de manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, compatibilizando-o com os objetivos de conservação da natureza (BRASIL, 2000).

O Distrito Federal contém remanescentes importantes de vegetação de Cerrado, considerado *hotspot* devido à sua biodiversidade e grau de ameaça às espécies, assim como possui nascentes essenciais para a formação da bacia do Lago Paranoá, principal lago da cidade, construído artificialmente em Brasília. A Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga e Taquara, objeto de estudo deste trabalho, é uma das Unidades de Conservação de Uso

Sustentável que se destacam no DF e abrange grande parte da bacia do Gama, uma das sub-bacias do Lago Paranoá. A ARIE Capetinga Taquara protege as nascentes dos rios da bacia do Gama, que são responsáveis por um terço das águas do Lago Paranoá e pelo abastecimento de água potável para parte da população do DF (FELFILLI et al., 2003; EMERY; PINHEIRO, 2006).

Contudo, apesar de a ARIE Capetinga e Taquara ser relevante para a conservação de córregos e ecossistemas que fornecem abastecimento de água e outros serviços ecossistêmicos para a população do DF, o crescimento desordenado da população junto às falhas na gestão territorial são grandes vetores na substituição de áreas naturais em áreas antrópicas no território. Esses vetores geram pressão sobre os recursos hídricos, como alterações na vazão e contaminação e assoreamento dos corpos d'água; sobre a vegetação natural e conseqüentemente os ecossistemas ali inseridos; e impactos nas populações que consomem as águas provenientes dessa bacia (UNESCO, 2003; FERREIRA, 2014; AGUIAR, 2015; DE MELO, 2018).

O uso do Sistema de Informações Geográficas e da modelagem hidrológica tem sido importante para o planejamento territorial e gestão dos recursos hídricos. Pode-se usar a modelagem para avaliação ambiental para simular cenários futuros e hipotéticos e entender a magnitude das alterações ambientais, ecológicas e sociais causadas pelas atividades antrópicas (FERREIRA; UAGODA, 2017; BRESSIANI et al., 2015).

O objetivo do trabalho é analisar a importância da ARIE Capetinga Taquara a partir da utilização do modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para simular as variações na vazão da bacia do Gama, a qual a ARIE está inserida, para diferentes cenários de uso e ocupação do solo.

2. Referencial Teórico

2.1 Bacia Hidrográfica Como Unidade de Planejamento e de Fornecimento de Serviços Ecossistêmicos

2.1.1 Recursos Hídricos e Serviços Ecossistêmicos

A água doce é o principal constituinte dos organismos vivos, sendo essencial para a vida como a conhecemos. Os recursos hídricos são qualquer água, superficial ou subterrânea, que pode ser obtida para o uso humano (COSTA et al., 2012) e são elementos fundamentais para o

ciclo da água, controlando a frequência de chuvas, a umidade do ar e a disponibilidade de água subterrânea.

Os recursos hídricos são utilizados para distintas finalidades humanas, entre as quais pode-se destacar o abastecimento de água, a geração de energia, a pesca, a irrigação, as atividades industriais, além de valores culturais e religiosos para diversas comunidades (MORAES; JORDÃO, 2002; REBOUÇAS, 2002; DIEGUES, 2007). Os recursos hídricos, assim como outros recursos ambientais, só estão disponíveis e acessíveis para o uso humano devido aos serviços ecossistêmicos.

Os serviços ecossistêmicos são os benefícios que o ser humano obtém do adequado funcionamento dos ecossistemas naturais (MEA, 2005). Esses serviços originam-se das funções geradas pelas interações entre os organismos vivos e os fatores físicos (água, solo, vento, temperatura) de uma área, como a transferência de energia, a regulação de gases, o ciclo da água, e a ciclagem de nutrientes (ANDRADE; ROMEIRO, 2009; DALY; FARLEY, 2004). Portanto, os serviços que a água provê para a humanidade e para a biota, como a regulação do clima e a qualidade da água para o consumo são dependentes da biodiversidade e da conservação das interações e características ecológicas, químicas, morfológicas e hidrológicas dos sistemas naturais (LANNA; COLBACHINI, 2003).

Tendo isso em vista, os serviços ecossistêmicos são divididos em: I) Serviços de Provisão, ou seja, provimento de alimentos, água, madeira e recursos genéticos; II) Serviços de Regulação, que incluem a regulação do clima, a regulação de inundações e tratamento de resíduos; III) Serviços Culturais, como a recreação e a beleza cênica; e IV) Serviços de Suporte, tais como a polinização, a formação do solo e a ciclagem de nutrientes (MEA, 2005).

Os serviços ecossistêmicos proporcionam condições que dão suporte à vida e, de maneira direta ou indireta, exercem influência sobre a existência e o bem-estar humano (CAMELO; SANCHES, 2014). Contudo, o balanço entre o uso da água e a manutenção da estrutura dos ecossistemas está desequilibrado, devido ao seu uso antrópico inadequado, gerando contaminação da água; mudanças no clima, no ciclo da água, na vazão dos rios e na disponibilidade de recursos naturais (DUPASA et al., 2015; FIA et al., 2015).

Para que os benefícios provenientes dos recursos hídricos continuem existindo, é necessário que existam políticas públicas efetivas para a conservação dos mesmos, como a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criada pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que adota as bacias hidrográficas como unidades de estudo e planejamento dos recursos hídricos, abrangendo princípios e normas para a gestão dos mesmos. Para isso, é importante

que tanto os gestores quanto os pesquisadores compreendam a definição de bacia hidrográfica e de suas subdivisões (TEODORO et al., 2007).

2.1.2 Bacias Hidrográficas e Mudanças no Uso e Ocupação do Solo

Uma bacia hidrográfica pode ser considerada como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, que convergem toda a água precipitada até o seu ponto mais baixo, chamado de exutório ou foz. Esse ponto mais baixo costuma desaguar em outros rios, se transformando em outra bacia hidrográfica ou no próprio mar. Sua formação ocorre em regiões de maior altitude, nos pontos mais altos do terreno, onde as águas das chuvas ou se infiltram no solo e formam o lençol freático e as nascentes, ou escoam pela superfície, formando os riachos e rios (BARRELLA et al., 2001).

As nascentes ou cabeceiras são os locais onde se aflora naturalmente a água subterrânea dos lençóis freáticos (BRASIL, 2002. Art. 2º, II), normalmente em terrenos mais íngremes das serras e montanhas; e na medida em que as águas vão brotando da nascente e se juntando com as que escoam das chuvas, formam-se os riachos, que vão aumentando o seu volume e formando rios, que continuam seus trajetos recebendo água de outros rios até desembocarem em rios maiores de outras bacias hidrográficas ou no oceano (TEODORO et. al, 2007; SILVA, 2015).

A parcela da água da chuva que não infiltra no solo, por diversos motivos, como a impermeabilização do solo, escoam diretamente aos rios, contribuindo para sua vazão e é rapidamente drenada para fora do sistema da bacia hidrográfica pela ação da gravidade, ou seja, rapidamente chega na foz da bacia e passa a fazer parte do mar ou de outra bacia hidrográfica. Já a água subterrânea, possui uma dinâmica mais lenta e bem distribuída no tempo, de modo que consegue brotar na superfície e realizar a manutenção dos cursos d'água, muitas vezes independente da época de seca ou de chuva (FELIPPE; JUNIOR, 2007).

As análises do uso e cobertura do solo indicam como a humanidade tem usado e ocupado a superfície terrestre (LEITE; ROSA, 2012). As mudanças nesses usos e ocupações do solo normalmente ocorrem no sentido de substituir vegetações naturais por áreas antropizadas e são uma das principais causas das alterações que têm ocorrido nos ecossistemas e, conseqüentemente, nos serviços que oferecem.

As mudanças no uso e ocupação do solo, principalmente o desmatamento, ameaçam o regime hídrico de bacias urbanas, afetando a vazão dos rios, ou seja, o volume de água que passa em um período. Isso ocorre, pois, a vegetação tem papel importante no ciclo da água, evitando erosão do solo, facilitando a infiltração da água no solo e abastecendo a água

subterrânea, que por sua vez garante qualidade e vazão para os rios, mesmo em períodos sem chuva (FELIPPE; JUNIOR, 2007).

Por isso, a proteção da vegetação e dos ecossistemas naturais em volta das nascentes é essencial para a manutenção da vazão e dos fluxos d'água dos recursos hídricos (NUNES, 2016; SANCHES, 2021).

O código florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) estabelece as Áreas de Preservação Permanente, que são áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, e que têm como uma de suas funções ambientais preservar os recursos hídricos, a biodiversidade e assegurar o bem-estar das populações humanas. Apesar dessas Áreas de Preservação Permanente, na teoria, serem obrigatórias e impedirem a degradação das margens das nascentes, dos cursos d'água, lagos e lagoas, o código florestal pode falhar em abranger os diversos tipos e particularidades das nascentes, simplificando sua proteção e excluindo, por exemplo, as nascentes intermitentes, ou seja, que secam em determinados períodos do ano (CARMO et al., 2014).

Tendo isso em vista, a existência de outras áreas protegidas em volta de nascentes, como as Unidades de Conservação de Proteção Integral, podem ser uma forma de garantir uma segurança adicional à proteção das nascentes e também dos seus serviços ecossistêmicos.

2.2 Gestão e Conservação dos Recursos Hídricos no Distrito Federal

2.2.1 Processo de Ocupação do Distrito Federal e suas Unidades de Conservação

O bioma Cerrado é o segundo maior do Brasil, e é a única savana do mundo considerada *hotspot*, ou seja, uma área com grande diversidade biológica e concentração de espécies endêmicas, porém com alto grau de ameaça e perda de habitat (MYERS et al., 2000; AGUIAR, 2015).

O Cerrado possui contribuição essencial para os recursos hídricos do País, pois abastece 8 das 12 regiões hidrográficas instituídas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), com destaque de contribuição para as vazões das regiões hidrográficas do Paraguai, Parnaíba, São Francisco e Tocantins-Araguaia (LIMA; SILVA, 2008). Isso ocorre pois o Cerrado se encontra em regiões de elevada altitude, no Planalto Central do Brasil, que pela força da gravidade desempenha papel fundamental na distribuição dos recursos hídricos pelo

país, sendo local de origem das grandes bacias hidrográficas brasileiras e do continente sul-americano (EMBRAPA, 2008).

O Distrito Federal encontra-se no Cerrado, e é marcado por um processo desordenado e intenso de crescimento da população e de ocupação do território, ao ponto de que nos seus primeiros 18 anos (1960-1978?), a população passou de 6.283 para 895.000 habitantes (CODEPLAN, 2013) e em 2021 sua população estimada era de 3 milhões de habitantes (IBGE, 2021). Apesar de que o que havia sido idealizado para o plano piloto da capital era uma população de 500 mil habitantes, também era esperado que sua construção demandasse a vinda de um grande número de trabalhadores para as obras e comércios. Contudo, o planejamento de Brasília não incluiu de forma clara a moradia de grande parte desses trabalhadores, fazendo com que muitos se abrigassem em alojamentos temporários e ficassem sem perspectiva de moradias regulares na nova capital (COSTA, 2011; SANTOS, 2016).

A exclusão dos trabalhadores atraídos para Brasília no planejamento da capital e o crescimento da população foram uma das causas que iniciou o processo de ocupação desordenada do solo do Distrito Federal, e conseqüentemente, vários problemas socioambientais, considerando que não eram realizados estudos de viabilidade, nem levados em consideração aspectos geológicos, ecológicos e hidrológicos das terras ocupadas na ótica da sustentabilidade (DIAS, 2011; SANTOS, 2016).

As preocupações ambientais, principalmente relacionado ao desmatamento e seu impacto nos recursos hídricos, decorrentes dessa desorganização do planejamento urbano do DF e do crescimento exponencial da população, fizeram com que ao longo dos anos fossem decretadas a criação de diversas Unidades de Conservação, para conter a expansão irregular, proteger a biodiversidade, as nascentes e cursos d'água e regular o uso do solo da região (AGUIAR, 2015; JUNIOR, 2014).

As Unidades de Conservação (UC) são áreas legalmente instituídas pelo Poder Público, que possuem características naturais relevantes e têm objetivos de conservação e limites definidos. As UCs são divididas em dois grupos: Proteção Integral e Uso Sustentável. Sendo o primeiro com objetivo de preservar a natureza, admitindo somente o uso indireto dos seus recursos naturais; e o segundo com intuito de compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável e portanto uso direto de parte dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000). Dentre as várias categorias de UCs, existem as Áreas de Proteção Ambiental e as Áreas de Relevante Interesse Ecológico, ambas enquadradas no grupo de Uso Sustentável.

As Áreas de Proteção Ambiental são em geral áreas extensas com um certo grau de ocupação humana, mas com atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais relevantes para

a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas. Portanto, seu objetivo é proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

No DF foi criada a APA do Planalto Central, que engloba praticamente todo o DF e visa regular o uso do solo. A APA Gama e Cabeça de Veado, criada antes da APA do Planalto Central, foi englobada por ela. O principal objetivo da APA Gama e Cabeça de Veado é proteger o ribeirão do Gama, na tentativa de garantir a integridade de suas drenagens, que são responsáveis por abastecer o Lago Paranoá, principal reservatório da cidade de Brasília (BRASIL, 1986).

O Lago Paranoá, apesar de ser um lago artificial, possui múltiplos e importantes usos, como o abastecimento público, a recreação, a pesca profissional, a geração de energia elétrica, e a recepção de esgoto tratado (PIRES, 2004; AGÊNCIA BRASÍLIA, 2022). O lago possui também importância ecológica por interligar as Unidades de Conservação que se encontram nas bacias hidrográficas que o abastecem, facilitando assim a passagem de espécies entre essas áreas protegidas e garantindo a conservação de seus recursos e ecossistemas (IBRAM, 2018).

A Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Capetinga Taquara, objeto de estudo deste trabalho, é uma das UCs que se localizam nas bacias que abastecem o Lago Paranoá. Tal ARIE se encontra dentro da APA Gama e Cabeça de Veado e protege as nascentes dos córregos Capetinga e Taquara, os quais pertencem à bacia hidrográfica do Ribeirão do Gama, que desemboca no Lago Paranoá.

A ARIE Capetinga Taquara está dentro também de uma das zonas núcleo da Reserva da Biosfera do Cerrado pela Unesco (DOYLE, 2009), portanto tem a função de conservar a biodiversidade, as paisagens e a cultura; assim como o desenvolvimento sustentável e a educação ambiental; e o apoio logístico à pesquisa, ao monitoramento e às ações em prol do desenvolvimento. Ademais, segundo Nunes (2016), sua conservação é impactante pois protege as nascentes da bacia do Gama, segunda bacia que mais contribui para a recarga do lago e, portanto, é importante para a população do DF.

2.2.2 Pressões na Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga e Taquara – DF

As Áreas de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), assim como as APAs, são Unidades de Conservação de Uso Sustentável. Com isso, tem o intuito de manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso dessas áreas. As ARIEs são em geral de

pequena extensão e possuem características naturais extraordinárias ou abrigam exemplares raros da biota regional (BRASIL, 2000). As ARIEs foram criadas pelo Decreto nº 89.336/84 e integram hoje o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) – Lei nº 9.985/00 e o Sistema Distrital de Unidade de Conservação (SDUC) – Lei Complementar nº 827/2010.

Apesar das ARIEs serem apresentadas no SNUC como uma área com pouca ou nenhuma ocupação humana, existem algumas contradições que se dão devido à sobreposição, em um mesmo território, de diversas UCs com níveis e objetivos de proteção diferentes (BRASIL; AGUIAR, 2015).

As Áreas de Relevante Interesse Ecológico, por terem sido classificadas como UCs de Uso Sustentável, permitem a exploração direta dos seus recursos, só que de forma sustentável. Entretanto, esse conceito de uso direto dos recursos naturais das ARIEs se sobrepõe às definições apresentadas no próprio decreto de criação das mesmas, que diz que as Áreas de Relevante Interesse Ecológico podem se localizar dentro de Áreas de Proteção Ambiental, fazendo parte da Zona Silvestre das APAs, isto é, da zona dentro da APA que só é permitido o uso indireto dos recursos, logo não envolve consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais (UNESCO, 2003; BRASIL, 1984; BRASIL, 2000).

A ARIE Capetinga Taquara, objeto de estudo deste trabalho, se encontra nessa situação, em que é considerada uma UC de uso direto, porém ao mesmo tempo integra a porção da APA Gama e Cabeça de Veado que só é permitido o uso indireto dos seus recursos naturais.

Além dessas confusões, segundo o SNUC (BRASIL, 2000), as Áreas de Relevante Interesse Ecológico, assim como as outras UCs, devem ter um plano de manejo, que é um documento técnico em que se estabelece o zoneamento e as normas que devem nortear não só o uso da unidade de conservação, mas também o manejo dos seus recursos naturais, seguindo os objetivos definidos no ato da criação da UC.

O plano de manejo deve ser elaborado no prazo de cinco anos a partir de criação da unidade de conservação. Contudo, a ARIE Capetinga Taquara, criada em 1985 (BRASIL, 1985), mesmo após 30 anos de sua criação, ainda não possui um plano de manejo elaborado, o que acarreta diversas consequências na efetividade da conservação e gestão dessa unidade de conservação (AGUIAR, 2015).

Algumas consequências decorrentes dessas falhas no planejamento urbano do DF, das confusões de conceitos causadas pela sobreposição de UCs e da não elaboração de um plano de manejo para a ARIE Capetinga Taquara foram observadas por Aguiar (2015). São elas: pontos de áreas ocupadas que sobrepõem às Áreas de Preservação Permanente que protegem mais

restritamente os cursos d'água da ARIE; estruturas de pesquisa da Universidade de Brasília (UnB) instaladas irregularmente dentro da ARIE, como o centro de Primatologia; o avanço de atividades agropecuárias e silviculturais desenvolvidas pela Universidade de Brasília; e a presença de moradias dentro da Fazenda Água Limpa da UnB, local em que a ARIE se encontra, que geram destinação incorreta de lixo, contaminação da água, do solo e introdução de espécies invasoras.

As áreas ao redor da bacia do Gama e da ARIE Capetinga Taquara também sofrem consequências das pressões antrópicas e consequentemente afetam a própria ARIE. Entre os reservatórios nas cabeceiras dos tributários do Lago Paranoá, a represa de Vargem Bonita, que é exposta a usos agrícolas e urbanos variados, registra condições ambientais ruins, com dominância de espécies exóticas e baixo nível de integridade ecológica. A proximidade com o bairro residencial Park Way também pode ser um fator que afeta a integridade dos ecossistemas da área de estudo (RIBEIRO et al., 2018).

As pressões no uso e na ocupação do solo da área de estudo podem ser preocupantes no que tange à garantia da proteção da biodiversidade cerratense e dos recursos hídricos dependentes do equilíbrio ecológico da ARIE Capetinga Taquara.

2.3 Simulação Hidrológica Utilizando o Modelo SWAT

2.3.1 Modelos Hidrológicos e Suas Utilizações

O monitoramento e a análise dos processos hidrológicos que ocorrem nas bacias hidrográficas são, de acordo com Medeiros (2017), tarefas difíceis, muitas vezes inviáveis e de alto custo. Essa dificuldade se dá pela complexidade dos sistemas hídricos, mas pode ser facilitada com o uso de modelos hidrológicos, que surgem como ferramentas para auxiliar essas tarefas.

Modelos tentam representar os sistemas naturais de forma simplificada, por meio de métodos matemáticos. No caso dos modelos hidrológicos, os processos representados são os que ocorrem nas bacias hidrográficas (NUNES, 2016). Portanto, a modelagem hidrológica demanda conhecimento detalhado sobre o ciclo hidrológico e sobre os processos físicos que ocorrem durante a precipitação, ou seja, a própria chuva, a interceptação, a evapotranspiração, a infiltração e o escoamento superficial (SANTOS, 2009).

Segundo Tucci (2010), esses modelos procuram transformar a precipitação que cai sobre a bacia, em vazão. Portanto, é possível estimar, a partir das precipitações, as vazões para os

diversos cenários presentes ou futuros das bacias, assim como simular seu balanço hídrico (TUCCI, 1998; MEDEIROS, 2017; SILVA 2007; ALMEIDA; SERRA, 2017)

De acordo com Almeida e Serra (2017), a modelagem nas esferas hidrológica, biológica e ecológica estão intimamente interligadas, pois os processos que ocorrem nessas esferas também estão relacionados, na medida em que o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas que podem aumentar ou diminuir a quantidade e a frequência desses materiais na água, assim como o regime do fluxo de água pode afetar diversos habitats.

Portanto, a modelagem hidrológica possibilita o entendimento do funcionamento dos ecossistemas, identificando problemas ambientais, avaliando as alterações na disponibilidade dos recursos ocasionadas pelas mudanças de uso e cobertura do solo, a qualidade da água, sedimentos e vazão (NUNES, 2016).

Assim, os modelos hidrológicos, juntos ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), têm proporcionado avanços na gestão dos recursos hídricos, pois por meio dessas ferramentas, pode-se visualizar cenários passados, presentes e simular cenários futuros de acordo com as condições de uso do solo e outros parâmetros definidos no modelo. Tendo isso em vista, os modelos hidrológicos servem como ferramenta importante para a gestão e o planejamento ambiental, agrícola e urbano (BOURAOU ET AL., 1997; NUNES, 2016; BLAINSKI ET AL., 2011).

É importante ressaltar que a qualidade de um modelo hidrológico está associada com a capacidade que o modelo tem em representar as variáveis e os parâmetros da bacia, ou seja, manipular uma grande quantidade de dados com variabilidade espacial e temporal (SILVA, 2019). Portanto, o nível de detalhamento nas representações dos dados é importante para uma modelagem que corresponda melhor à realidade. Considerando isso, os modelos distribuídos, ou seja, aqueles em que os parâmetros e variáveis variam tanto no espaço quanto no tempo, são recomendados para melhor representar essa variabilidade no espaço e no tempo existentes em uma bacia hidrográfica (SANTOS, 2009)

Outro fator importante na utilização dos modelos é a aquisição de dados, pois o levantamento das características da bacia e o monitoramento dos processos permitem o ajuste do modelo às condições da bacia hidrográfica em estudo. Além disso, com objetivo de aprimorar a qualidade dos resultados gerados pelo modelo e simular cenários mais confiáveis, são necessárias as etapas de calibração, validação e análises de incertezas (NUNES, 2016).

2.3.2 Modelo Hidrológico SWAT

O modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) foi desenvolvido para auxiliar as análises das mudanças de uso dos solos e suas alterações nos recursos hídricos, e tem sido uma ferramenta importante principalmente em bacias hidrográficas rurais sem monitoramento (NUNES, 2016).

Para isso, o modelo simula um conjunto de processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, utilizando componentes como a hidrologia, o clima, a sedimentação e o uso e a cobertura do solo para diagnosticar ou prever as possíveis alterações e impactos no escoamento superficial e subterrâneo, na qualidade da água, na vazão e na produção de sedimentos (NUNES, 2016; ARNOLD ET AL, 2012B) gerados pelas atividades antrópicas.

O SWAT é um modelo matemático semi-distribuído com base em tempo contínuo, ou seja, permite que a área da bacia seja dividida em unidades regulares e homogêneas (Unidades de Resposta Hidrológica) que possuem características semelhantes de pedologia, de uso e cobertura do solo e declividade (ALMEIDA; SERRA, 2017), e opera em um intervalo de tempo diário (FERRIGO, 2014).

Diversos autores utilizaram o SWAT para diagnosticar bacias hidrográficas brasileiras (MACHADO et al., 2003; BALDISSERA, 2005; OLIVEIRA, 2014; BLAINSKI ET AL, 2017; SILVA, 2019). No Cerrado, dentro do Distrito Federal, Ferrigo (2014) analisou a consistência dos parâmetros do modelo SWAT para vazão, obtidos por calibração automática no Lago do Descoberto-DF, apresentando resultados satisfatórios para a vazão simulada após a calibração e verificação; e mais especificamente na bacia do Lago Paranoá, Nunes (2016) realizou um estudo hidrológico e de qualidade de água no lago, determinando também o balanço hídrico das sub bacias afluentes ao lago e mostrando que a sub bacia do Ribeirão do Gama é a segunda maior contribuidora para o lago Paranoá.

Em relação às simulações realizadas na bacia do Ribeirão do Gama, Mota (2015) simulou e avaliou as alterações nas vazões provocadas pelos diferentes planos futuros de ocupação da bacia do Gama, apresentando que quanto maior a impermeabilização da bacia maior seriam o valores médios das vazões de escoamento superficial; Ferreira e Uagoda (2016) avaliaram o desempenho do modelo SWAT na predição e simulação do balanço hídrico na bacia, obtendo resultados satisfatórios, contudo evidenciando dificuldades na simulação do escoamento superficial e fluxo de base; e Ferreira (2018) realizou mais um estudo de avaliação dos efeitos de diferentes cenários de uso do solo sobre o regime hídrico na bacia do Ribeirão do Gama.

Embora existam esses estudos já realizados na bacia do Ribeirão do Gama utilizando o modelo SWAT, observou-se que eles possuem pouco enfoque nos impactos que essas alterações das vazões provenientes das mudanças no uso do solo têm, na integridade dos recursos hídricos e nos serviços ecossistêmicos prestados.

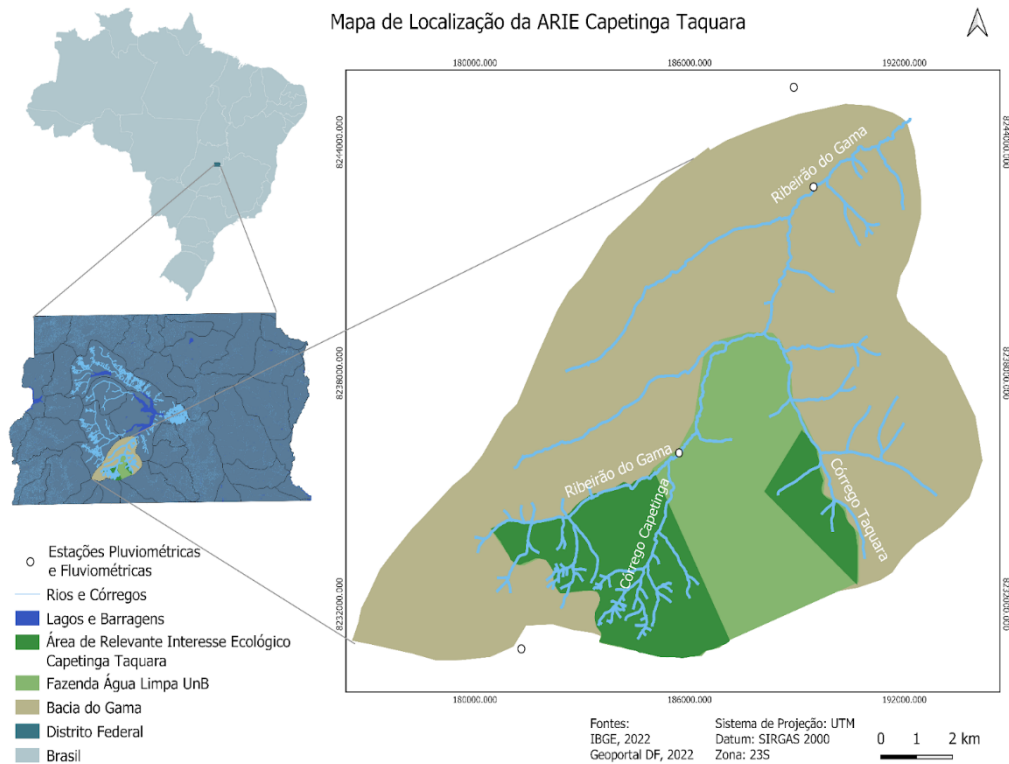
3. Materiais e Métodos

3.1 Área de Estudo

A área de estudo é a Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga/Taquara, Unidade de Conservação no Distrito Federal, criada e respaldada pelo Decreto nº 91.303 de 1985, pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000) e considerada uma das áreas núcleo da Reserva da Biosfera do Cerrado pela Unesco. Os órgãos responsáveis pela sua gestão na época da criação eram a Universidade de Brasília (UnB) e o IBAMA, e hoje são a UnB e o ICMBio (BRASIL, 1985).

A ARIE Capetinga Taquara possui aproximadamente 20.57 km² divididos em dois polígonos separados um do outro, um protegendo as cabeceiras do córrego Capetinga e o outro parte das nascentes do córrego Taquara. Ambos os polígonos se encontram dentro da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília, no Distrito Federal, e da Área de Proteção Ambiental do Gama e Cabeça de Veado (Figura 1).

Figura 1: Localização da ARIE Capetinga Taquara com as Estações Pluviométricas e Fluviométricas.



Fonte: Elaborado pela autora

A FAL é um órgão complementar da Universidade de Brasília, e tem o intuito de desenvolver pesquisas biológicas, agrícolas e socioambientais, assim como as diferentes práticas de extensão universitária (FELFILI et al., 2003). Sua área é de 45 km², sendo que 50% da área é reservada para a preservação do Cerrado, parte em que se localiza a ARIE Capetinga Taquara, e os outros 50% são destinados às práticas de ensino, pesquisa e extensão da universidade (FAL, 2023).

Os córregos Capetinga e Taquara, os quais têm suas cabeceiras protegidas pelos dois polígonos que compõem a ARIE, fazem parte da bacia do Gama, pois são afluentes do ribeirão do Gama, junto com os córregos Mato Seco e Cedro.

O ribeirão do Gama possui 20,76 km de extensão e sua sub-bacia ocupa aproximadamente 150 km². A parte preservada da bacia do Gama se localiza ao longo do Córrego Taquara da ARIE Capetinga/Taquara e das unidades de conservação vizinhas à ARIE Capetinga/Taquara. Já a área antropizada da bacia do ribeirão do Gama está em área urbana (no Setor de mansões do Park Way), em área rural (no Núcleo Rural da Vargem Bonita e Núcleo Rural Córrego da Onça) e em volta da estrada de ferro que separa a FAL do Park Way e do Núcleo Rural Córrego da Onça (AGUIAR, 2015; CASCON, 2016).

O Ribeirão do Gama é um dos tributários e, portanto, sub-bacia da bacia do Paranoá. A bacia do Paranoá está localizada na região central do Distrito Federal e apresenta a maior densidade demográfica dentre as bacias da região. Além disso, a bacia do Paranoá é a que forma o principal lago de Brasília e, por fazerem parte do Cerrado, possuem importância relevante na distribuição das águas pelo país e pelo continente.

O clima da ARIE Capetinga Taquara, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw e possui duas estações bem definidas: uma quente e chuvosa, de outubro a abril, e outra fria e seca, que vai de maio a setembro (OLIVEIRA, 2010).

As classes de solo da ARIE são o latossolo vermelho (LV), o latossolo vermelho-amarelo (LVA), O cambissolo (CX) e os solos hidromórficos (G), umas das principais classes de solos do bioma Cerrado (EMBRAPA, 2018).

Os latossolos vermelho e vermelho-amarelo são solos minerais com alto grau de intemperismo, costumam ser profundos e ter boa drenagem. Já o cambissolo é pouco desenvolvido, podendo ter fragmentos da rocha matriz e apresentar maior reserva de minerais que outras classes de solo (ZARONI; SANTOS, 2006). A ARIE se localiza em áreas com alta densidade de drenagens (AGUIAR, 2015). Os solos hidromórficos ocorrem em locais mais próximos de água, ou seja, nas áreas planas e nos vales, nas veredas e matas galeria (AGUIAR, 2015).

Em relação à vegetação da área de estudo, as principais fitofisionomias presentes são: o cerrado sentido restrito, composta por estrato tanto herbáceo quanto lenhoso com até 60% de cobertura de dossel, dominando praticamente metade da Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara; os campos de murundus, fitofisionomia savânica alagável de importância devido ao afloramento do lençol freático (CARDOSO et al., 2002); as matas de galeria, que acompanham as margens dos rios de pequeno porte ou córregos, costumam ser perenifólias e preservar a umidade relativa da área independente da época do ano (ICMBIO, 2023); e os campos, sendo os campos limpos com predominância de herbáceas e ausência de árvores, circundando as matas de galeria nos cambissolos, e os campos sujos, que possuem estrato herbáceo-arbustivo (UNESCO, 2003).

A fauna do Cerrado e da APA Gama e Cabeça de Veado, devido à sua vegetação heterogênea, possui grande diversidade de espécies e altas taxas de endemismo (UNESCO, 2003). Aguiar (2015) apresenta uma série de autores que mostram a riqueza e abundância de insetos na ARIE, quase 3 vezes maior que em outras áreas tropicais, 38 espécies de mamíferos não voadores nas matas dos córregos Capetinga e Taquara, 85 espécies de borboletas em suas matas de galeria, assim como espécies de morcegos e de anfíbios.

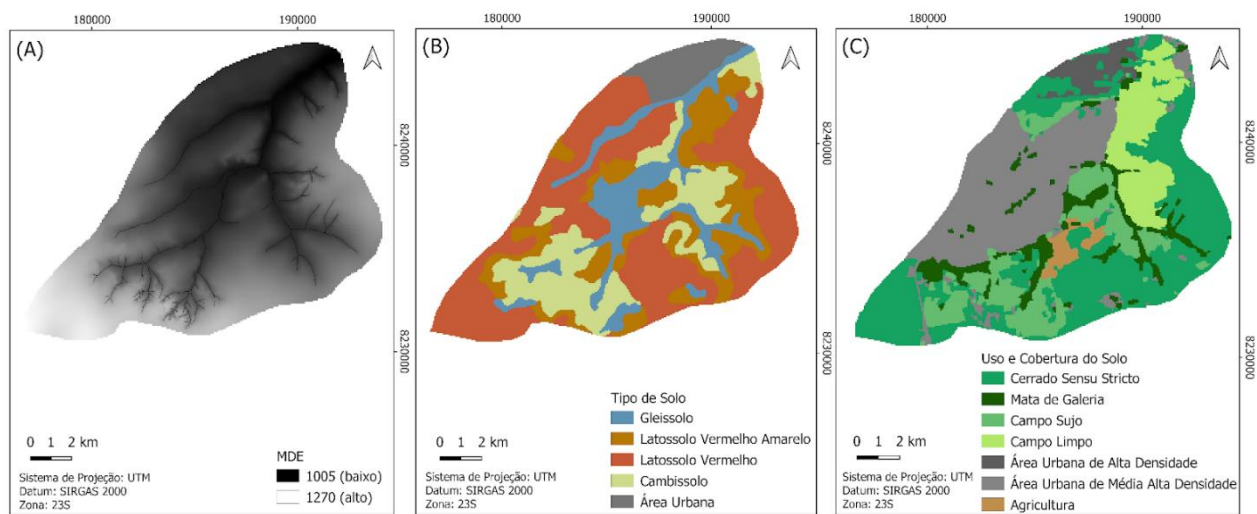
Na área de estudo em questão também estão presentes mais de 20 espécies ameaçadas, como *Simpsonichthys boitonei*, mais conhecido como Pirá-Brasília, espécie endêmica de peixe encontrada somente no córrego Taquara. Outra espécie ameaçada que está protegida pela ARIE é a perereca-de-folhagem-com-perna-reticulada, ou *Phyllomedusa ayeaye*.

3.2 Levantamento de Dados

A modelagem e a geração dos mapas foram realizadas com o ArcSWAT 2012 no ArcGIS 10.3 e a calibração do modelo foi feita pelo software SWAT CUP 5.1.6. O SWAT exige alguns dados de entrada da área de estudo para realizar as simulações. São eles: o modelo digital de terreno; o mapa de uso e ocupação do solo; o mapa pedológico; e dados climatológicos como precipitação, umidade relativa, radiação solar, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento. Para a calibração do modelo, no caso deste trabalho que é voltado para a simulação da vazão, também são necessários dados hidrológicos da vazão ao longo dos anos de uma ou mais estações dentro da área de estudo, no caso a bacia do Gama em que a ARIE se localiza.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 2A) foi gerado por meio das curvas de nível da TERRACAP de 2009 (equidistância de 5m), com a ferramenta Create TIN e TIN To Raster. Foram adotadas três classes de declividade para a bacia do Gama: 0% a 8%, de 8% a 20% e de 20% até o valor máximo (Figura 2).

Figura 2: Modelo Digital de Elevação (A), Mapas das Classes de Solos (B) e Uso e Cobertura do Solo (C) da Bacia do Gama usados como dados de entrada no modelo SWAT.



Fonte: Elaborado pela autora

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Figura 2B) foi realizado utilizando a imagem de satélite do CBERS 04A da data de julho de 2021.

A modelagem foi feita somente até o ano de 2017, pois foi difícil encontrar os dados climatológicos de 2018 a 2021 sem inconsistências. A classificação da imagem foi supervisionada, utilizando o *Image Classification* do ArcGIS. A escolha das classes foi baseada na base de dados modificada do SWAT por Ferrigo (2014) para o bioma Cerrado e nos mapas de uso e ocupação do solo da bacia do Gama de Ferreira (2018) e Ferreira et al (2021). Foram elas: Cerrado *Sensu Stricto* (PRES), Vegetação Ripária (MATA), Campo Sujo (CERR), Campo Limpo (CAMP), Área Urbana de Alta Densidade (UAAD) e Área Urbana de Média Alta Densidade (UMAD) e Agricultura (AGRL).

O Mapa Pedológico (Figura 2C) utilizado foi adaptado de Reatto et al (2003), da Embrapa Cerrados. Foi feito o download do arquivo shapefile, realizado o recorte da área de interesse com a ferramenta Clip e depois transformado para raster por meio do Polygon To Raster. As classes de solos foram adaptadas às que tinham na base de dados da Ferrigo (2014) para solos do Cerrado, portanto os solos hidromórficos da ARIE foram substituídos por gleissolo (GX) e o trecho de plintossolo foi substituído por Latossolo Vermelho pois também não foi encontrada esta classe na base de dados, apenas uma pequena área latossolo vermelho. Portanto, o mapa pedológico ficou com as classes: gleissolo (GX); latossolo vermelho (LV)/latossolo vermelho amarelo (LVA); cambissolo (CX); e área urbana (URBAN).

Os dados climatológicos de umidade relativa, radiação solar, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento foram obtidos a partir da estação meteorológica do Laboratório Agroclimatológico da Fazenda Água Limpa (FAL) da UnB. Os dados de precipitação foram obtidos também pela estação meteorológica da FAL, mas foram incluídos dados de outras estações pluviométricas: A Estação Área Alfa, ETA Cabeça de Veado e ETE Sul (Figura 1). Esses dados de precipitação foram obtidos pelo site *Hidroweb* da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Os dados são diários e são do período de 2001 a 2017.

Os dados de vazão utilizados para a calibração do modelo foram coletados pela Estação Gama Base, da CAESB. O período é o mesmo dos dados climatológicos, de 2001 a 2017.

Em seguida da entrada desses dados iniciais, o modelo gerou as Unidades de Resposta Hidrológica (HRU), que representam áreas com características físicas iguais e resposta hidrológica semelhante. A partir dessas HRU, o modelo simulou as vazões da bacia.

3.3 Calibração do Modelo

Após a simulação no *ArcSWAT*, o modelo foi calibrado com o *software* SWAT CUP, pois ao comparar as vazões geradas e as vazões observadas pela CAESB, percebeu-se que o modelo não foi capaz de simular com eficiência a vazão da bacia do Gama sem a calibração dos parâmetros para bacias no Brasil e no Cerrado.

Para os procedimentos de calibração, optou-se pelo método SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting*) no SWAT CUP e os parâmetros utilizados para a calibração foram baseados em Ferreira et al. (2021) e podem ser visualizados no Quadro 1, assim como o método usado, os valores máximos e mínimos, e os melhores valores encontrados para cada parâmetro na calibração.

Quadro 1: Parâmetros, métodos, valores máximos e mínimos utilizados na calibração do modelo e o melhor valor encontrado com a calibração.

parâmetros	método	valor mínimo	valor máximo	melhor valor da calibração
v__ALPHA_BF.gw	substituição	0	1	0.682465
v__CH_K2.rte	substituição	-0.01	500	159.255447
v__CH_N2.rte	substituição	-0.01	0.3	-0.005293
r__CN2.mgt	multiplicação	0.1	1.5	0.065447
v__DEEPST.gw	substituição	0	50	12.952101
v__ESCO.bsn	substituição	0	1	0.67249
v__GW_DELAY.gw	substituição	0	500	208.894211
v__GWQMN.gw	substituição	0	5000	1333
v__GW_REVAP.gw	substituição	0.02	2	1.716964
v__ALPHA_BNK.rte	substituição	0	1	0.106856
v__CANMX.hru	substituição	0	100	24.913292
v__GWHT.gw	substituição	0	25	10.434837
v__OV_N.hru	substituição	0.01	30	26.834244
v__RCHRG_DP.gw	substituição	0	1	0.338549
v__REVAPMN.gw	substituição	0	500	321.893707
v__SHALLST.gw	substituição	0.05	50000	1428
v__SURLAG.bsn	substituição	0	50	40.722805
v__EPCO.bsn	substituição	0	1	0.55074

Fonte: Elaborado pela autora

O período usado na calibração foi de 2001 a 2009, sendo o período de 2001 a 2003 como aquecimento do modelo. A validação foi realizada para os anos de 2010 a 2017, visto que havia inconsistência nos dados de 2018 a 2021, de forma que o desempenho do modelo foi prejudicado significativamente (BRESSIANI et al., 2015).

3.4 Cenários Simulados

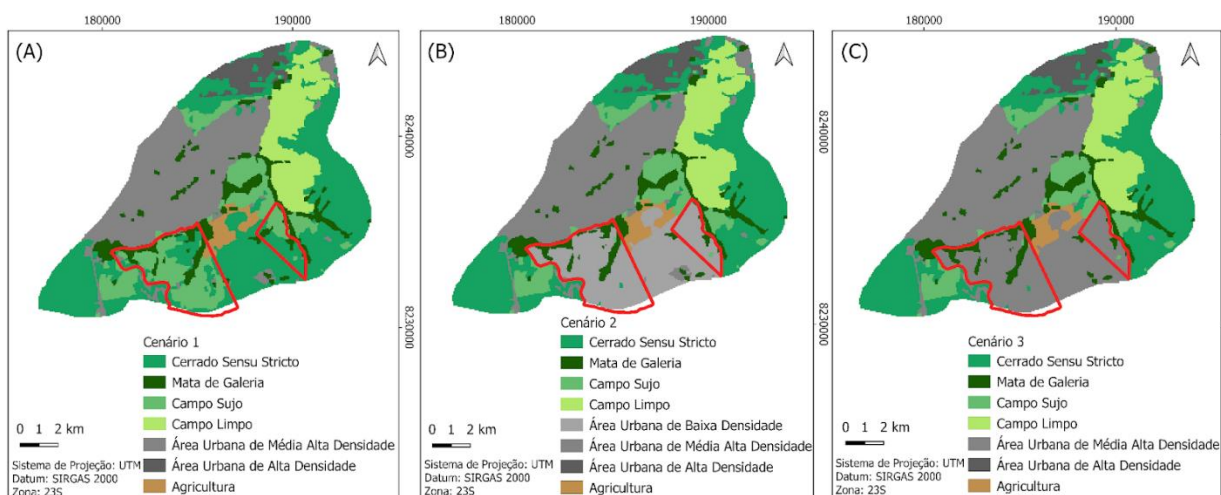
Foram simulados três cenários de uso e ocupação do solo da bacia do Gama, onde a ARIE Capetinga Taquara se localiza, sendo:

Cenário 1: Uso e ocupação do solo real de 2022, considerando a existência da ARIE Capetinga Taquara. Esse cenário foi simulado como base para posteriormente gerar os cenários hipotéticos sem a Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara e compará-los (Figura 3A);

Cenário 2: Uso e ocupação do solo de 2022, porém sem a existência da unidade de conservação ARIE Capetinga Taquara. Nesse cenário as áreas dos dois polígonos da ARIE e o corredor ecológico entre eles que perpassa a FAL foram trocados pela classe Área Urbana de Baixa Densidade (UBBD), isto é, uma área com menos de 30% de impermeabilização (Figura 3B);

Cenário 3: Uso e ocupação do solo de 2022, porém sem a existência da unidade de conservação ARIE Capetinga Taquara. Nesse cenário as áreas dos dois polígonos da ARIE e o corredor ecológico entre eles que perpassa a FAL foram trocados pela classe Área Urbana de Média Alta Densidade (UMAD), ou seja, uma área de 50 a 70 % de impermeabilização (Figura 3C).

Figura 3: Cenários Simulados. Cenário 1- Uso do Solo da bacia do Gama em 2021 (A); Cenário 2- Substituição da ARIE e seu corredor ecológico para Área Urbana de Baixa Densidade (B); Cenário 3- Substituição da ARIE e seu corredor ecológico para Área Urbana de Média Alta Densidade (C).



Fonte: Elaborado pela autora.

A ARIE junto ao corredor ecológico que liga seus dois polígonos têm uma área de aproximadamente 27 km² e corresponde a 18% da área da bacia do Gama. Em todos os cenários, a vegetação ripária (Mata de Galeria) foi mantida, sendo considerada Área de Preservação Permanente.

4. Resultados e Discussão

4.1 Calibração e Validação

O melhor valor encontrado do coeficiente de eficiência de Nash Sutcliffe (ENS) para a calibração (2004 a 2009) foi de 0.60 e R^2 igual a 0.63 (Quadro 2). Segundo Moriasi et al (2007), os valores de ENS são satisfatórios quando estão acima de 0.50, portanto o valor encontrado na calibração foi satisfatório. Entretanto, para o período de validação (2010 a 2017), o valor de ENS foi de 0.41 e do R^2 de 0.44, por isso foi insatisfatório.

Os valores insatisfatórios encontrados na validação podem ter ocorrido pois o período escolhido para a calibração não abrangeu uma variedade suficiente de condições hidrológicas para contemplar de forma satisfatória as condições presentes no período de validação (MORIASI et al., 2008).

Quadro 2: Melhores valores encontrados para o coeficiente de eficiência Nash Sutcliffe (ENS) e para o coeficiente de determinação (R^2) nos períodos de calibração e validação do modelo SWAT.

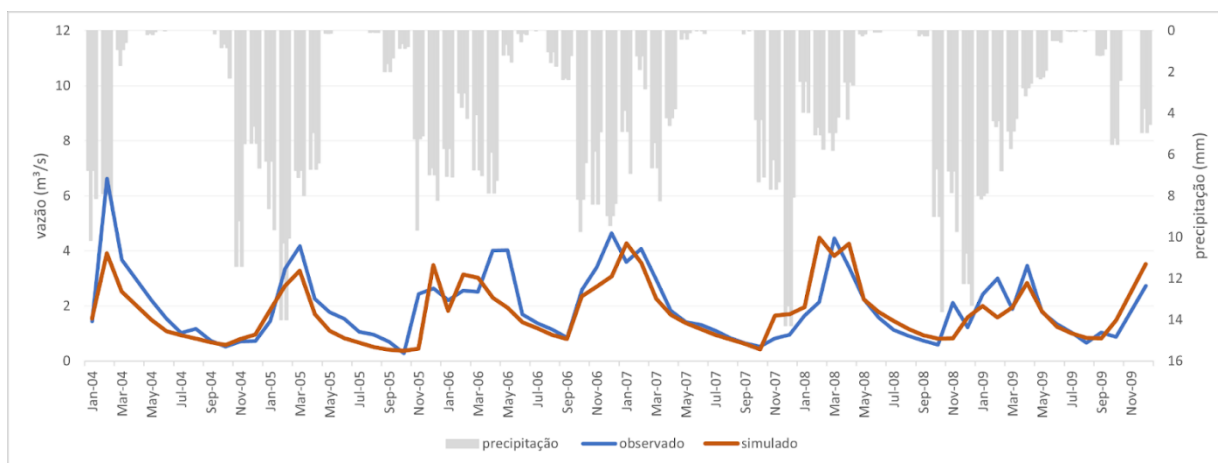
	NSE	R^2
calibração	0.6	0.63
validação	0.41	0.44

Fonte: Elaborado pela autora

No geral, o modelo se ajustou bem ao período de recessão (Figuras 4 e 5), no entanto, ao contrário da maioria dos estudos (SALLES, 2012; CASTRO, 2013; FERRIGO, 2014; MOTA, 2015; FERREIRA, 2016), a calibração subestimou os picos de vazão (NUNES, 2016), sendo necessários mais estudos para a verificação da necessidade de calibração de mais parâmetros relacionados ao escoamento superficial, dado que foram calibrados diversos parâmetros relacionados às águas subterrâneas.

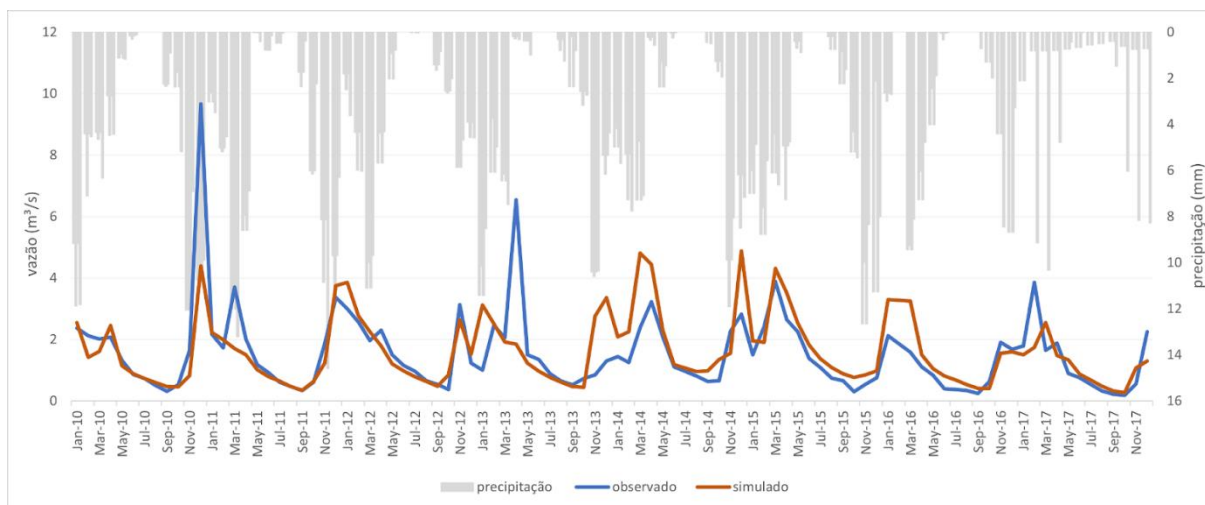
Os picos observados no período de calibração foram maiores que os picos dos anos da validação, com exceção de um específico em 2010, que é maior que todos os observados no período de calibração, chegando a quase 10 m³/s (Figura 5). Essa mudança de comportamento na série fluviométrica pode afetar o desempenho do modelo na validação, já que o ajuste do modelo ao comportamento no primeiro período (calibração) não condiz com o do segundo período (validação). Isso pode estar associado tanto a mudanças naturais quanto a inconsistências, erros e ou incertezas nos dados de entrada.

Figura 4: Vazão observada, simulada e precipitação mensal após calibração usando o modelo SWAT no período de 2004 a 2009.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5: Vazão observada, simulada e precipitação mensal após validação usando o modelo SWAT no período de 2010 a 2017.



Fonte: Elaborado pela autora.

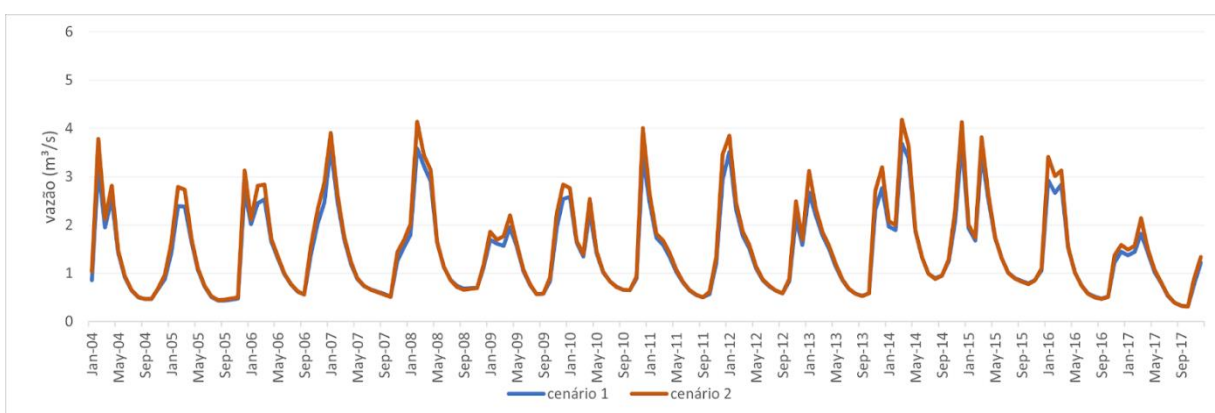
Tanto na calibração quanto na validação, o SWAT não simulou de forma eficaz os picos maiores que $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figuras 4 e 5). Ou seja, o modelo tende a subestimar os picos. Enquanto a média da vazão observada é de $1.72 \text{ m}^3/\text{s}$, a da vazão simulada é $1.39 \text{ m}^3/\text{s}$, o valor máximo observado foi de $9.66 \text{ m}^3/\text{s}$ e o máximo simulado foi apenas $3.71 \text{ m}^3/\text{s}$. Tal fato pode estar relacionado a inconsistência e incertezas embutidas nos dados meteorológicos e fluviométricos utilizados (BRESSIANI, 2015).

Percebe-se também que na validação o modelo superestima os picos menores que $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 5), provavelmente pelo fato citado anteriormente, de que os picos no período de calibração são em média maiores que os do período de validação.

4.2 Comparação dos Cenários Simulados

Ao comparar os cenários 1 e 2 notou-se que para o cenário 2 houve aumento dos picos de vazão, em relação ao cenário 1 (Figura 6). Em média, a vazão aumentou em 4.7%, porém a maior diferença percentual entre os valores das vazões dos dois cenários é de 18%. Isto é, a substituição da área de cerrado da ARIE para uma área urbana de baixa densidade, pode aumentar a vazão em 18%.

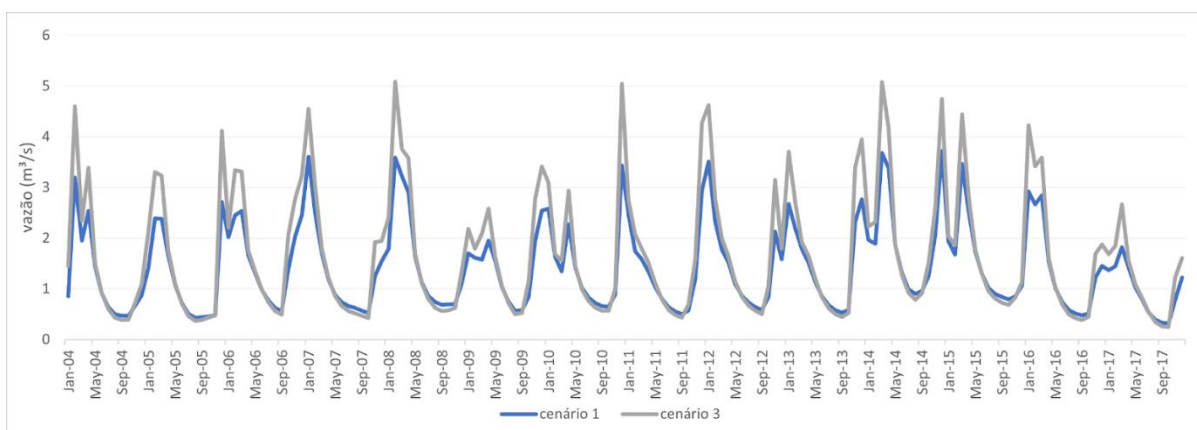
Figura 6: Vazão simulada a partir dos cenários 1 (uso do solo da bacia do Gama em 2021) e 2 (substituição da ARIE e do seu corredor ecológico por Área Urbana de Baixa Densidade) no período de 2004 a 2017.



Fonte: Elaborado pela autora

A média da vazão simulada no cenário 3 foi de 1.67 m³/s. A diferença média entre esses dois cenários foi de aproximadamente 5.85%. Portanto, no cenário 3, a vazão é em média 5% mais elevada que no cenário 1. Observa-se também que há uma diferença maior entre os cenários 1 e 3 do que entre o cenário 1 e 2 (Figuras 6 e 7).

Figura 7: Vazão Simulada a partir dos cenários 1 (uso do solo da bacia do Gama em 2021) e 3 (substituição da ARIE e seu corredor ecológico por Área Urbana de Média/Alta Densidade).

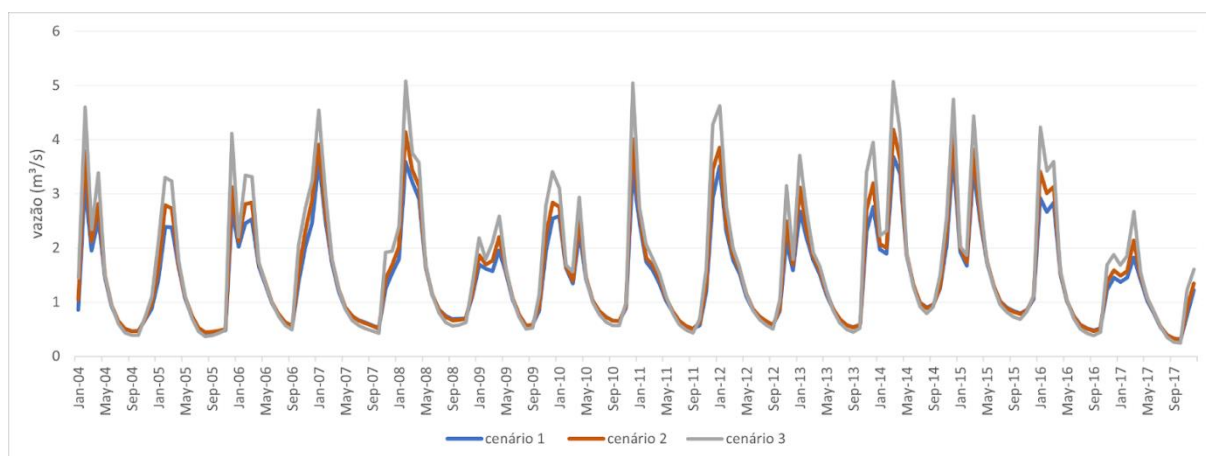


Fonte: Elaborado pela autora.

O aumento da vazão nos dois cenários de substituição da ARIE por áreas urbanas ocorre devido ao processo de impermeabilização do solo, que obstrui a infiltração da água e provoca o aumento do volume de água que esco superficialmente, elevando os picos de vazão, ou seja, o volume de água que passa pelo rio por unidade de tempo (TUCCI, 2000).

Esse processo é diretamente influenciado pela redução das áreas verdes e o crescimento da área urbana (BIANCHI et al., 2012; SANCHES, 2021). Com isso, houve um aumento da vazão na seguinte sequência, para os cenários estudados, cenário 3 > cenário 2 > cenário 1 (Figura 8), ou seja, quanto maior a impermeabilização, maior a vazão no curto prazo (HAMMER, 1972; MARSALEK et al., 1989; POFF, 1997; MOTA, 2015).

Figura 8: Vazão simulada a partir dos cenários 1 (uso do solo da bacia do Gama em 2021), 2 (substituição da ARIE e seu corredor ecológico para Área Urbana de Baixa Densidade) e 3 (substituição da ARIE e seu corredor ecológico para Área Urbana de Média Alta Densidade).



Fonte: Elaborado pela autora.

O alto escoamento superficial decorrente do processo de urbanização gera erosão e aumenta o processo de assoreamento dos rios, principalmente quando há ausência total de vegetação nas margens dos rios. Além disso, o alto fluxo de água que esco superficialmente carrega sedimentos naturais e nutrientes, mas também pode carregar resíduos urbanos e substâncias tóxicas para os rios, prejudicando a qualidade da água (MACHADO et al., 2003; SHIBATTA, 2005; BLEICH, 2009; SANCHES, 2021).

A substituição da vegetação pela área urbana também reduz a segurança contra eventos climáticos extremos, cada vez mais frequentes com as mudanças climáticas, pois permite o maior fluxo de escoamento superficial e, portanto, aumenta as chances de ocorrerem enxurradas

e alagamentos em épocas de chuvas, prejudicando principalmente comunidades que vivem em situação de vulnerabilidade social (PAVIANI; BRANDÃO, 2018; GIOVENARDI, 2018; SILVA, 2022).

A vazão é também peça chave para os ecossistemas aquáticos e conseqüentemente terrestres, visto que possuem enorme interação entre si (PAYNE, 1986). Os impactos nas mudanças da vazão afetam amplos grupos, incluindo plantas ribeirinhas, invertebrados e peixes, muitas vezes bases da cadeia alimentar (BUNN; ARTHINGTON, 2002).

As espécies desenvolveram estratégias evolutivas para os processos naturais de variações na vazão e é comum que um período beneficie mais uma espécie que outra, quando há equilíbrio. Apesar de o regime hidrológico natural prover aos ecossistemas uma mistura de anos bons e ruins para cada espécie, quando há mudanças no regime de vazão de forma rápida, como no processo de urbanização, as espécies não têm tempo para se adaptar ao novo ambiente e à dinâmica de vazão, causando desequilíbrios no ecossistema (BUNN; ARTHINGTON, 2002). Uma grande cheia, por exemplo, pode beneficiar espécies de peixes que se desenvolvem em planícies de inundação, mas pode prejudicar espécies de insetos e invertebrados cujas larvas não sobrevivem a altas velocidades da água. Se as cheias ocorrem de forma desproporcional a outros regimes, a redução drástica da reprodução de espécies de insetos pode impactar toda a cadeia trófica a eles relacionada (BUNN; ARTHINGTON, 2002; BLEICH et al., 2009).

No longo prazo, com a contínua redução da infiltração no solo decorrente da impermeabilização urbana, o nível do lençol freático e dos aquíferos tende a diminuir, reduzindo o fluxo de base e afetando o abastecimento dos rios pelas nascentes, podendo diminuir significativamente a vazão dos mesmos em períodos de estiagem (SILVA, 2019; NUNES, 2016).

Os ecossistemas dependentes do lençol freático são, desse modo, afetados. Os campos de murundus que ocorrem próximos às nascentes da ARIE Capetinga Taquara e são associados à saturação da água no solo, que podem parar de existir em cenários com redução do nível da água subterrânea (BAPTISTA et al., 2013; BANCO MUNDIAL, 2003). Esses campos são considerados Área de Preservação Permanente, portanto são protegidos pelo Código Florestal. Todavia, podem sofrer pressão com mudanças no uso do solo à sua volta, como ocorrem nos cenários simulados e em outras paisagens lânticas próximas à ARIE Capetinga Taquara, como no Núcleo Rural Vargem Bonita, que faz fronteira com a bacia do Gama (IBRAM, 2014; RIBEIRO et al., 2018).

As espécies que dependem dos campos de murundus, veredas, brejos e poças temporárias podem, portanto, gerar desequilíbrios nos ecossistemas, por serem afetadas com as

secas não naturais causadas pelo rebaixamento do lençol freático. Esse desequilíbrio ocorre principalmente por essas áreas serem ambientes com relevância ecológica, funcionando como local de pouso, nidificação e alimentação para fauna terrestre e aquática (FONSECA, 2006). O pirá-brasília (*Simpsonichthys boitonei*), peixe raro e endêmico da ARIE, que vive em áreas de vereda e poças temporárias do córrego Taquara já se encontra ameaçado de extinção devido ao desmatamento e a poluição de seu ambiente natural (COSTA, 2002; SHIBBATA, 2005).

Essas alterações na vazão e no uso e cobertura do solo da bacia podem, ao longo do tempo, expulsar ou extinguir espécies mais raras e especialistas e substituí-las por espécies generalistas, tornando as comunidades cada vez mais parecidas e homogêneas (VITULE, 2012; PETSCH, 2018). A perda de heterogeneidade das comunidades é problemática pois, por perderem diversidade e por terem menor variabilidade genética que comunidades heterogêneas, tornam-se mais vulneráveis aos distúrbios das pressões antrópicas, como as mudanças climáticas; além de reduzir as diversas funções e serviços que os ecossistemas provém para as comunidades humanas (OLDEN et al., 2004; SIQUEIRA et al., 2015).

A menor infiltração da água no solo reduz também a disponibilidade de água para a vegetação que resta nas áreas urbanas, o que afeta, portanto, a produtividade primária dos ecossistemas, assim como a evapotranspiração, a qual influencia o microclima e regula a estação chuvosa, podendo afetar tanto a população do DF quanto os ecossistemas (COSTA; PIRES, 2010; SANCHES, 2021).

Considerando as características do Cerrado e da situação do DF de baixa segurança hídrica (ANA, 2010), a redução da vazão nos períodos de estiagem é preocupante, pois o abastecimento do Lago Paranoá é prejudicado, afetando os serviços que o mesmo provê para a população, como geração de energia, abastecimento de água, controle do microclima e lazer (PIRES, 2004).

A continuidade e a proteção da Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara têm, com isso, elevada importância, pois a mesma permitiu o desenvolvimento e a conservação de faixas com elevada heterogeneidade florística e biodiversidade de fauna, além de possuir grande valor biodiverso por representar os principais tipos de ecossistemas cerratenses de Brasília (EITEN, 1984; LEAL; CARTAGENES, 2021). Além disso, a integridade das águas superficiais e subterrâneas do Cerrado é relevante pois as mesmas encontram-se, em sua maioria, a montante dos principais rios brasileiros, portanto as alterações sofridas nos recursos hídricos cerratenses tem potencial para afetar não só os ecossistemas e comunidades humanas locais, mas de todo o País (GALVÃO, 2008; TUCCI et al., 2003b).

5. Conclusão

O modelo SWAT precisou de calibração para simular de forma aceitável o comportamento da vazão da bacia do Gama. Na calibração o valor de ENS foi de 0.60 e na etapa de validação foi de 0.41. Assim, considera-se que na calibração o valor de ENS foi satisfatório, porém, no de validação não foi satisfatório, por ser menor que 0.50.

O modelo, no geral, subestimou os picos de vazões da bacia, tendência contrária a maioria dos trabalhos realizados no Cerrado, o que evidencia a importância de mais estudos para a verificação da necessidade de calibração de mais parâmetros relacionados ao escoamento superficial, considerando que foram calibrados diversos parâmetros relacionados às águas subterrâneas.

Apesar de o modelo ter subestimado os picos de vazão na calibração, os cenários hipotéticos simulados seguiram o padrão esperado de substituição de Cerrado por área urbana. Isto é, quanto maior e mais densa a área urbana, maior a impermeabilização do solo e maior a vazão no período de chuva. A partir dessa tendência no período de chuva, infere-se que no longo prazo a vazão pode diminuir, devido à baixa recarga do lençol freático ao longo do tempo, provocada pela impermeabilização, e conseqüentemente menor abastecimento dos rios pelas nascentes.

6. Referências Bibliográficas

AGUIAR, Renata Diniz. USO DO SOLO, COBERTURA VEGETAL E LIMITES DA ÁREA DE RELEVANTE INTERESSE ECOLÓGICO DO CAPETINGA/TAQUARA (FAZENDA ÁGUA LIMPA, UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA): SUBSÍDIOS AO MANEJO E PROPOSTA DE RECATEGORIZAÇÃO. Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília-DF, Dezembro de 2015.

AGÊNCIA BRASILIA. Reservatórios do DF tem nível de água monitorado permanentemente. 2022. Disponível em:

<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2022/10/04/16-8r-reservatorios-do-df-tem-nivel-de-agua-monitorado-permanentemente/>. Acesso em: setembro de 2022.

ALMEIDA, Lizane; SERRA, Juan Carlos Valdés. **Rev. FAE**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 129 - 137, jan./jun. 2017.

ANA. “Diagnóstico da situação do abastecimento urbano”. 2010.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. **Serviços Ecosistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano**. Universidade Estadual de Campinas, 2009.

Arnold, J. G., Kinity, J. R. Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E.B., Neitsch, S. L. Input/Output Documentation Version 2012. **Texas Water Resources Institute**. 2012b.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos Hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Rev.FAE**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 129 - 137, jan./jun. 2017.

BAPTISTA, G. M. de M.; CORRÊA, R. S.; SANTOS, P. F dos. Campos de murundus da fazenda água limpa da unb: hipóteses de origem. **Revista do Ceam**, v. 2, n. 1, jan./jun. 2013.

BANCO MUNDIAL. Water Resource and Environment. Technical Note C1. 2003.

BALDISSERA, Gisele Cristina. APLICABILIDADE DO MODELO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL), PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ/MT. Universidade Federal Do Mato Grosso. Programa de Pós Graduação em Física e Meio Ambiente do Instituto Ciências Exatas e da Terra. 2005.

BARRELLA, Walter; PETRERE, Miguel Jr.; SMITH, Welber Senteio; MONTAG, Luciano Fogaça de Assis. AS REAÇÕES ENTRE AS MATAS CILIARES, OS RIOS E OS PEIXES. **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2001.

BIANCHI, R. C.; RIZZI, N. E.; GUIMARÃES, R. Z.; SCHECHI, R. G.. Estimativa da Vazão Máxima da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri através do Método de Ven Te Chow. **Raega – O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n.25, p.164-185, 2012.

BOURAOUI, F.; VACHAUD, G.; HAVERKAMP, R. et al. A distributed physical approach for surface-subsurface water transport modeling in agricultural watersheds.

Journal of Hydrology, v.203, p.79-92, 1997.

BLAINSKI, E.; SILVEIRA, F. A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L. H. P.; VIANNA, L. F. Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Agropecuária Catarinense**, v.24, n.1, mar. 2011.

BLAINSKI, Éverton; ACOSTA, Eileen; NOGUEIRA, Patrícia Carvalho do Prado. Calibração e Validação do Modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Rev. Ambient. Água** 12 (2). Abr 2017.

BLEICH, Monica Elisa; SILVA, Carlos José da; ROSSETE, Amintas Nazareth. Variação temporal e espacial das características limnológicas de um ecossistema lótico no Cerrado do Mato Grosso. **Revista Biotemas**, 22 (2), junho de 2009.

BRAGA, S. E.; CALDAS, A. M.; RIZZI NETO, E. .; SILVA, L. J. de S. .; PERÔNICO, A. M. B. L. .; WANDERLEY, R. A.; FREITAS, P. M. L. . de; LIMA, J. R. de; CUNHA, C. R. R. O. da; ABREU, B. S. Environmental conflict of land use in Tapacurá-PE hydrographic basin . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e52310212833, 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: L9985 (planalto.gov.br). Acesso em: outubro de 2022.

BRASIL. **LEI nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do

art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Acesso em: outubro de 2022.

BRASIL. **LEI nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: L12651 (planalto.gov.br). Acesso em: novembro de 2022.

BRASIL. **Lei Complementar nº 827, de 22 de Julho de 2010.** Regulamenta o art. 279, I, III, IV, XIV, XVI, XIX, XXI, XXII, e o art. 281 da Lei Orgânica do Distrito Federal, instituindo o Sistema Distrital de Unidades de Conservação da Natureza – SDUC, e dá outras providências. Disponível em: Lei Complementar 827 de 22-07-2010 Regulamenta o art. 279 e art. 281 da LO-DF (fazenda.df.gov.br). Acesso em: janeiro de 2023.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002.**

BRASIL. **DECRETO DE 10 DE JANEIRO DE 2002.** Cria a Área de Proteção Ambiental - APA do Planalto Central, no Distrito Federal e no Estado de Goiás, e dá outras providências.

BRASIL. **DECRETO Nº 91.303, DE 03 DE JUNHO DE 1985.** Cria a Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara e dá outras providências.

BRASIL. **DECRETO Nº 89.336, DE 31 DE JANEIRO DE 1984.** Dispõe sobre as Reservas Econômicas e Áreas de Relevante Interesse Ecológico, e dá outras providencias.

BRASIL. **DECRETO nº 9.417 de 21 Abril de 1986.** Cria a Área de Proteção Ambiental das bacias do GAMA e CABEÇA DE VEADO, e dá outras providências. Disponível em: Decreto 9417 de 21/04/1986 (sinj.df.gov.br). Acesso em: novembro de 2022.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002.

BRESSIANI, D. A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMÁ, N. B.; MEDIONDO, E. M. Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **Int J Agric & Biol Eng.** Vol. 8 No.3. June, 2015.

CAMELO, Ana Paula Silva; SANCHES, Keila Lima. O pagamento por serviços ambientais como ferramenta para a gestão de recursos hídricos. **XII SRHNE - SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE.** 2014.

CARDOSO, E.; MORENO, M. I. C.; GUIMARÃES, A. J. M. Estudo fitossociológico em área de cerrado sensu stricto na estação de pesquisa e desenvolvimento ambiental galheiro - perdizes, MG. **Caminhos de Geografia** 3(5). 2002.

CARMO, Laila Gonçalves do; FELIPPE, Miguel Fernandes; JUNIOR, Antonio Pereira Magalhaes. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO ENTORNO DE NASCENTES: CONFLITOS, LACUNAS E ALTERNATIVAS DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA. ISSN: 1984-8501 Bol. Goia. Geogr. (Online). Goiânia, v. 34, n. 2, p. 275-293, maio/ago. 2014.

CASCON, Leonardo De Souza. APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO NO ZONEAMENTO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DA ARIE CAPETINGA/TAQUARA - DF. MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL- Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília - DF. 2016.

CASTRO, K. B. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do Cerrado intensamente monitorada.** xix, 122 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências)— Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

COSTA, Graciete Guerra da. **As Regiões Administrativas do Distrito Federal de 1960 a 2011**. Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Universidade de Brasília. 2011.

COSTA, Andre Felipe Sosnierz; TEIXEIRA, Caio Mendes; SILVA, Crislaine Santos; NASCIMENTO, Jéssica Alves Do; OLIVEIRA, Mariana Menezes; QUEIROZ, Yasmin De Oliveira; SILVA, Michelle De Jesus. **Recursos Hídricos**. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas | Sergipe | v. 1 | n.15 | p. 67-73 | out. 2012.

COSTA, W.J.E.M. **Peixes anuais brasileiros: diversidade e conservação**. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná, 238p. 2002.

COSTA, Marcos Heil; PIRES, Gabrielle Ferreira. “Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation”. **International Journal of Climatology** 30(13):1970–79. 2010.

CODEPLAN. **Evolução dos movimentos migratórios para o Distrito Federal: 1959 - 2010**. Brasília, maio de 2013.

DALY, H.E., FARLEY, J. Ecological Economics: principles and applications. **Island Press**, Washington, DC, 2004.

DE MELO, Raymeson Rodrigues. **Dinâmica de ocorrência de incêndios florestais em unidade de conservação influenciada por diversos usos e cobertura do solo : APA Gama e Cabeça de Veado – DF**. 2018.

DIAS, Lidiane Tomaz. **Modelagem Dinâmica Espacial do Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá-DF: 1998-2020**. Dissertação de Mestrado da Pós Graduação em Geociências Aplicadas da Universidade de Brasília-DF. 2011.

DIEGUES, Antônio Carlos. **ÁGUA E CULTURA NAS POPULAÇÕES TRADICIONAIS BRASILEIRAS**. I Encontro Internacional: Governança da Água, São Paulo, novembro de 2007.

DRUMMOND, G.M., & ANTONINI, Y. (2006). A contribuição da Fundação Biodiversitas para implementação do artigo 7º da Convenção sobre Diversidade Biológica. In: N. Bensusan et al. (Orgs.) Biodiversidade: para comer, vestir ou passar no cabelo? Para mudar o mundo! (pp. 31-48). São Paulo, Peirópolis.

BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management* 30, 492-507. 2002.

DOYLE, Patrícia Maria Machado Colela. **Reserva da Biosfera do Cerrado no Distrito Federal**. 2009.

Dupasa, R.; Delmasc, M.; Doriozd, J.M.; Garniere, J.; Moatarf, F.; Gascuel-Odouxa, C. Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. *Ecological Indicators* 48, 396-407. 2015.

EMBRAPA. Bioma Cerrado. Disponível em: Bioma Cerrado - Portal Embrapa. Acessado em julho de 2022.

EMBRAPA. Cerrado: ecologia e flora. Portal Embrapa. Volume 1. Unidade Embrapa Cerrados. 2008.

EMBRAPA. Mapa de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. 2018. Disponível em: Mapa de reconhecimento dos solos do Distrito Federal — geoinfo.cnps.embrapa.br. Acessado em: 01/03/2023.

EMERY, E. de O.; BROWN JUNIOR, K. S.; PINHEIRO, C. E. G. As borboletas (Lepidoptera, Papilionoidea) do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Entomologia*, Curitiba: Sociedade Brasileira de Entomologia, v. 50, n. 1, p. 85-92, jan./mar. 2006.

EITEN, G. Vegetation of Brasília. *Phytocoenologia* Band 12 Heft 2-3 (1984), p. 271 - 292. Stuttgart-Braunschweig, November 8, 1984.

FAL. Universidade de Brasília. Disponível em: <http://www.fal.unb.br>. Acessado em: 03 de janeiro de 2023.

FELFILI, J.M.; SANTOS, A.A.B.; SAMPAIO, J.C. **Flora e Diretrizes ao Plano de Manejo da APA Gama e Cabeça de Veado**. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília, 2003.

FERREIRA, Renato Borges. **ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO DA APA DAS BACIAS DOS RIBEIRÕES DO GAMA E CABEÇA DE VEADO, OBJETIVANDO VERIFICAR A CONFORMIDADE DA APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DO TRIÊNIO 2007/2010**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL. Brasília, DF. 2014.

FERREIRA, Raina Santos; UAGODA, Rogério Elias Soares. Análise da predição do balanço hídrico da bacia do ribeirão do Gama-DF através do modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.10, n.03 880-893. 2017.

FERREIRA, Amanda do Nascimento; ALMEIDA, Andréia de; KOIDE, Sérgio; MINOTI, Ricardo Tezini; SIQUEIRA, Mario Benjamin Baptista de Siqueira. Evaluation of Evapotranspiration in Brazilian Cerrado Biome Simulated with the SWAT Model. **Water** 2021, 13, 2037. <https://doi.org/10.3390/w13152037>. 2021.

FERRIGO, Sara. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS PARÂMETROS DO MODELO SWAT OBTIDOS POR CALIBRAÇÃO AUTOMÁTICA – ESTUDO DE CASO DA BACIA DO LAGO DESCOBERTO - DF. PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS - Universidade de Brasília. BRASÍLIA/DF, MARÇO DE 2014.

FELIPPE, Miguel Fernandes; JUNIOR, Antônio Pereira Magalhães. CONSEQUÊNCIAS DA OCUPAÇÃO URBANA NA DINÂMICA DAS NASCENTES EM BELO HORIZONTE-MG. Mestrando em Geografia e Análise Ambiental – IGC/UFMG. 2007.

Fia, R.; Tadeu, H.C.; Menezes, J.P.C.; Fia, F.R.L.; Oliveira, L.F.C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 20, 267 – 275. 2015.

FONSECA, Claudia Padovesi. **Caracterização dos ecossistemas aquáticos do Cerrado**. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília - DF. 2006.

GALVÃO, Deise Maria de Oliveira. Subsídios á determinação de vazões ambientais em cursos d'água não regulados: o caso do ribeirão Piripipau (DF/GO). Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais da Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. 2008.

GIOVENARDI, Eugênio. Água e População. Brasília em Debate - CODEPLAN. 2018.

HAMMER, TR. Stream channel enlargement due to urbanization. **Water Resources Research** 8: 1530-1540. 1972.

IBGE. Cidades e Estados - Distrito Federal. 2021. Disponível em: Distrito Federal | Cidades e Estados | IBGE. Acesso em: dezembro de 2022.

IBRAM-DF. Corredores Ecológicos do Distrito Federal. IBRAM-Superintendência de Gestão de Áreas Protegidas. 2018.

IBRAM. Instrução Nº 39 DE 21 de fevereiro de 2014. Disponível em: Instrução IBRAM Nº 39 DE 21/02/2014 - Estadual - Distrito Federal - LegisWeb. Acesso em: 14/04/2023.

ICMBIO. FITOFISIONOMIAS: Mata Ripária. 2023. Disponível em: ICMBio - Projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão - Fitofisionomias. Acessado em: 01/03/2023

JUNIOR, David Alcântara Meireles Pereira. **REDES DE POLÍTICAS PÚBLICAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO PLANALTO CENTRAL**. Instituto de Ciência Política da Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2014.

LANNA, Antônio Eduardo Leão; COLBACHINI, Maria Salete. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre,RS: **ABRH. Vol. 8**, n. 2, p. 149-160. 2003.

LEAL, Fernanda Martins; CARTAGENES, Rosa Cristina da Conceição. **SUBSÍDIOS À ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DA ARIE CAPETINGA/TAQUARA NA FAZENDA ÁGUA LIMPA** - UnB. 2021.

LEITE, Emerson Figueiredo; ROSA, Roberto. ANÁLISE DO USO, OCUPAÇÃO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMIGA, TOCANTINS. OBSERVATORIUM: **Revista Eletrônica de Geografia**, v.4, n.12, p. 90-106, dez. 2012.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; SILVA, Euzebio Medrado da. Análise da Situação dos Recursos Hídricos do Cerrado com Base na Importância Econômica e Socioambiental de Suas Águas. **II Simpósio Internacional Savanas Tropicais**. Embrapa Cerrados. 2008.

MACHADO, Ronalton; VETTORAZZI, Carlos Alberto; CRUCIANI, Délcio Eugênio. Simulação de Escoamento em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Volume 8 n.1. 147–155. 2003.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:727-733, 2003.

MARSALEK, J. Ng; H. Y. F. SIMULATION OF THE EFFECTS OF URBANIZATION ON BASIN STREAMFLOW. *Journal of the American Water Resources Association*, 25(1), 117–124. doi:10.1111/j.1752-1688.1989.tb05672.x. 1989.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT [MEA]. Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, D.C.: **Island Press**, 2005.

MEDEIROS, I.C. Modelagem espacial e temporal do balanço hídrico da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, 2017.

MORAES, Danielle Serra de Lima; JORDÃO, Berenice Quinzani. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Rev Saúde Pública*; 36(3):370-4. 2002.

MOTA, Nilo Moreira. MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIBEIRÃO DO GAMA UTILIZANDO O MODELO SWAT. Monografia para título de Bacharel em Engenharia Ambiental. Universidade de Brasília-DF. 2015.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. Van; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50, 885-900. 2008.

MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., Fonseca, G.A.B., Kent, J. Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. *Nature*. 403: 853–858, 2000.

NUNES, Gilliard. **APLICAÇÃO DO MODELO SWAT NO ESTUDO HIDROLÓGICO E DE QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO LAGO PARANOÁ - DF**. Dissertação de Mestrado submetida ao departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2016.

OLIVEIRA, M. C. DE. Vinte e quatro anos de sucessão vegetal na Mata de Galeria do córrego Capetinga, na Fazenda Água Limpa. PPGEFLTD – 014. Brasília, p. 174, 2010.

OLIVEIRA, Laís Thomazini. **APLICAÇÃO DO MODELO SWAT PARA SIMULAR VAZÕES EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA EM ARACRUZ, ES**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo. 2014.

PAVIANI, Aldo; BRANDÃO, Alexandre. **A crise e o consumo de água em Brasília**. CODEPLAN.2018.

Olden, J. D., Poff, N. R., Douglas, M. R., Douglas, M. E., Fausch, K. D.: Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. *Trends Ecol Evol* 19, 18-24. 2004.

PAYNE, A. I. **The ecology of tropical lakes and rivers**. John Wiley & Sons, Chichester. 1986.

PETSCH, Danielle Katharine. Homogeneização biótica em ambientes aquáticos continentais. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução - UFG. 2018.

PIRES, Viviane Azzolin de Carvalho. METODOLOGIA PARA APOIO À GESTÃO ESTRATÉGICA DE RESERVATÓRIOS DE USOS MÚLTIPLOS: O CASO DO LAGO PARANOÁ, NO DISTRITO FEDERAL . DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS. Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

POFF, N. LeRoy; ALLAN, J. David; BAIN, Mark B.; KARR, James R. ; PRESTEGAARD, Karen L.; RICHTER, Brian D.; SPARKS, Richard E.; STROMBERG, Julie C. **The Natural Flow Regime**. *BioScience*, Dec., 1997, Vol. 47, No. 11, pp. 769-784. 1997.

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. (orgs.) *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2ª ed. São Paulo: **Escrituras Editora**. p. 01-37. 2002.

RIBEIRO, M. L.; ROSA, J. W. C.; SANTOS, M. V dos. Subsídios à proteção aos ecossistemas aquáticos e à segurança hídrica no Distrito Federal. *Brasília em Debate - CODEPLAN*. 2018.

SALLES, L. **Calibração e validação do modelo Swat para a predição de vazões na Bacia do Ribeirão Pipiripau**. 2012. xv, 114 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SANCHES, Lara Lange. *Ecohidrologia terrestre do Cerrado: Síntese de evidências e investigação do papel de unidades de conservação na regulação hídrica*. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília. 2021.

SANTOS, Laércio Leal dos. **MODELOS HIDRÁULICOS-HIDROLÓGICOS: Conceitos e Aplicações**. RBGF- **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife-PE, Vol.2, n.03, 01-19. 2009.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. DE. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.8, p.826–834, 2010.

SANTOS, Diego Martins dos. **A História da Formação de Brasília como a Construção da Exclusão**. Instituto de Ciências Humanas, Departamento de História da Universidade de Brasília - UnB. 2016.

SILVA, J.F.C.B.C. Crise hídrica no abastecimento de água em campina grande: análise de cenários futuros no volume de água do reservatório Epitácio Pessoa entre 2020 e 2030. Tese de Doutorado em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2019.

SILVA, Luciene Pimentel da. **Hidrologia: engenharia e meio ambiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVA, L. P. E. Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá- João Pessoa. 2007. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

SILVA, Beatriz Furtunato da. Análise de inundações associadas a eventos extremos de chuva e a ocupação do solo: Caso da Bacia Hidrográfica Córrego Morro do “S” – São Paulo/SP. Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo. 2022.

Siqueira T., Lacerda C.G. & Saito V.S. (2015) How does landscape modification induce biological homogenization in tropical stream metacommunities? **Biotropica**, 47, 509–516. 2015.

SHIBATTA, Oscar A. Reprodução do pirá-brasília, *Simpsonichthys boitonei* Carvalho (Cyprinodontiformes, Rivulidae), e caracterização de seu habitat na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 22 (4). Dez 2005

TEODORO, Valter Luiz Lost; TEIXEIRA, Denilson; COSTA, Daniel Jadyr Leite; FULLER, Beatriz Buda. O CONCEITO DE BACIA HIDROGRÁFICA E A IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA PARA O ENTENDIMENTO DA DINÂMICA AMBIENTAL LOCAL. **REVISTA UNIARA**, n.20, 2007.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos distribuídos. Rhama , Porto Alegre, fev. 2010. Disponível em: <<http://rhama.net/wordpress/?p=134>>. Acesso em: 15 de agosto de 2022.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Org. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 668, 1998.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I; CORDEIRO NETO, O. M. (2003B). **Gestão da água no Brasil. Brasília**, UNESCO. 2003b.

TUCCI, Carlos E. M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 5 n.1, 61-6. Jan/Mar 2000.

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a educação, à ciência e a cultura. Subsídios ao zoneamento da APA Gama-Cabeça de Veado e Reserva da Biosfera do Cerrado: caracterização e conflitos socioambientais. – Brasília: UNESCO, MAB, Reserva da Biosfera do Cerrado, 2003.

Vitule J. R. S., Skóra F. & Abilhoa V. 2012. Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics. **Diversity and Distributions**, 18: 111–120. 2012.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H.G. Cambissolos: Definição e características gerais, 2006.

Disponível

em:

<

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_8_2212200611538.html >. Acessado em outubro de 2015.