



Universidade de Brasília

Faculdade UnB Planaltina

Bacharelado em Gestão Ambiental

SAMUEL ERICK BARBOSA VITORINO

**AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E DE USO E COBERTURA DO SOLO
NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU**

Planaltina-DF

2023

SAMUEL ERICK BARBOSA VITORINO

**AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E DE USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA
DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU**

Vitorino, Samuel Erick Barbosa. Avaliação Hidrológica e de uso e cobertura do solo na bacia do ribeirão Pípiripau/Samuel Erick Barbosa Vitorino. Planaltina – DF, 2023. 63f. Teórico Empírico – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília. Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental. Orientadora: Prof. Dra. Andreia de Almeida 1. Água subterrânea 2. Escoamento de base 3. Serviços Ecosistêmicos 4. Atividades Antrópicas 5. I Vitorino, Samuel Erick Barbosa. II Título.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Bacharelado em Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Gestão Ambiental da Universidade de Brasília.

Orientadora: Profa. Dra. Andreia de Almeida

Planaltina-DF

2023

SAMUEL ERICK BARBOSA VITORINO

**AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA E DE USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA
DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina (FUP/UnB), como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Gestão Ambiental da Universidade de Brasília.

Planaltina, 24 de julho de 2023

Banca Examinadora

Profa. Dra. Andreia de Almeida – UnB/FUP
(Orientadora)

Profa. Dra. Clarissa Melo Lima – UnB/FUP
(Examinadora)

MSc. Alice Rocha Pereira – UnB/FT
(Examinadora)

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiro a Deus, por tudo em minha vida, pelo conhecimento e saúde, por ter me sustentado e me dado força em momentos de dificuldades, pelos seus feitos em minha vida, que todo esforço deste trabalho possa ser para honra e glória de Deus.

À toda minha família, por todo apoio oferecido, por todo incentivo, por todo acolhimento e amor. Em especial aos meus pais, pela criação e caráter, minhas irmãs e minha sobrinha, um total agradecimento à minha irmã Tatiane Raquel, que possibilitou que este trabalho fosse feito por meio do seu computador.

À minha professora e orientadora, Dra. Andreia de Almeida, pela sua amizade e paciência, pelo conhecimento e experiência compartilhado ao longo do trabalho e acima de tudo pela sua confiança em mim, sem ela esse trabalho não teria sido feito.

Ao meu País e à UnB, pela oportunidade de estudo, pela oportunidade aprender e evoluir como pessoa, aos meus demais professores e colegas que fiz durante minha vida acadêmica, obrigado pela companhia dividida.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre as alterações de uso e cobertura do solo e o comportamento hidrológico na bacia do Ribeirão Pípiripau. Para isso foi planejado um roteiro de objetivos que poderiam cooperar para o alcance dessas informações, como verificar números de vazões de corpos hídricos da bacia, analisar os diferentes impactos que a alteração da cobertura do solo e o crescimento urbano podem influenciar no comportamento hidrológico da região e, por fim, verificar se os serviços ecossistêmicos de provisão e regulação estão sendo efetuados corretamente quando relacionados a recarga da água subterrânea. A metodologia conta com a obtenção de dados de vazão, disponibilizados pela ANA em seu site, para montagem de gráficos e tabelas, e classificação de uso e cobertura do solo por meio do software QGIS, onde imagens de satélites são adquiridas e utilizadas para produzir diferentes mapas de estudo da área escolhida, no período de 2000 a 2010. O trabalho possui referências relacionadas à noção hidrológica e à importância do solo como reservatório de água, explorando o papel da vegetação e o seu auxílio para a infiltração. Foi construído também um breve histórico sobre a bacia do ribeirão Pípiripau, associados ao conflito pela água, captação da água pela Caesb, seus diferentes tipos de uso e a implementação do PPA na região. O trabalho levantou conhecimento a respeito das estações pluviométricas e pluviométricas presentes dentro da área da bacia, onde foram classificadas por dados acessíveis e não acessíveis, início do registro de dados, e empresas responsáveis pela operação dessas estações. Ao longo do trabalho, os objetivos foram alcançados com sucesso e gerou resultados para discussão e conclusão, apontando que a hidrologia da bacia responde ao tipo de influência que alterações no solo causam e como isso pode prejudicar a vazão dos rios em períodos de seca.

Palavras-chave: Água subterrânea. Escoamento de base. Serviços ecossistêmicos. Atividades antrópicas.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the relationship between land use and land cover changes and hydrological behavior in the Ribeirão Pibiripau basin. For this, a roadmap of objectives was planned that could cooperate to reach this information, such as verifying the flow rates of water bodies in the basin in a certain time interval, analyzing the different impacts that the alteration of the soil cover and the urban growth can influence the hydrological behavior of the region and finally verify whether the provision and regulation ecosystem services are being carried out correctly when related to groundwater recharge. The methodology relies on obtaining flow data, made available by ANA on its website, for the assembly of graphs and tables, the work also involves the creation of digital maps through the QGIS software, where satellite images are acquired and used for produce different study maps of the chosen area. The work has references related to the hydrological notion and the importance of the soil as a water reservoir, exploring the role of vegetation and its aid for infiltration. A brief history of the Pibiripau stream basin was also built, associated with the conflict over water, water collection by CAESB, its different types of use and the implementation of the PPA in the region. The work raised knowledge about the fluvimetric and pluviometric stations present within the basin area, where they were classified by accessible and non-accessible data, beginning of data recording, and companies responsible for the operation of these stations. Throughout the work, the objectives were successfully achieved and generated results for discussion and conclusion, pointing out that the hydrology of the basin responds to the type of influence that changes in the soil cause and how this can affect the flow of rivers in periods of drought.

Keywords: Groundwater. Baseflow. Ecosystem services. Anthropogenic activities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Serviços ecossistêmicos fornecidos pelos aquíferos	16
Figura 2 – Representação esquemática dos processos hidrológicos.....	17
Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo	25
Figura 4 – Mapas de Pedologia, Geologia e Aquíferos da bacia do ribeirão Pípiripau. Dados pedológicos conforme EMBRAPA (1978) e dados geológicos e de aquíferos provenientes do SIEG (Serviço de Informação Geográfica do Goiás).	27
Figura 5 – Mapas de elevação e declividade da bacia do ribeirão Pípiripau.....	29
Figura 6 – Pontos de visita à campo na bacia do ribeirão Pípiripau.....	33
Figura 7 – Pontos de visita à campo na bacia do ribeirão Pípiripau.....	34
Figura 8 – Mapas de classificação de uso e cobertura do solo	41
Figura 9 – Análise temporal das classes de uso e cobertura do solo na bacia do Pípiripau	42
Figura 10 – Dados diários e mensais de precipitação e evaporação, respectivamente, representativos da bacia do Ribeirão Pípiripau	44
Figura 11 – Dados acumulados (mm/ano) de precipitação e evaporação representativos da bacia do Ribeirão Pípiripau	45
Figura 12 – Dados de vazão das estações fluviométricas A) BR-020 e B) Pípiripau	47
Figura 13 – Dados de vazão das estações fluviométricas A) Montante Canal e B) FRINOCAP	48
Figura 14 – Dados de vazão da estação fluviométrica Taquara Jusante	49
Figura 15 – Estimativas do escoamento de base para as estações fluviométricas A) BR-020 e B) Pípiripau	50
Figura 16 – Estimativas do escoamento de base para as estações fluviométricas A) Montante Canal e B) FRINOCAP	51
Figura 17 – Estimativas do escoamento de base para a estação fluviométrica Taquara Jusante	52
Figura 18 – MDL escoamento de base anuais na bacia do ribeirão Pípiripau.....	54
Figura 19 – Escoamento de base acumulado por estação do ano (chuva, chuva-seca, seca e seca-chuva) na bacia do ribeirão Pípiripau.....	55
Figura 20 – Escoamento de base acumulado por estação do ano (chuva, chuva-seca, seca e seca-chuva) na bacia do ribeirão Pípiripau.....	56
Figura 21 – Avaliação temporal do comportamento hidrológico na estação FRINOCAP	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Landsat 7 e 8/9, sensor, bandas e resoluções.....	31
Tabela 2 – Caracterização dos pontos visitados em campo.....	35
Tabela 3 – Estações pluviométricas, climáticas e fluviométricas identificadas na bacia do ribeirão Pipiripau	36
Tabela 4 – Estações pluviométricas, climáticas e fluviométricas identificadas na bacia do ribeirão Pipiripau	37
Tabela 5 – Estações pluviométricas, climáticas e fluviométricas identificadas na bacia do ribeirão Pipiripau	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADASA: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

ANA: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CAESB: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

DF: Distrito Federal

ETA: Estação de Tratamento de Água

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Agropecuária

GO: Goiás

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MEA: Millennium Ecosystem Assessment

MT: Mato Grosso

PPA: Programa Produtor de Água

PSA: Pagamento por Serviços Ambientais

SCP: *Semi-Automatic Classification Plugin*

TO: Tocantins

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	JUSTIFICATIVA E PROBLEMATIZAÇÃO	13
2.1	QUESTÃO PRINCIPAL	14
2.2	HIPÓTESE.....	14
3	OBJETIVOS	15
3.1	OBJETIVO GERAL	15
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	RELAÇÃO ENTRE USO E COBERTURA DO SOLO E OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS	16
4.2	HISTÓRICO DE USO DO SOLO E DA ÁGUA NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU	20
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
5.1	ÁREA DE ESTUDO	24
5.2	METODOLOGIA	31
5.2.1	Obtenção de imagens de satélites e mapeamento do uso e cobertura do solo....	31
5.2.2	Obtenção dos dados hidrológicos e estimativa do escoamento da base	35
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1	CARACTERIZAÇÃO DE USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU	40
6.2	AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU	43
7	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, com área de aproximadamente 200 milhões de hectares, representando cerca de 22% do território brasileiro. Sua área contínua incide sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal (DF) (CASTRO; LIMA, 2020).

Conhecido como o “berço das águas do Brasil”, o Cerrado possui nascentes e importantes áreas de recarga hídrica que contribuem para importantes bacias hidrográficas nacionais. Conseqüentemente, o Cerrado fornece uma gama de serviços ecossistêmicos, como a ciclagem de nutrientes, recarga de aquíferos, regulação dos fluxos de água, dentre muitos outros (CASTRO; LIMA, 2020).

Apesar de sua extensão territorial e importância quanto aos recursos hídricos, grande parte do Cerrado vem sofrendo alterações nas últimas décadas por meio da ocupação humana. Nesse sentido, pode-se citar a expansão agropecuária, a exploração de recursos minerais, o crescimento populacional e o setor industrial (CASTRO; LIMA, 2020). Sendo assim, não somente a biodiversidade é afetada, mas também todos os serviços ecossistêmicos já citados, afetando a qualidade de vida das populações e a sustentabilidade das atividades econômicas e sociais da região.

CASTRO e LIMA (2020) estimam que no Distrito Federal houve uma perda de quase 60% da cobertura vegetal nativa do Cerrado. Sendo o DF uma região de nascentes que contribuem para as bacias do Paraná, do São Francisco e do Tocantins. Com predomínio de cursos d’água perenes, sua hidrografia constitui um gigantesco rendilhado, por onde escoam cerca de dez bilhões de metros cúbicos de água anualmente (CASTRO; LIMA, 2020). No entanto, nas últimas décadas, em virtude do forte crescimento demográfico e da intensificação das atividades econômicas, vêm ocorrendo uma forte pressão sobre os recursos hídricos, colocando em risco sua manutenção e sustentabilidade (CASTRO; LIMA, 2020).

Na bacia do ribeirão Pípiripau esse cenário não é diferente. Localizada em grande parte no DF, a bacia sofreu alterações quanto ao uso e cobertura do solo também nas últimas décadas, juntamente com a intensificação na demanda por água, para atender aos usos múltiplos da região. SOARES (2015) destaca o avanço na ocupação e alteração da cobertura do solo da bacia do Ribeirão Pípiripau, como a perda de áreas extensas de Cerrado natural, inclusive aquelas de

maior importância para a conservação da bacia. De acordo com CAMELO (2011), as condições da bacia, a agricultura, a urbanização e outros usos antrópicos geram paisagens fragmentadas e remanescentes de vegetação natural, cercado por vegetação alterada ou antropizada.

Por se tratar de uma área relevante para a disponibilidade hídrica, órgãos e entidades públicas, por exemplo, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), atentaram para a necessidade de implementar o Programa Produtor de Água (PPA) na bacia do Pípiripau. O principal objetivo do projeto, iniciado em 2010, foi zelar pela sustentabilidade e saúde ambiental, visando aumentar a disponibilidade e a qualidade da água, proporcionar a manutenção dos usos múltiplos e o melhor aproveitamento dos potenciais da bacia hidrográfica (LIMA; RAMOS, 2018).

O PPA prevê apoio técnico e financeiro à execução de ações de conservação de água e solo. Tais ações têm como metas: a construção de terraços e bacias de infiltração, readequação de estradas vicinais, recuperação e proteção de nascentes, reflorestamento das áreas de preservação permanente e reserva legal (LIMA; RAMOS, 2018).

Com relação aos recursos hídricos, a conservação ambiental pode reverberar em serviços ecossistêmicos de provisão, garantindo a água necessária para atender as demandas de múltiplos usuários, e de regulação, no sentido de manter o equilíbrio do ciclo hidrológico e a qualidade da água. Já quanto à categoria de serviços ecossistêmicos de regulação, é esperado que a manutenção da cobertura do solo, bem como o manejo adequado do solo, propicie a manutenção da infiltração da água no solo, que poderá refletir na recarga dos aquíferos e na redução do escoamento superficial. Logo, mais água será armazenada nos aquíferos e posteriormente liberada nos corpos hídricos por meio do escoamento de base. Como consequência, tem-se um serviço ecossistêmico de provisão que consiste na manutenção da água superficial, especialmente no período de estiagem.

Dessa forma, os serviços ecossistêmicos que relacionam o solo, a vegetação e o ciclo hidrológico oferecem bem-estar e qualidade de vida para a sociedade de maneira direta e/ou indireta, porém necessitam que o ecossistema esteja apto para atuar em seus diferentes tipos de serviços. Nesse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento hidrológico na bacia do ribeirão Pípiripau, com foco no escoamento de base, em função das mudanças de uso e cobertura do solo impulsionadas pelo PPA Pípiripau nos últimos 20 anos.

2 JUSTIFICATIVA E PROBLEMATIZAÇÃO

A importância da cobertura do solo para o ecossistema não é algo novo em estudos do meio ambiente. Diversos estudos apontam sobre a importância da conservação da vegetação ou do uso sustentável em atividades antrópicas, buscando reduzir impactos e danos ao meio ambiente.

A estrutura do solo está diretamente ligada aos processos hídricos, onde em diversas etapas coopera para que o ciclo da água siga seu comportamento natural. Logo a conservação de uma cobertura nativa pode influenciar a infiltração e o armazenamento de águas resultando em redução de escoamento superficial, evitando o movimento de sedimentos na superfície e possíveis erosões, que são processos de um solo manejado incorretamente.

O monitoramento hidrológico é fundamental e necessário para verificar de quais maneiras um solo alterado e usado por atividades antrópicas pode interferir de maneira negativa em corpos hídricos e suas vazões, além disso, é importante observar o comportamento hidrológico do solo e verificar como o solo vem a responder a tais mudanças na sua cobertura superficial em relação à vegetação.

Com o aumento populacional e o crescimento urbano, que resultam em uma maior demanda de água, as bacias hidrográficas tornam-se áreas estratégicas para gestão e planejamentos. A bacia do ribeirão Pípiripau, é uma dessas áreas estratégicas, por sua responsabilidade hídrica de abastecimento para a população de cidades próximas, a bacia do ribeirão Pípiripau sofreu com mudanças na cobertura do seu solo, causando impactos diretos e indiretos ao ecossistema da região.

Segundo ANA *et al.*, (2010), a bacia do Ribeirão Pípiripau faz parte do sistema de abastecimento público de Planaltina/Sobradinho, ambas regiões administrativas do DF. Portanto, é esperado que a região recebesse devida atenção e cuidados mediante sua grande responsabilidade hídrica e ecossistêmica para a região.

Além de ações serem devidamente planejadas para a bacia, é importante também que a população tenha noção da riqueza que um ecossistema sem degradação e bem manejado pode gerar em relação a bens ecossistêmicos, logo a conservação dessa bacia proporciona diversos bens ao ser humano sendo um dos principais o abastecimento hídrico.

2.1 QUESTÃO PRINCIPAL

Qual é o reflexo das ações sustentáveis implementadas pelo Programa Produtor de Águas para o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Pípiripau?

2.2 HIPÓTESE

O favorecimento da infiltração e recarga do aquífero em função das ações sustentáveis de reflorestamento e manejo do solo acarreta aumento do escoamento de base na bacia do ribeirão Pípiripau.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a relação entre as alterações de uso e cobertura do solo e o comportamento hidrológico na bacia do Ribeirão Pipiripau.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o histórico de uso e cobertura do solo na bacia do Ribeirão Pipiripau; e
- Quantificar mudanças hidrológicas associadas às condições de uso e cobertura do solo na bacia do Ribeirão Pipiripau.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 RELAÇÃO ENTRE USO E COBERTURA DO SOLO E OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS

O programa de pesquisa Avaliação Ecológica do Milênio (MEA, 2005) conceitua os serviços ecossistêmicos como os benefícios que as pessoas obtêm direta e/ou indiretamente dos ecossistemas. Os serviços ecossistêmicos dependem inteiramente da qualidade e condição de seu ecossistema de prover funções que geram bem-estar para o ser humano e são classificados em quatro categorias: de suporte (ex.: formação do solo e ciclagem de nutrientes, manutenção do escoamento superficial), de provisão (ex.: água e alimentos), de regulação (ex.: regulação de clima, qualidade da água, secas e degradação de solo) e cultural (ex.: lazer, religioso, educacional e outros) (Figura 1).

Figura 1 – Serviços ecossistêmicos fornecidos pelos aquíferos

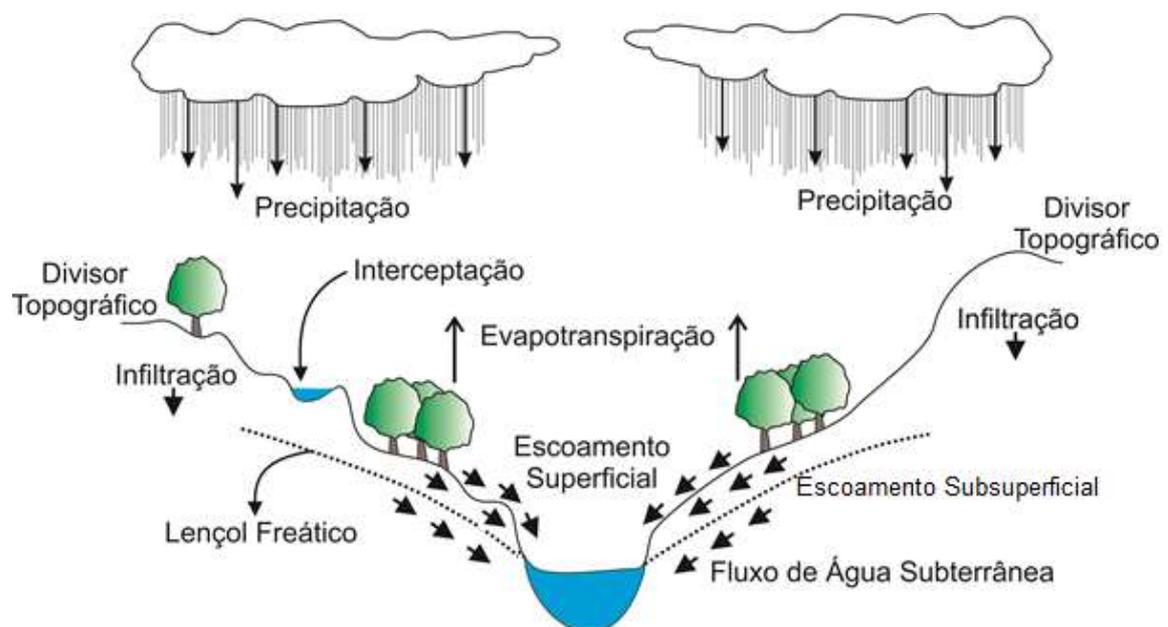


Fonte: Adaptado de IGRAC (2022)

Os recursos hídricos relacionam-se com os serviços ecossistêmicos das categorias de suporte, provisão, regulação e culturais, que podem ser responsáveis por manter a água em boa quantidade e qualidade. A interface entre água e cobertura do solo torna-se evidente se considerarmos os serviços ecossistêmicos de suporte e de regulação, para os quais componentes como o solo e a atmosfera conectam o ciclo da água superficial e subterrânea de maneira complexa (SANTOS, 2019).

De acordo com a literatura científica, o uso e cobertura do solo podem influenciar a redistribuição da água precipitada para os demais processos do ciclo hidrológico (Figura 2). Vale destacar que parte da água que não infiltra no solo pode gerar escoamento superficial. Uma parcela do montante infiltrado retornará à atmosfera como evapotranspiração e outra recarregará os aquíferos e posteriormente fluirá no solo por meio do escoamento subterrâneo. A porção do escoamento subterrâneo, isto é, proveniente dos aquíferos, que atinge os corpos hídricos superficiais, é denominada escoamento de base.

Figura 2 – Representação esquemática dos processos hidrológicos



Fonte: Adaptado de Cederstrom (1964)

Segundo HONDA e DURIGAN (2017), o solo permite que a água resultante da precipitação possa infiltrar e seja armazenada em aquíferos, mas para que isso aconteça o solo necessita de um manejo bem adequado ou de sua vegetação nativa para que haja cooperação entre cobertura do solo e infiltração. Além disso, a infiltração é influenciada positivamente pela presença de espaços, como tocas de animais, túneis abertos pelas raízes, interstícios e macro e micro poros. Quanto maior a saturação de água do solo, menor a taxa de infiltração (SANTOS, 2019).

Além disso, o solo recebe continuamente um aporte de matéria orgânica da serapilheira e tem sua porosidade aumentada com a atividade do sistema radicular da floresta e por meio da

atividade da biota do solo, permitindo que haja maior condução de água em direção às camadas mais profundas (SALEMI *et al.*, 2011). SERAPHIM e BEZERRA (2019) acreditam que algumas das principais características do solo para exercer a função de infiltração sejam: a capacidade de campo, umidade, profundidade e condutividade hidráulica. Adicionalmente, os autores complementam que, os solos mais porosos e permeáveis, em geral com maior teor de areia, possuem altas taxas de infiltração. Enquanto solos mais finos e de menor porosidade, em geral com maior teor de argila, possuem menores taxas de infiltração. A espessura do solo também é um fator importante, uma vez que tem a capacidade de reter temporariamente uma maior quantidade de água precipitada que posteriormente é liberada para o aquífero subjacente (SERAPHIM; BEZERRA, 2019).

SANTOS (2019) descreve que o efeito mais significativo das florestas na precipitação que chega à superfície da Terra é a interceptação pelo dossel, que reduz a quantidade de água que atinge o solo, pois fica retida e evapora antes mesmo de atingi-lo. Em segundo lugar, uma grande quantidade da água é devolvida à atmosfera pela transpiração através do sistema raízes-tronco-folhas. Por fim, o sistema radicular, a matéria orgânica do solo e a serrapilheira da superfície aumentam a infiltração e a capacidade de retenção de umidade do solo.

A partir do momento em que a água é armazenada em aquíferos, o solo pode exercer sua função de regular a água, até mesmo em períodos de seca. Pelo fluxo em aquíferos ser mais lento, ele é responsável por assegurar a vazão de rios em nos períodos de seca, onde já não há mais escoamento superficial resultante da precipitação. Dessa forma, os aquíferos passam a atuar principalmente no fornecimento do serviço ecossistêmico de suporte à manutenção do escoamento superficial por meio da geração do escoamento de base (Figura 1).

As alterações na cobertura do solo como resultado de atividades antrópicas colocam em risco as funções dos serviços ecossistêmicos e podem gerar uma influência negativa nos recursos hídricos. VASCONCELOS (2015) acredita que os impactos ambientais e mudanças no uso do solo resultam em alterações no ciclo hidrológico, frequentemente de maneiras até não previsíveis. Levantando a ideia de que o ciclo hidrológico pode responder negativamente para mudanças causadas por meio antrópico e o solo pode vir a perder suas atuações para provisão e regulação de água.

Um dos principais impactos negativos da ocupação e degradação do solo que afeta os recursos hídricos é a compactação do solo. A compactação do solo ocorre em função do uso de maquinário, sobrepastoreio, redução da atividade da macrofauna do solo e aumento da área ocupada por superfícies impermeáveis, como asfalto e residências.

Como consequência, a compactação pode reduzir a infiltração e favorecer o aumento do escoamento superficial, especialmente na época chuvosa, configurando situações de resposta rápida da bacia à precipitação (SANTOS, 2019). A redução da água infiltrada como resultado de um solo com características não preservadas pode causar o aumento do escoamento superficial e, respectivamente, o aumento da vazão do corpo hídrico. Logo, segundo VASCONCELOS (2015), as mudanças de cobertura vegetal, de florestas para outros tipos de vegetação ou uso do solo, tenderiam a aumentar a vazão anual dos rios, mas a diminuir a vazão nos períodos de estiagem.

Como o fluxo de base é responsável pela manutenção da vazão do riacho durante o período de estiagem, percebe-se que a floresta nativa, apesar de ter menor rendimento hídrico anual, possui vazões de base maiores do que as suas correspondentes na bacia com atividades agrícolas (Salemi *et al.*, 2011). Nesses casos, é importante readequar o uso e manejo do solo em toda a bacia, com base no conhecimento de que coberturas nativas podem levar à diminuição da produção de água, ainda que contribua para melhorar sua qualidade ou regularizar o regime de fluxo (HONDA; DURIGAN, 2017).

Em bacias com cobertura florestal, a capacidade de infiltração de água no solo geralmente é maior do que em bacias com cobertura herbácea, de maneira que durante a estação chuvosa a quantidade de escoamento superficial é menor (SANTOS, 2019). Para SALEMI *et al.*, (2011), as taxas de infiltrações são maiores quando proporcionadas pelas florestas em comparação a campos agrícolas. Os autores também concordam que a diminuição de infiltração por resultado de campos agrícolas gera picos de vazão em períodos chuvosos, mas que, ao contrário, essa água seria infiltrada e capaz de recarregar aquíferos caso os solos estejam em boas condições e com presença de vegetação.

Desse modo, a água que escoar rapidamente não contribui para o fluxo de base e, conseqüentemente, produz as menores vazões durante os períodos de estiagem em áreas agrícolas se comparada às florestas (SALEMI *et al.*, 2011). HONDA e DURIGAN (2017) concluem que o plantio de árvores não é capaz de aumentar a produção de água, porém pode melhorar a qualidade e contribuir para a regulação da vazão ao longo do ano.

O senso comum enxerga as florestas como produtoras de água e, inclusive, diversos projetos em execução visam à produção de água através da promoção de ações de reflorestamento, ou seja, de conversão de outros tipos de cobertura vegetal para florestas. Muitos autores defendem a ideia citada acima pelo motivo de acreditarem que as grandes taxas de evapotranspiração das florestas causam um aumento na umidade atmosférica e que assim

resultam na formação de nuvens e, com isso, promovem o aumento da precipitação local (SANTOS, 2019).

A resposta da microbacia à recuperação da floresta, no sentido de regularizar o regime de vazão é muito dependente também das características da microbacia como um todo, já que estes sistemas hidrográficos diferem muito entre si em termos pedológicos, geomorfológicos e de uso da terra (SALEMI *et al.*, 2011).

De acordo com SANTOS (2019), a influência das florestas no ciclo hidrológico varia no espaço e no tempo, e o resultado é um sistema complexo e dinâmico. E por fim VASCONCELOS (2015) acredita que, mesmo as florestas consumindo parte das águas do ciclo hidrológico pela evaporação, elas ajudam a garantir uma maior vazão em períodos de seca e também permitem maior infiltração nas águas do solo por de contribuírem com a matéria orgânica dos solos.

Para entender as relações entre a cobertura vegetal e a quantidade de água da chuva que fará parte dos recursos hídricos é preciso, primeiramente, saber que essas relações se estabelecem no espaço territorial de uma bacia hidrográfica, sendo mais fácil quantificar, compreender ou manejar a produção de água em bacias de pequenas dimensões – as microbacias hidrográficas (HONDA; DURIGAN, 2017). Segundo SANTOS (2019), a taxa de fluxo de um manancial ou rio é o resultado da infiltração em toda a bacia hidrográfica, e não somente nas áreas circundantes ou marginais. Com isso, toda área da bacia requer a preservação do solo e de sua cobertura vegetal.

4.2 HISTÓRICO DE USO DO SOLO E DA ÁGUA NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU

Conforme LIMA e RAMOS (2018), há um histórico de conflito pelo uso da água na bacia do Ribeirão Pipiripau, devido às múltiplas demandas da bacia. Os núcleos rurais Pipiripau e Taquara tiveram início a partir de 1977, por proposição da Fundação Zoobotânica do Distrito Federal (FZDF), que administrava as terras públicas rurais. Ainda nesse período, foi criado o Núcleo Rural Santos Dumont, firmando-se assim as três principais áreas de produção agropecuária que, até 2010, representavam cerca de 70% da bacia. Destaca-se na bacia do Pipiripau a produção de hortaliças, frutas, grãos, carnes, além de atividades de lazer, proteção ambiental (ANA *et al.*, 2010).

Ainda na década de 1980, iniciou-se uma acelerada descaracterização do setor rural em consequência da introdução de loteamentos urbanos, como Arapoanga e Vale do Amanhecer, o que fez aumentar a situação de risco da bacia. Não apenas as áreas inicialmente produtivas estavam sendo modificadas pela pressão habitacional, mas também principalmente as áreas de proteção ambiental, o que fez agravar a problemática da degradação na região (ANA *et al.*, 2010). Na parte superior da bacia, no estado de Goiás, ocorre ainda extração de areia nas proximidades do córrego Pípiripau.

Os conflitos pelo uso da água na bacia foram agravados pela entrada em funcionamento do canal Santos Dumont, na década de 1980, e pela captação de água da CAESB no ano 2000, para abastecimento público. Segundo LIMA e RAMOS (2018), a criação do canal Santos Dumont teve como intuito o abastecimento coletivo de água para irrigação de 85 propriedades, com média de 7 hectares cada. O canal Santos Dumont tem outorga para captação de 350 L/s (Resolução ANA nº 340/2006). No entanto, as perdas médias atuais de vazão no canal no período de março a outubro são de cerca de 267 L/s. Esse valor contempla as perdas por infiltração no canal, infiltração e evaporação dos reservatórios nas propriedades e dos sistemas de irrigação (ANA *et al.*, 2010).

Em 2002, a CAESB, em acordo com a Associação dos Usuários do Canal, promoveu a construção de uma captação de reforço no córrego Capão Grande, destinando vazão adicional de 30 a 50 L/s para o canal Santos Dumont (LIMA; RAMOS, 2018). Há ainda outros 260 usuários de água cadastrados nos bancos de dados da ANA e da ADASA (dados de 2009). Desses usuários, 78% fazem uso da água para irrigação, principalmente de hortaliças (ANA *et al.*, 2010). Outros usos expressivos são para dessedentação animal e aquicultura.

A captação da CAESB na Estação de tratamento de água (ETA) Pípiripau, por sua vez, faz parte do Sistema Integrado Sobradinho/Planaltina (ANA *et al.*, 2010). O empreendimento tem outorga para captação de 400 L/s no Ribeirão Pípiripau, embora tenha capacidade instalada para a adução de 720 L/s (Resolução ANA nº 340, de 10 de agosto de 2006). Porém, esse subsistema tem operado com um valor médio captado de 280 L/s. Atualmente as águas do Pípiripau abastecem 180 mil habitantes da cidade de Planaltina (DF). Se houvesse condições para que o valor de outorga fosse integralmente captado durante todo o ano, 265 mil pessoas poderiam ser atendidas (ANA *et al.*, 2010).

De acordo com dados da CAESB, a ETA Pípiripau foi planejada com uma vazão do projeto igual a 640 L/s, contudo a vazão média atual é de 363 L/s, destinados ao atendimento de Planaltina-DF, incluindo Arapoangas e MestreD'Armas, e Sobradinho De acordo com o

Relatório Cruls, a expedição mediu a vazão do Ribeirão Pípiripau duas vezes: uma em setembro de 1892, auge do período de estiagem, tendo encontrado 530 L/s; e outra em outubro, época de chuvas, identificando 2.671 L/s, o que já demonstrava àquela época a grande variação natural da vazão no Ribeirão Pípiripau (LIMA; RAMOS, 2018).

Diante desse cenário, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), desenvolveu o Programa Produtor de Água (PPA) na bacia do Pípiripau, uma importante ferramenta de articulação e intervenção em áreas agrícolas de bacias hidrográficas de interesse (LIMA; RAMOS, 2018). No Brasil, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é a base de funcionamento para o Programa Produtor de Água (PPA-ANA), de adesão voluntária de pequenos produtores rurais, que visa a reduzir a erosão e assoreamento de mananciais rurais para melhorar a qualidade e quantidade de água dos rios (SOARES, 2015).

A adoção do PSA estimula os atores a desenvolverem práticas conservacionistas mais eficientes, resolvendo parte da equação da recuperação ambiental das bacias hidrográficas, qual seja aquela relacionada a fontes de recursos para fazer face aos investimentos necessários (LIMA; RAMOS, 2018). Logo, a ferramenta constitui um incentivo financeiro a atores que proporcionem o fornecimento de serviços ambientais para a sociedade por meio de práticas conservacionistas (SOARES, 2015).

O PSA, também tem importância significativa pela capacidade de aproximar a sociedade, que demanda serviços ambientais, dos produtores desses serviços, e de possibilitar melhor fiscalização por parte dos pagadores, que na realidade são compradores dos serviços ambientais. De acordo LIMA e RAMOS (2018), o programa prevê apoio técnico e financeiro à execução de ações de conservação de água e solo, tais como: construção de terraços e bacias de infiltração; readequação de estradas vicinais; recuperação e proteção de nascentes; reflorestamento das áreas de preservação permanente e reserva legal.

Os objetivos do Produtor de Água do Pípiripau incluem zelar pela sustentabilidade e saúde ambiental, a fim de aumentar a disponibilidade e a qualidade da água, proporcionar a manutenção dos usos múltiplos e o melhor aproveitamento dos potenciais da bacia hidrográfica (LIMA; RAMOS; 2018). Ao avaliar dados hidrológicos obtidos até 2010, período anterior às intervenções do PPA na bacia, CAMELO (2011) apontou uma tendência na diminuição das vazões médias anuais ao longo dos anos, o autor acredita que isso seja o reflexo de evolução do uso e ocupação do solo na bacia, devido à impermeabilidade como resultado de más práticas de uso e manejo do solo.

CAMELO (2011) também acredita que a tendência de intensificação do uso do solo, poderia contribuir para redução da infiltração e o aumento do escoamento superficial. CAMELO (2011), em seu trabalho, conclui que, se fossem aplicadas práticas conservacionistas em áreas de agropecuária da bacia, o escoamento de base aumentaria em 44 L/s, correspondendo a um volume adicional anual de 1.387.584.000 m³.

Tendo claro que o principal objetivo a ser alcançado é a melhoria da disponibilidade de água em qualidade e quantidade adequadas aos usos múltiplos nas bacias hidrográficas, o Programa Produtor de Água foi desenvolvido com vistas a estimular e apoiar os produtores rurais que voluntariamente venham a aderir a essa causa (LIMA; RAMOS, 2018). O Programa foi formatado obedecendo aos princípios do PSA (Pagamento por Serviços Ambientais), de forma a criar incentivos para que os produtores rurais mudem sua maneira de praticar o uso e a ocupação dos solos, o que na maioria das vezes requer adequada orientação técnica, além de consideráveis investimentos.

Diante de tal situação, o PPA Pípiripau foi iniciado na bacia em 2010, tendo como ações previstas a recuperação das matas ciliares degradadas, a recuperação e averbação das áreas de reserva legal, a proteção aos fragmentos florestais preservados, a execução de obras de conservação de solo nas áreas produtivas e estradas vicinais, o incentivo à utilização de práticas agrícolas menos impactantes e de uso racional da água e o pagamento aos produtores rurais participantes pelo serviço ambiental gerado (AZEVEDO, 2017).

Por meio dessas ações, o programa visa à regularização ambiental das propriedades rurais, ao favorecimento da infiltração de água no solo e conseqüente incremento na recarga dos aquífero, ao aumento da vazão do rio nos períodos de estiagem e, à redução da turbidez da água e conseqüente redução no custo do tratamento da água captada pela CAESB (AZEVEDO, 2017).

Desde 2008, período em que se iniciou, foram iniciadas as discussões a respeito da implementação do PPA na bacia do Ribeirão Pípiripau, já são mais de 3.200 hectares destinados à conservação de solo, 1.100 hectares destinados a conservação de fragmentos florestais e 300 hectares destinados à restauração florestal em toda extensão da bacia (AZEVEDO, 2017). SOARES (2015) conclui que as ações conservacionistas efetuadas nas propriedades pelo programa são capazes de garantir sustentabilidade hidroambiental na bacia.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Ribeirão Pipiripau localiza-se na porção nordeste do Distrito Federal (DF) a aproximadamente 45 km da capital Brasília-DF, próxima ao limite com a cidade de Formosa-GO (Figura 3). A área da bacia equivale a aproximadamente 234.94 km² e mais de 90% dessa área encontra-se no Distrito Federal, porém a nascente do curso principal é localizada no estado de Goiás.

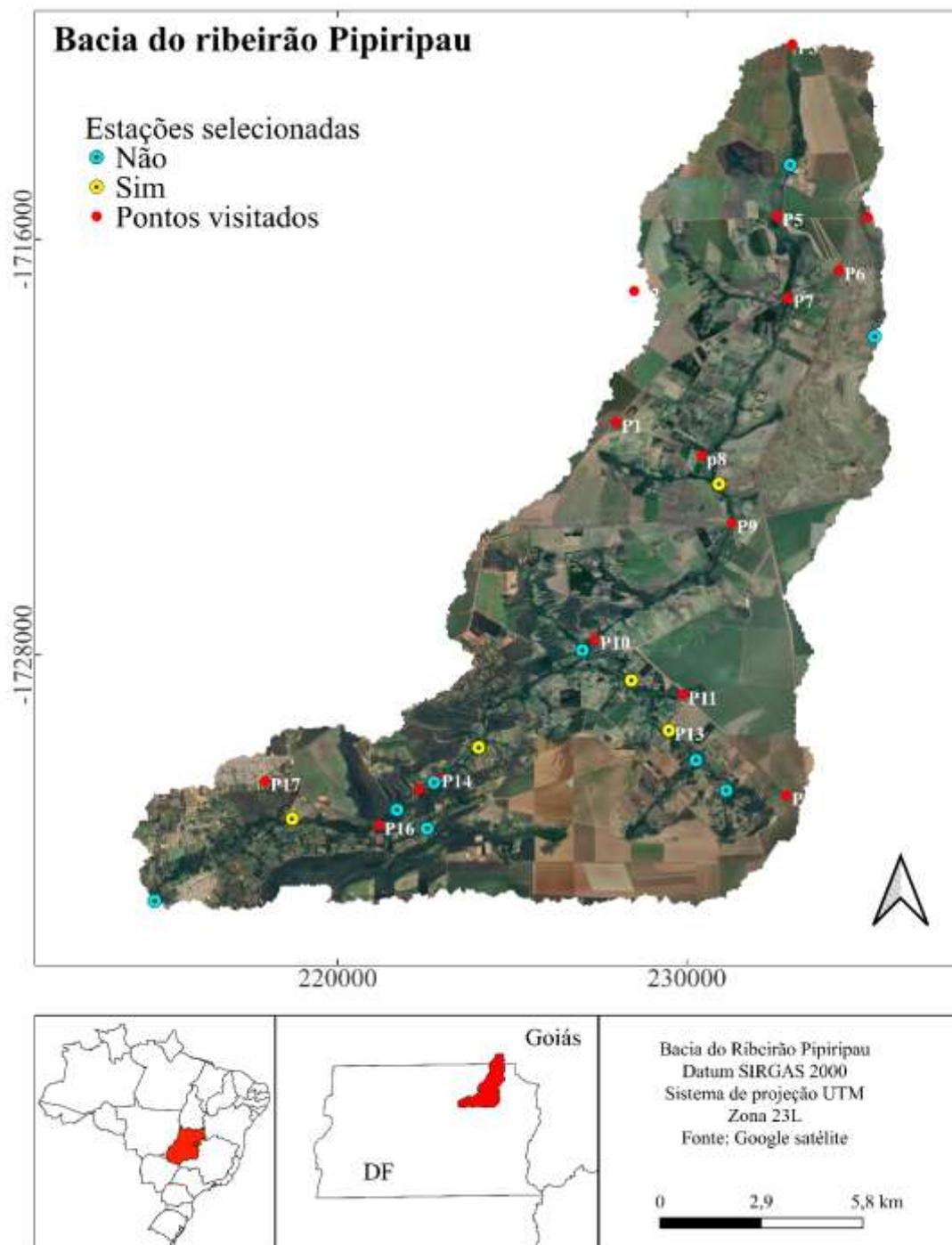
O Ribeirão Pipiripau encontra-se na bacia do Rio São Bartolomeu, que é a maior bacia hidrográfica do Distrito Federal e formadora das bacias dos rios Paranaíba e Paraná (ANA *et al.*, 2010). De acordo com LIMA e RAMOS (2018), o curso principal da bacia do ribeirão Pipiripau possui cerca de 41 km de extensão, onde, após a junção com o córrego Mestre D'armas forma o rio São Bartolomeu.

Dados mais recentes de mapeamento de uso e cobertura do solo na bacia indicam predomínio do uso agrícola (cerca de 71% da área da bacia), segundo ANA *et al.*, (2010), da ocorrência da formação savânica e da área urbana perceptível ao sul da bacia, resultado do aumento populacional da cidade de Arapoanga e também pela região do Vale do Amanhecer, com alguns núcleos rurais distribuídos ao longo da bacia (Tabela 2, Figura 6, Figura 7).

O mapa de classes do solo (Figura 4), possibilitou caracterizar a pedologia na bacia por meio de sete classes de solos. Predominam na bacia, assim como observado no DF, os Latossolos e os Cambissolos (CASTRO; LIMA, 2020). Latossolo Vermelho ocupa a maior parte da bacia do Ribeirão Pipiripau-DF. Essa classe apresenta solos vermelhos, geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural.

Ocorrem em praticamente todas as regiões do Brasil, mas têm grande expressividade nos chapadões da região Central (Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Minas Gerais e outros (IBGE, 2015). Além disso, deve-se considerar que são solos minerais, não hidromórficos e profundos (normalmente superiores a 2 m), favorecendo o armazenamento de água no solo (EMBRAPA, 2021).

Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo



Outro solo presente na bacia é o Latossolo Vermelho-Amarelo, têm coloração vermelho-amarelada, são profundos, com boa drenagem e normalmente baixa fertilidade natural. Ocorrem em praticamente todo o território brasileiro, entretanto são pouco expressivos nos estados nordestinos e no Rio Grande do Sul. Quando têm textura argilosa,

são muito explorados com lavouras de grãos mecanizadas; e quando têm textura média são usados basicamente com pastagens (IBGE, 2015).

O solo Cambissolo Háplico, também encontrado na bacia, apresenta grande variação no tocante à profundidade, desde rasos a profundos. A drenagem varia de acentuada a imperfeita e pode apresentar qualquer tipo de horizonte A sobre um horizonte B incipiente (Bi), também de cores diversas. Muitas vezes são pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos (IBGE, 2015).

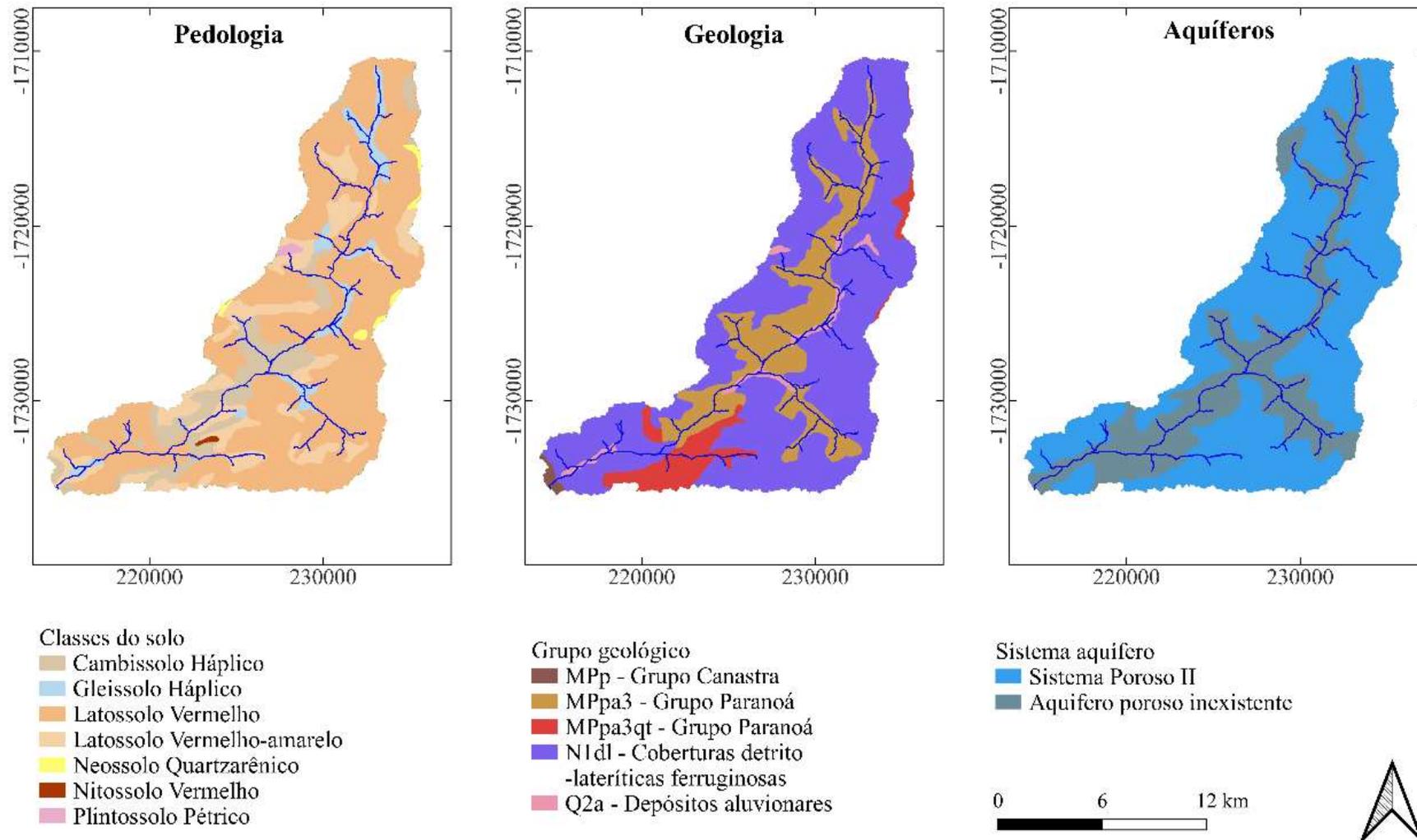
Gleissolos Háplicos são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.). Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50 cm da superfície. Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm nas condições de má drenagem, sua maior limitação de uso. Ocorrem em praticamente todas as regiões brasileiras, ocupando principalmente as planícies de inundação de rios e córregos (IBGE, 2015).

A classe Neossolo representa solos constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso (menos de 30 cm de espessura). Os Neossolos Quartzarênicos, muito expressivos no Brasil, são comuns na região litorânea e em alguns estados do Nordeste, ocupam também grandes concentrações em alguns estados do Centro-Oeste e Norte, como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins (IBGE, 2015).

O Nitossolo Vermelho trata-se de ordem caracterizada pela presença de um horizonte B nítico, que é um horizonte subsuperficial com moderado ou forte desenvolvimento estrutural do tipo prismas ou blocos e com a superfície dos agregados reluzentes, relacionadas com a cerosidade ou superfícies de compressão. Têm textura argilosa ou muito argilosa e a diferença textural é inexpressiva. São em geral moderadamente ácidos a ácidos com saturação por bases baixa a alta, com composição caulíniticooxídica (IBGE, 2015).

Em sua maioria com argila de atividade baixa, ou com atividade alta, associado a caráter alumínico, os Nitossolos Vermelhos têm ocorrência em praticamente todo o País, são muito expressivos em terras da bacia platina que se estendem desde o Rio Grande do Sul a Goiás (região sudoeste), além de terras no norte de Goiás, norte do Tocantins, sul do Maranhão e algumas ocorrências em Mato Grosso (Juína e Salto do Céu) e Pará (Oriximiná, Alenquer, Altamira), entre outras (IBGE, 2015).

Figura 4 – Mapas de Pedologia, Geologia e Aquíferos da bacia do ribeirão Pípiripau. Dados pedológicos conforme EMBRAPA (1978) e dados geológicos e de aquíferos provenientes do SIEG (Serviço de Informação Geográfica do Goiás).



O Plintossolo Pétrico, solo pouco presente na bacia, tem características, principalmente pela presença de expressiva plintitização com ou sem petroplintita (concreções de ferro ou cangas). Os Plintossolos Pétricos, geralmente de melhor drenagem, caracterizam-se pela presença no perfil dos horizontes diagnósticos concrecionário e/ou litoplíntico. Têm ocorrência mais restrita aos planaltos das regiões Centro-Oeste e Norte (TO, GO e MT) e alguns platôs da Amazônia. São usados apenas para pastoreio extensivo quando sob vegetação campestre ou de Campo Cerrado, ou com pasto plantado com espécies forrageiras rústicas (IBGE, 2015).

Com relação à geologia (Figura 4), há 5 tipos de grupos categorizados, o grupo Cobertura detrito-lateríticas ferruginosas é o mais presente na bacia. Em seguida o MPpa3 – grupo Paranoá, também possui considerável taxa de presença na bacia. Em seguida, o MPpa3qt – grupo Paranoá, com a presença mais ao sul da bacia.

O grupo Paranoá corresponde a uma sequência psamo-pelito-carbonatada que se estende desde o Distrito Federal, ao sul, até próximo da confluência dos rios Paranã e Tocantins no estado de Goiás (FREITAS-SILVA; CAMPOS, 1998). O grupo Canastra, por sua vez, corresponde a uma importante unidade litoestratigráfica que aflora, continuamente, por mais de 650 quilômetros desde o sudoeste de Minas Gerais, no extremo sul da Faixa Brasília, até a região sudeste de Goiás e sul do Distrito Federal, na porção centro-norte desta faixa. A categoria N1dl – cobertura detrito-lateríticas ferruginosas possui características de litologia como de sedimentos inconsolidados (SCHARGE, 2015).

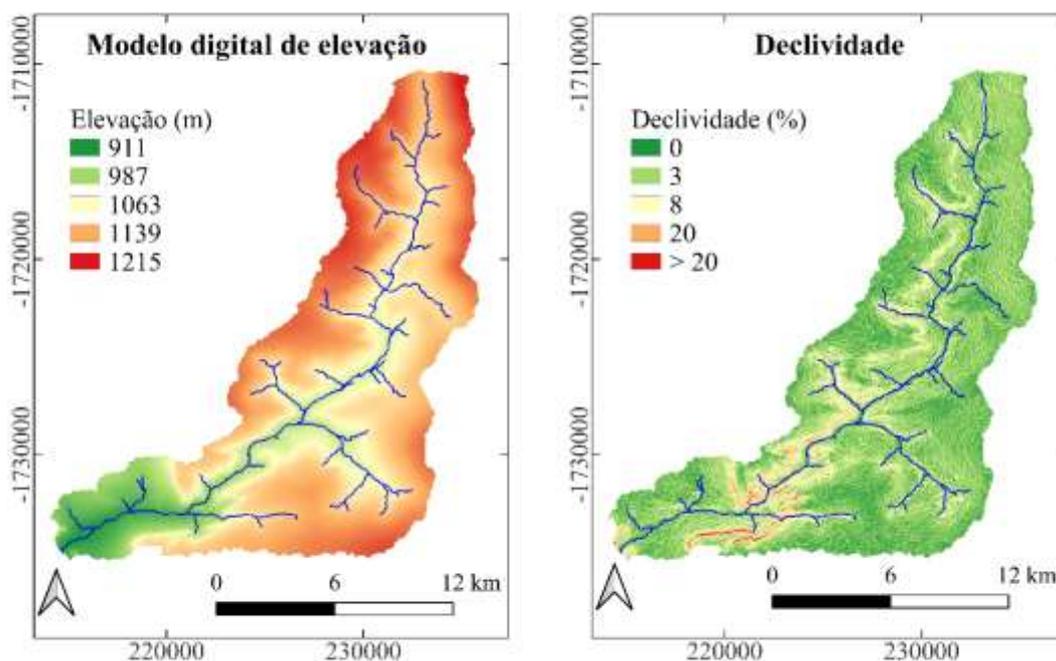
Com relação às águas subterrâneas, a bacia do Pípiripau apresenta predomínio de aquífero poroso do domínio P2 (Figura 4). Os aquíferos podem ser diferenciados de acordo com a porosidade do material constituinte em intergranular (poroso), de fraturas (fraturado) ou de condutos (cárstico) (KARMANN, 2008). Os aquíferos cársticos compõem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde rochas carbonatadas são dissolvidas, formando condutos preferenciais ao armazenamento de água subterrânea (KARMANN, 2009).

O contexto hidrogeológico do Distrito Federal, segundo LOUSADA e CAMPOS (2005), é definido pela ocorrência de aquíferos do domínio poroso e fraturado. O domínio poroso é representado pelo manto de intemperismo (solo e saprolito) com aquíferos livres de grande continuidade lateral (ZOBY; DUARTE, 2001).

Segundo MARTINS *et al.*, (2002), o aquífero do sistema poroso II, predominante na bacia do Pipiripau, está associado a latossolos formados pelo intemperismo, com grandes espessuras saturadas (> 5 m) e condutividade hidráulica respectivamente média. A importância desses aquíferos está vinculada, principalmente, ao fato de a espessura da camada saturada e a condutividade hidráulica (K) favorecerem o escoamento de base nos períodos de estiagem e ainda por representarem uma interface entre a zona não saturada e os aquíferos profundos do domínio fraturado (FREITAS-SILVA; CAMPOS, 1998; BUGAN *et al.*, 2012).

Dados de altitude e declividade indicaram padrão em conformidade com o que se observa no DF (Figura 5). A altitude variou entre 900 m e 1.200 m, caracterizando extensas áreas com declives suaves. As cotas mais elevadas, acima de 1.200 m, estão localizadas na porção norte da bacia. Conforme o mapa de declividade (Figura 5), predominaram áreas com declividades plana (0% a 3%) e suave-ondulada (3% a 8%), que ocorrem associadas às altitudes mais elevadas. Áreas com declividade ondulada (8% a 20%) e forte ondulada ($> 20\%$) ocorreram na porção sul da bacia (CASTRO; LIMA, 2020).

Figura 5 – Mapas de elevação e declividade da bacia do ribeirão Pipiripau



Segundo a classificação climática de Köppen, o clima na área de estudo é tropical, com concentração de precipitações no verão. Segundo CASTRO e LIMA (2020), o total de precipitação anual varia entre 1.100 mm a 1.600 mm. As temperaturas médias anuais variam entre 19°C e 23°C. O período mais quente ocorre entre setembro e outubro, no qual a média histórica das temperaturas mais altas chega a 30°C. O período mais frio ocorre entre junho e julho, meses em que as temperaturas mais baixas chegam a 13°C (CASTRO; LIMA, 2020).

5.2 METODOLOGIA

5.2.1 Obtenção de imagens de satélites e mapeamento do uso e cobertura do solo

O processo para aquisição de imagens foi por meio do programa QGIS (versão 3.22.9). Após a delimitação do contorno da bacia, o próximo objetivo foi obter as imagens de satélite nas datas de 2000 (dez anos antes do PPA Pípiripau), 2010 (início do PPA Pípiripau) e 2020 (dez anos após o PPA Pípiripau), por meio do plugin SCP, disponível no QGIS. Foram obtidas imagens para o mês de julho nos três anos devido à menor interferência da cobertura de nuvens, em comparação com a estação chuvosa.

Já com as datas definidas, foi também feita a escolha do produto responsável pelas imagens de satélite, o Landsat 7 e 8/9 (Tabela 1), que forneceram imagens com resoluções espacial e temporal adequadas e compatíveis com o período de interesse. Com isso, foram realizadas as configurações necessárias para download das imagens, por exemplo a escolha das bandas para os satélites. Logo após isso, foram escolhidas imagens que se enquadravam corretamente no contorno da bacia e, por fim, baixadas para análise e estudo.

Tabela 1 – Landsat 7 e 8/9, sensor, bandas e resoluções

Landsat	Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral (μm)	Resolução espacial (m)	Resolução temporal (dias)	Resolução radiométrica (bits)
7	ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus)	(B1) AZUL (B2) VERDE (B3) VERMELHO	0.450-0.515 0.525-0.605 0.630-0.690	30	16	8
8/9	OLI (Operational Land Imager)	(B2) AZUL (B3) VERDE (B4) VERMELHO	0.450-0.515 0.525-0.600 0.630-0.680	30	16	12

Fonte: Embrapa

Com as cenas brutas, foi necessário realizar o pré-processamento. A próxima etapa incluiu a correção atmosférica, novamente usando o plugin SCP, uma das funções do pré-processamento é retirar o máximo a interferência que a atmosfera podia oferecer para a imagem deixando assim em uma qualidade melhor e mais confiável para trabalhar.

Após o tratamento das imagens brutas foi efetuado o mosaico, ferramenta do próprio QGIS, para fazer a composição colorida das bandas das imagens corrigidas selecionadas, levando a última etapa, resultado. Logo após todos esses processos foi feito o recorte somente da área selecionada para estudo e assim deu o início do processo de mapeamento do uso e cobertura do solo da área de estudo.

O processo seguinte consistiu em realizar a classificação supervisionada para obter as classes de uso e cobertura do solo na bacia. Para criação do mapa de uso e cobertura do solo, foram utilizados polígonos para reconhecimento e detecção de diferentes tipos de uso e cobertura nas imagens (treinamento das amostras). Após isso, é feita a junção dos grupos de amostras da mesma classe, obtendo as diferentes classes de uso e cobertura do solo para a bacia, nos anos de 2000, 2010 e 2020.

Após a obtenção dos mapas de uso e cobertura do solo, procedeu-se com saída de campo para verificar a capacidade de identificação das classes de uso e cobertura, considerando que as categoriais atuais (julho/2023) são semelhantes àquelas obtidas em 2020. Além de uma etapa de avaliação do processo de classificação de imagens, a visita a campo possibilitou conhecer o ribeirão Pípiripau em diferentes trechos, bem como algumas estruturas de monitoramento climático, pluviométrico e fluviométrico existentes na bacia (Figura 3, Tabela 2, Figura 6, Figura 7).

Figura 6 – Pontos de visita à campo na bacia do ribeirão Pipiripau

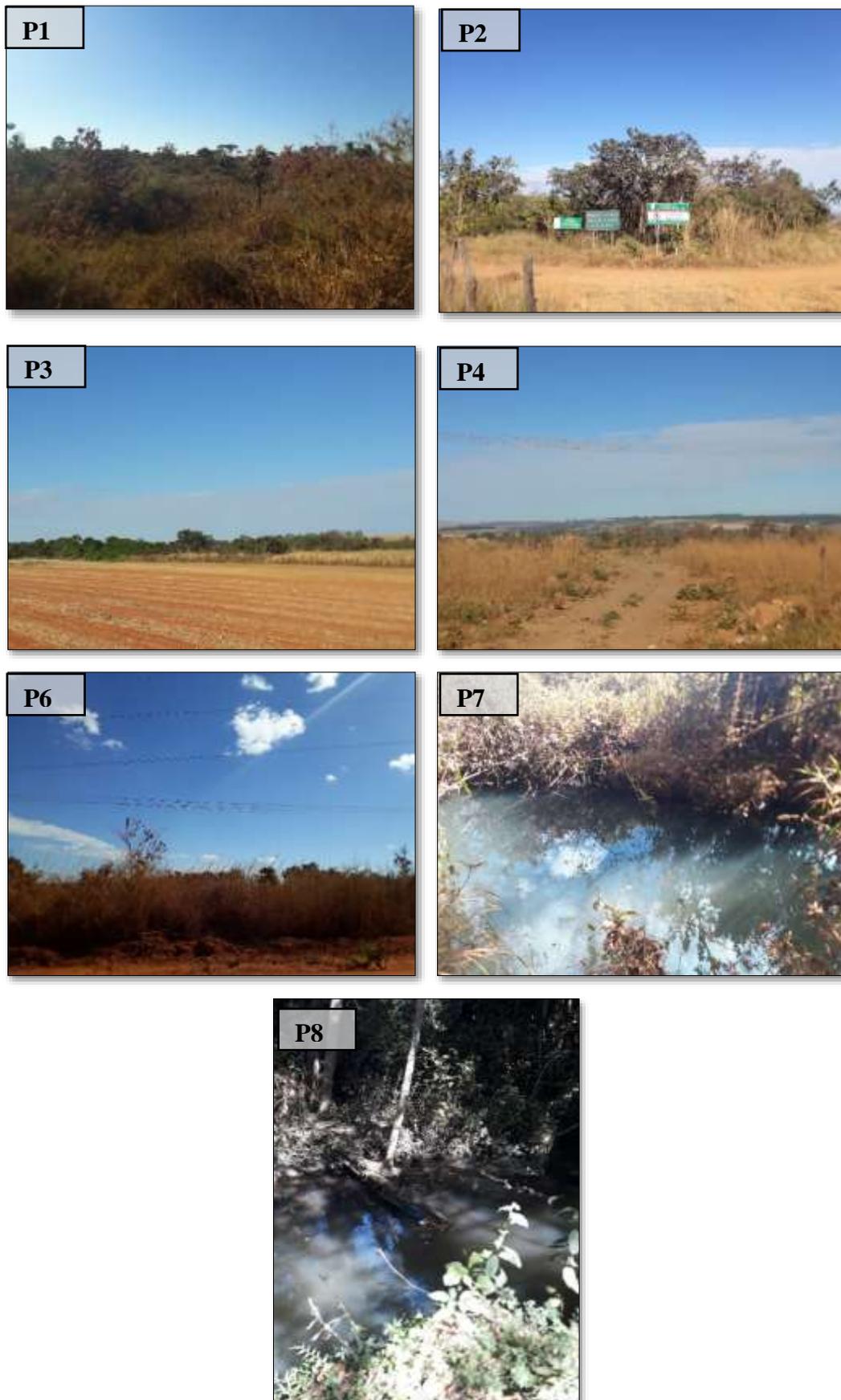
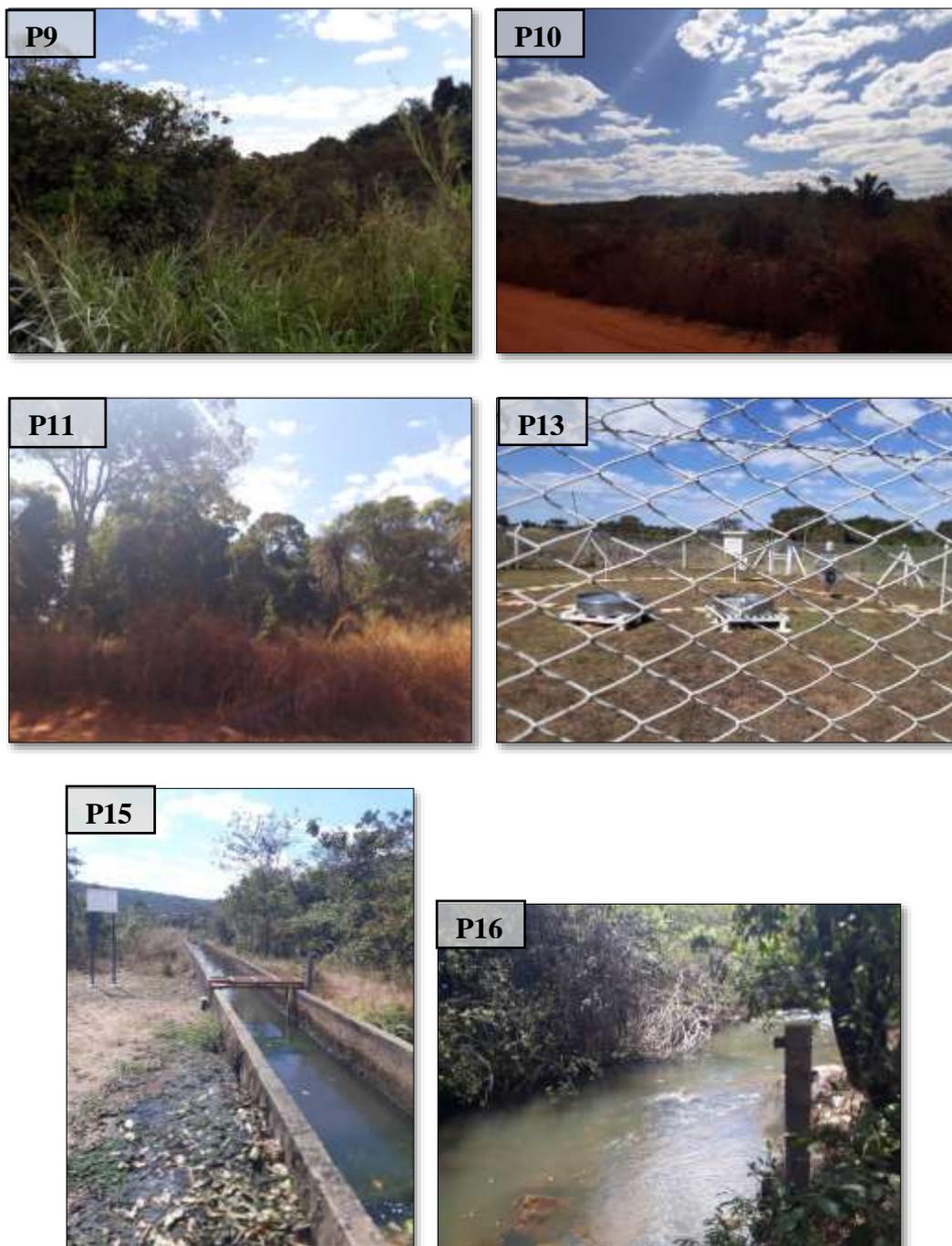


Figura 7 – Pontos de visita à campo na bacia do ribeirão Pipiripau



Após a verificação do mapeamento com base nos dados de campo, realizou-se a padronização das classes de uso e cobertura do solo em função das orientações do manual técnico de uso da terra do IBGE (IBGE, 2013). Foram mapeadas as classes cultura (incluindo atividades agropecuárias, cultivos temporários e permanentes e solo exposto), cerrado (formações campestres e savânicas de Cerrado), mata de galeria (formação florestal) e área urbana. Superfícies de água livre representaram um percentual reduzido

da bacia ($< 0.1 \text{ km}^2$) e, por isso, não foram consideradas na classificação. Por fim, foram calculadas as áreas para cada classe do mapa nos três períodos de estudo (2000, 2010 e 2020), com o intuito de analisar as mudanças na bacia.

Tabela 2 – Caracterização dos pontos visitados em campo

PONTOS	LUGARES
P1	Campo de murundu + área de cultura
P2	ESECAE (Estação Ecológica de Águas Emendadas)
P3	Nascente do ribeirão Pípiripau
P4	Remanescente de cerrado 1
P5	Ribeirão Pípiripau 1 (SEM ACESSO)
P6	Remanescente de cerrado 2
P7	Ribeirão Pípiripau 2
P8	Ribeirão Pípiripau 3
P9	Ribeirão Pípiripau 4 (BR – 020)
P10	Ribeirão Pípiripau 5 (Cerrado nativo)
P11	Ribeirão Taquara
P12	Ribeirão Taquara (SEM ACESSO)
P13	Núcleo rural Taquara + Estação climatológica
P14	Canal Santos Dumont 1 (SEM ACESSO)
P15	Canal Santos Dumont 2
P16	Ribeirão Pípiripau 6 – ETA (CAPTAÇÃO)

5.2.2 Obtenção dos dados hidrológicos e estimativa do escoamento da base

Os dados hidrológicos (pluviométricos, fluviométricos e climáticos) da bacia do Ribeirão Pípiripau foram obtidos por meio do site do HIDROWEB, Sistema de Informações hidrológicas mantido pela ANA (Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5).

Após o levantamento de todas as estações de monitoramento existentes na bacia, foram selecionadas aquelas que disponibilizavam dados diários de precipitação e de vazão no período de 2000 a 2020 (Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5).

O processo efetuado inclui o acesso no site e procura manual no mapa pela localização da bacia do Pípiripau DF, sendo assim, encontradas as respectivas estações, onde acontece a coleta e envio dos dados hidrológicos.

Tabela 3 – Estações pluviométricas, climáticas e fluviométricas identificadas na bacia do ribeirão Pipiripau

ID	ESTAÇÃO	CÓDIGO	DADO	INÍCIO	FINAL	ÁREA (Km ²)	OPERADOR	RIO	LAT	LONG	TIPO	ACESSO PÚBLICO	FREQUÊNCIA	SELECIONADA
1	FORMOSA	1547000	P	1964	1998	-	ANA	-	-15.53	-47.47	Não operante	Sim	Diário	Não
2	PIPIRIPAU MONTANTE CANAL	1547099	P	2020	-	-	ADASA	Pipiripau	-15.64	-47.57	Telemétrica	Não	Não informado	Não
3	PIPIRIPAU MONTANTE – CAPTAÇÃO	1547047	P	1999	-	-	CAESB	Pipiripau	-15.66	-47.60	Convencional	Não	Não informado	Não
4	PIPIRIPAU FRINOCAP – DF 230	1547091	P	2017	-	-	CAESB	Pipiripau	-15.66	-47.63	Telemétrica	Não	Não informado	Não
5	PIPIRIPAU	1547098	P	2009	-	-	ANA / CPRM	Pipiripau	-15.61	-47.55	Telemétrica	Não	Não informado	Não
6	TAQUARA	1547013	P, EC	1970	-	-	CAESB	-	-15.63	-47.52	Convencional	Sim	Diário	Sim

N: Nível da água superficial; MQA: Medição de qualidade da água; MDL: Medição de descarga líquida; MDS: Medição de descarga sólida; P: Precipitação; EC: Estação climatológica; DF: Distrito Federal; GO: Goiás

Tabela 4 – Estações pluviométricas, climáticas e fluviométricas identificadas na bacia do ribeirão Pipiripau

ID	ESTAÇÃO	CÓDIGO	DADO	INÍCIO	FINAL	ÁREA (Km ²)	OPERADOR	RIO	LAT	LONG	TIPO	ACESSO PÚBLICO	FREQUÊNCIA	SELECIONADA
7	PIPIRIPAU – BR-020 – CHÁCARA 14	60472230	N, MDL	2005	-	84.00	CAESB	Pipiripau	-15.57	-47.51	Convencional	Sim	Diário	Sim
8	TAQUARA JUSANTE – (CHÁCARA 70)	60472200	N, MDL	1992	-	37.00	CAESB	Taquarinha	-15.62	-47.53	Convencional	Sim	Diário	Sim
9	CÓRREGO TAQUARINHA (VC-133)	60472000	N, MDL	1992	1996	11.00	CAESB	Taquarinha	-15.64	-47.52	Não operante	Sim	Diário	Não
10	CÓRREGO TAQUARA (MONT. TAQUARINHA VC-133)	60472100	N, MDL	1992	2002	10.00	CAESB	Pipiripau	-15.65	-47.51	Não operante	Sim	Diário	Não
11	CANAL SANTOS DUMONT	60472250	MDL	1991	-	33.00	CAESB	Pipiripau	-15.65	-47.59	Convencional	Sim	Mensal	Não
12	CAPÃO GRANDE – JUSANTE CANAL	60472350	MDL	1991	-	12.17	CAESB	Capão Grande	-15.66	-47.59	Convencional	Sim	Mensal	Não

N: Nível da água superficial; MQA: Medição de qualidade da água; MDL: Medição de descarga líquida; MDS: Medição de descarga sólida; P: Precipitação; EC: Estação climatológica; DF: Distrito Federal; GO: Goiás

Tabela 5 – Estações pluviométricas, climáticas e fluviométricas identificadas na bacia do ribeirão Pipiripau

ID	ESTAÇÃO	CÓDIGO	DADO	INÍCIO	FINAL	ÁREA (Km ²)	OPERADOR	RIO	LAT	LONG	TIPO	ACESSO PÚBLICO	FREQUÊNCIA	SELECIONADA
13	PIPIRIPAU MONTANTE CANAL	60472240	N, MDS, MDL	1991	-	184.08	CAESB	Pipiripau	-15.64	-47.57	Telemétrica	Sim	Diário	Sim
14	PIPIRIPAU MONTANTE – CAPTAÇÃO	60472300	N, MDL, MQA	1988	-	189.21	CAESB	Pipiripau	-15.66	-47.60	Convencional	Sim	Diário	Não
15	PIPIRIPAU	60472235	N, MDL, MQA	2009	-	127.00	ANA / CPRM	Pipiripau	-15.61	-47.55	Telemétrica	Sim	Diário	Sim
16	PIPIRIPAU FRINOCAP – DF 230	60473000	N, MDL, MQA	1970	-	214.90	CAESB	Pipiripau	-15.66	-47.62	Telemétrica	Sim	Diário	Sim
17	PIPIRIPAU NASCENTE	60472220	MQA	2005	-	14.00	CAESB	Pipiripau	-15.49	-47.49	Convencional	Não	Não informado	Não
18	RIBEIRÃO PIPIRIPAU	60473020	MQA	2013	-	-	ADASA	Pipiripau	-15.68	-47.66	Convencional	Sim	Trimestral	Não

N: Nível da água superficial; MQA: Medição de qualidade da água; MDL: Medição de descarga líquida; MDS: Medição de descarga sólida; P: Precipitação; EC: Estação climatológica; DF: Distrito Federal; GO: Goiás

Os dados foram baixados, contendo informações a respeito do tipo de dado, datas de registros e código da estação responsável. Algumas das estações apresentavam erros e não disponibilizavam os dados para download, já em outros casos, os dados apresentavam falhas nos registros em diferentes datas (Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5). Por isso, algumas estações não foram consideradas no estudo.

Após a obtenção dos dados, procedeu-se com a remoção de valores de vazão com ruídos e representação gráfica. A partir dos dados de vazão triados, estimou-se o escoamento de base pelo filtro automático de Arnold e Allen (1999), no qual, estima-se o escoamento direto (q_t), escoamento superficial resultante da precipitação, no intervalo de tempo t , por meio da vazão total Q , utilizando o parâmetro de suavização do ajuste β , que pode variar entre 0 e 1 (Eq. 1).

Nesse caso, foi adotado um valor de β equivalente a 0,994, conforme análise de ajuste dos dados e indicação da literatura. Em seguida, o escoamento de base (b_t) é definido pela diferença entre o escoamento direto (q_t) e a vazão total Q , conforme Eq. 2 (ARNOLD; ALLEN, 1999).

$$q_t = \frac{(\beta q_{t-1}) + (1 + \beta)}{2(Q_t - Q_{t-1})} \quad (1)$$

$$b_t = Q - q_t \quad (2)$$

Em seguida, dados diários de escoamento de base também foram representados graficamente. Por fim, os valores acumulados por ano foram calculados para os dados de vazão e escoamento de base, a fim de a comparação com as análises de mudanças no uso e cobertura do solo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO DE USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU

A classificação das imagens de satélite possibilitou caracterizar a bacia do Pipiripau como predominantemente rural e identificar alterações nas classes de uso e cobertura do solo na comparação entre os mapas representativos de julho de 2000, 2010 e 2020 (Figura 8 e Figura 9). Conforme esperado, em 2000 houve predomínio de culturas, seja ela variável entre agriculturas, solo exposto e pecuária, ocupando cerca de 70% da área da bacia (Figura 8 e Figura 9).

O mapa também indicou áreas fragmentadas de remanescentes de cerrado, incluindo as formações savânica e campestre (Figura 9). A mata de galeria também se faz presente na distribuição, geralmente, no interior das áreas de cerrado e também seguindo o fluxo dos corpos hídricos. Já a área urbana, possui uma considerável distribuição, principalmente na região sul da bacia, onde é notável uma pequena influência urbana pela região administrativa do Arapoanga e a região do Vale do Amanhecer.

O segundo mapa, de julho de 2010, possibilitou observar diferenças nas duas épocas (Figura 9). A categoria de culturas continua dominante em mais de 50% do território da bacia. O cerrado apresenta uma possível taxa de aumento em relação ao mapa do ano de 2000, com o aumento da mata de galeria. Houve aumento também na categoria de área urbana em relação ao primeiro mapa criado, possivelmente influenciado por regiões de cidades ao sul da bacia e pela expansão urbana nessas regiões.

O mapa de uso e cobertura do solo representativo de julho de 2020 também indicou predomínio da categoria de culturas em comparação às demais classes (Figura 9). Contudo, houve aumento de aproximadamente 10% nas áreas de cerrado com relação ao cenário de 2000. A mata de galeria também demonstrou aumento em suas distribuições e, em comparação com os dois primeiros mapas criados, apresenta um volume maior (cerca de 6% na comparação com 2000). A categoria de área urbana aparenta continuar com o crescimento de sua taxa de distribuição, sempre concentrada no sul da bacia, é possível perceber esse aumento ao comparar os três mapas criados para as diferentes datas.

Figura 8 – Mapas de classificação de uso e cobertura do solo

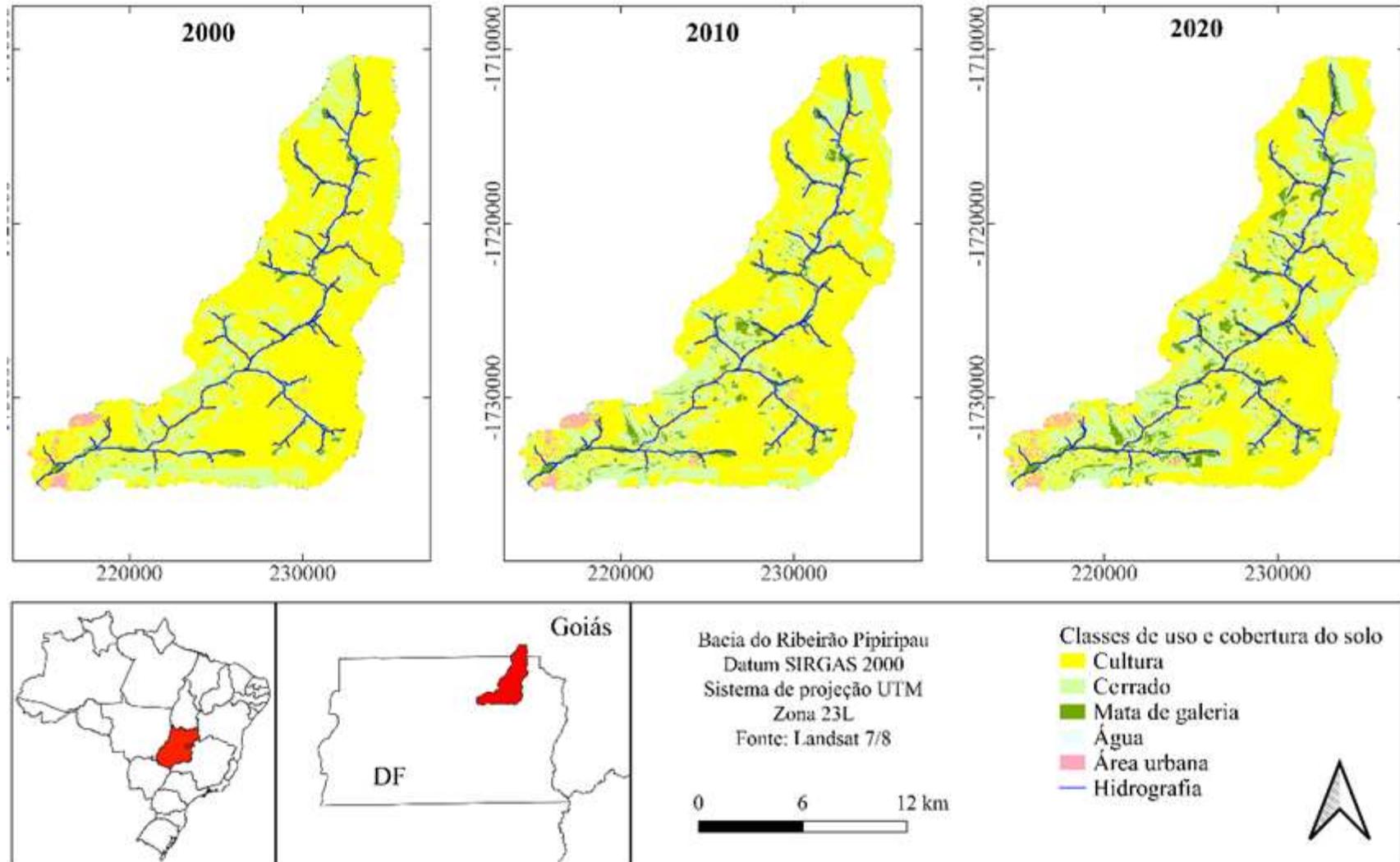
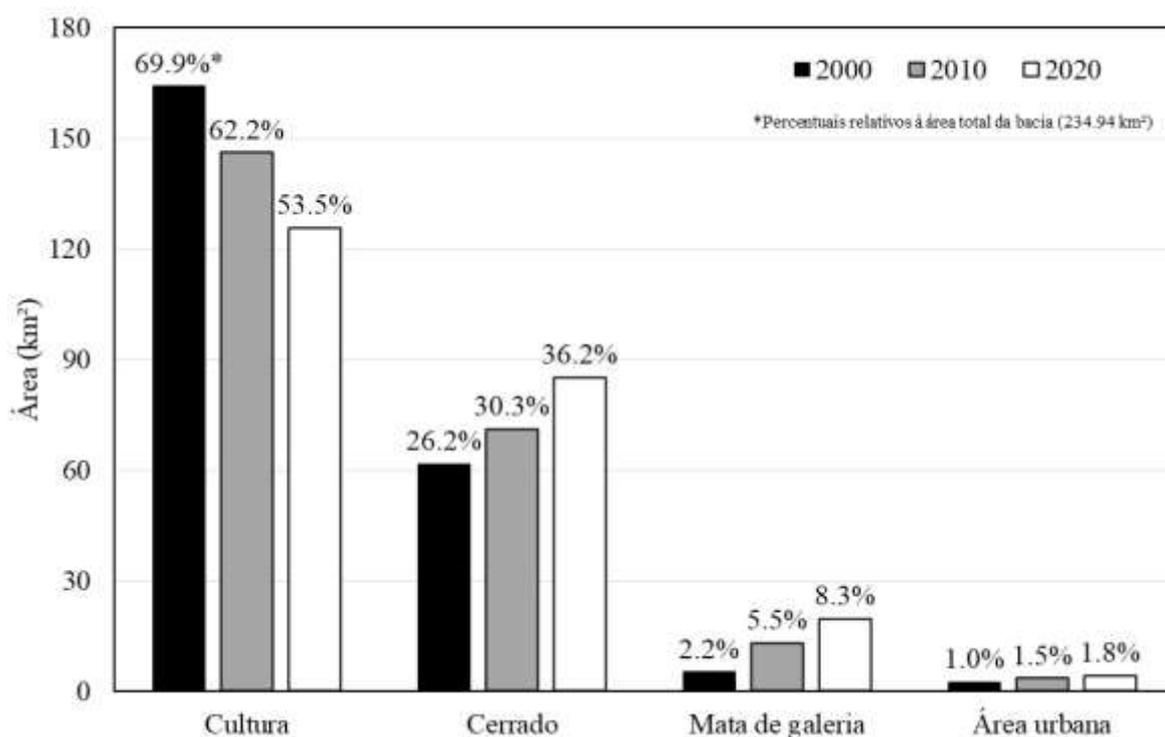


Figura 9 – Análise temporal das classes de uso e cobertura do solo na bacia do Pipiripau



Os resultados obtidos por meio da classificação das imagens Landsat 7 e 8/9 indicaram que as ações sustentáveis decorrentes do PPA Pipiripau podem ter repercutido na recuperação da vegetação nativa do Cerrado. Apesar do início formal do programa em 2010, desde 2008 já havia iniciativas de recuperação ambiental na bacia do Pipiripau, fato que pode explicar o aumento na cobertura nativa entre 2000 e 2010. O resultado de 2020, por sua vez, pode indicar um reflexo concreto das ações sustentáveis desenvolvidas na bacia nos últimos dez anos, incluindo a recuperação e proteção de nascentes, reflorestamento das áreas de preservação permanente e reserva legal (LIMA; RAMOS, 2018).

É importante destacar que a resolução espacial de 30 m, característica das imagens Landsat selecionadas, não possibilita mapear com precisão alteração nas classes de uso e cobertura do solo, bem como a construção de terraços e bacias de infiltração e a readequação de estradas vicinais inferiores a 30 m. Apesar de uma possível limitação dos resultados, as imagens possuem a melhor resolução espacial entre aquelas disponíveis para o período de interesse do estudo.

6.2 AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU

A análise dos dados hidrológicos (fluviometria, pluviometria e clima) possibilitou avaliar o comportamento hidrológico da bacia do Pipiripau ao longo dos últimos vinte anos, com indicação de redução nas taxas de precipitação e aumento da evaporação anual (Figura 11) e mudanças no escoamento superficial e de base como reflexo das condições climáticas e de uso e cobertura do solo.

Os dados de precipitação (diários) e evaporação (mensais) provenientes da estação Taquara (1547013) (Figura 10) apresentaram registros entre o ano de 2000 até o início de 2021. É notável um volume maior de chuva que varia de setembro/outubro até maio/abril, meses nos quais ocorrem 90% da precipitação anual por motivos de sazonalidade (CASTRO; LIMA, 2020), é possível observar o padrão de sazonalidade apresentado no gráfico, entre meses de chuva e seca.

O gráfico (Figura 10) também aponta as taxas de evaporação (mm), a partir de 2000 até o ano de 2021. O gráfico se comporta como um padrão, porém a partir de 2015 até 2018, houve aumento nas taxas de evaporação registradas. É perceptível que as maiores taxas de evaporação em todo o gráfico ocorram em períodos de chuva. O gráfico apresenta falhas em algumas datas nos registros da estação.

Com relação aos dados diários de vazão (MDL) e de escoamento de base nas diferentes estações fluviométricas da bacia, observou-se uma tendência geral de redução dos valores no período de 2000 a 2020, conforme observados entre a Figura 12 a Figura 17. Esse comportamento é observado também por meio da análise dos dados acumulados por ano (Figura 18), provavelmente em função da redução na precipitação e no aumento da demanda por água na bacia.

Analisando as estações fluviométricas no sentido de montante (nascente) para jusante (exultório), a estação BR-020 (60472230) apresentou medidas de vazões a partir de 2006, que variam entre 4 e 7 m³/s, chamando a atenção para o fim de 2005 quando é registrado pico de quase 8 m³/s (Figura 12).

Figura 10 – Dados diários e mensais de precipitação e evaporação, respectivamente, representativos da bacia do Ribeirão Pipiripau

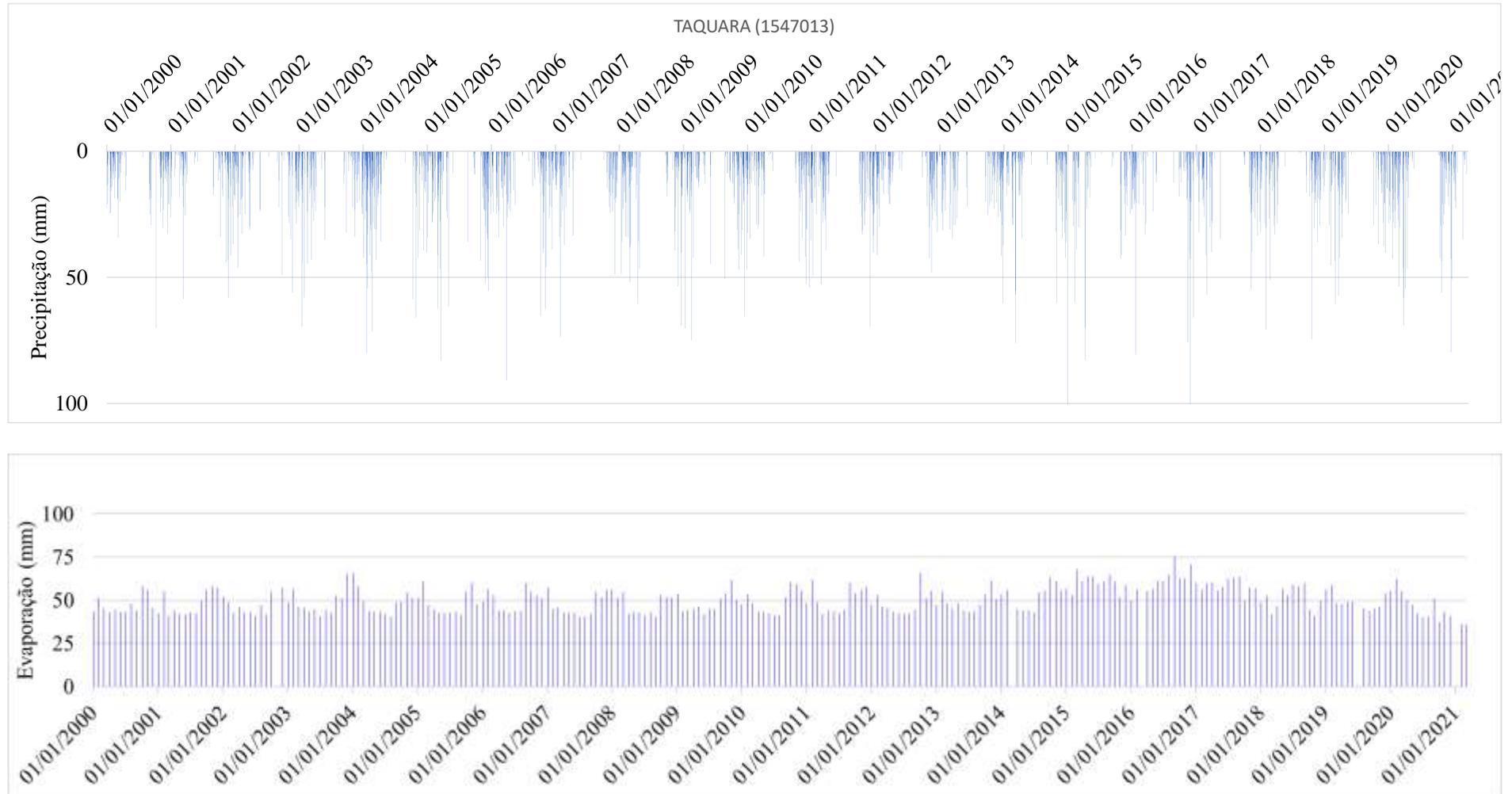
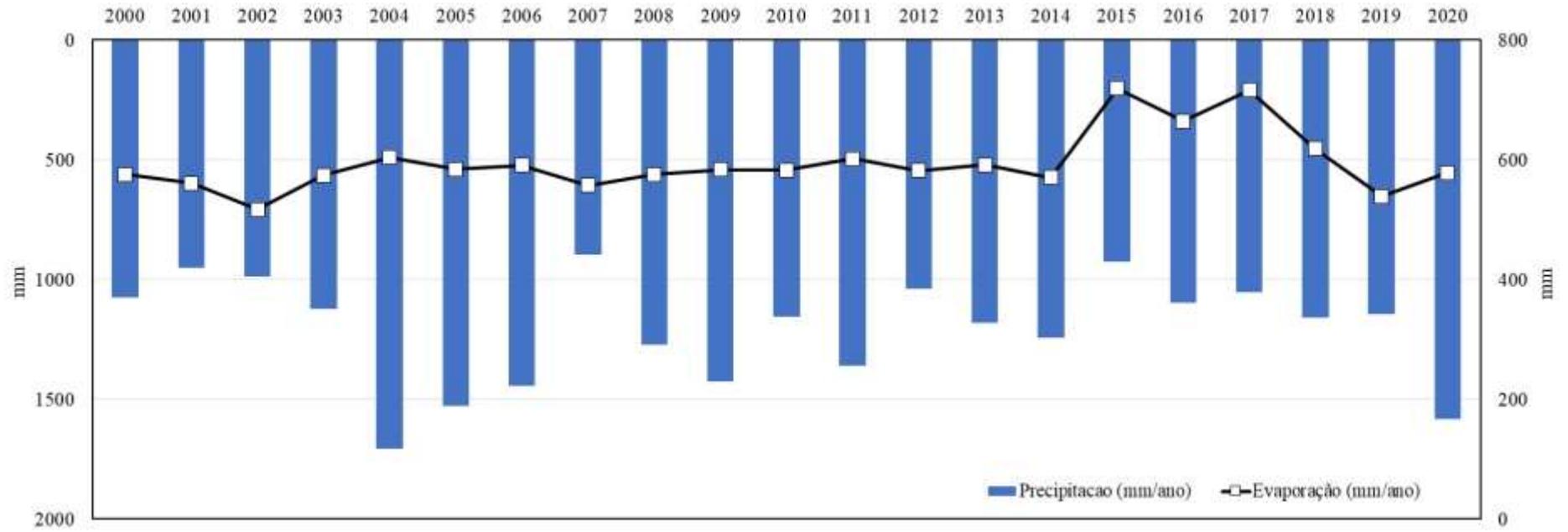


Figura 11 – Dados acumulados (mm/ano) de precipitação e evaporação representativos da bacia do Ribeirão Pipiripau



O gráfico da estação PIPIRIPAU (60472235), (Figura 12), possui dados de vazões iniciados próximo ao fim de 2009 até 2021. Em 2011, o gráfico aponta possíveis erros nas medições de vazão, foram registradas diárias com 32 e 28 m³/s na estação, o que foge do padrão esperado para dados de vazão em comparação a outros valores da série histórica. Porém, o comportamento anômalo também foi observado nas demais estações fluviométricas da bacia.

O gráfico da estação PIPIRIPAU MONTANTE CANAL (60472300), (Figura 13), teve seu início de registros de dados no fim de 2001 até 2021. O gráfico conta com diversos picos de vazão distribuídos ao decorrer dos anos que variam entre 10 a 20 m³/s, o gráfico também registra um pico elevado fora do comum em 2004, que foi registrado 23 m³/s.

O gráfico da estação do FRINOCAP (60473000), (Figura 13), possui dados registrados desde o ano de 1970, mas para o marco temporal do trabalho o gráfico foi montado com dados a partir do ano de 2000 até 2021. O gráfico é o que mais se difere dos demais, pelo motivo de possuir mais picos de vazão acima de 10 m³/s e mais próximas de 20 m³/s, o pico mais elevado foi registrado em 2011 e apontou 22 m³/s. Essa estação encontra-se próxima ao exutório da bacia.

O gráfico da estação TAQUARA JUSANTE (60472200), (Figura 14), conta com registros desde o fim de 2001 e até 2021. O gráfico, em comparação aos demais, é o que mais possui registros de vazão baixos. Isso, porque a estação não se encontra na drenagem principal do Pípiripau, mas sim em uma sub-bacia tributária ao Pípiripau, que possui uma área de drenagem menor em comparação à outras estações. O registro mais elevado de vazão presente no gráfico é de somente 3,67 m³/s.

Com relação ao escoamento de base estimado a partir dos dados de vazão, a estação BR-020 (60472230), (Figura 15), conta com medições de 0 a 1 m³/s. O gráfico aponta constantes registros de valores, porém novamente entre 2016 e 2020 foram registrados valores reduzidos em relação aos registrados em anos anteriores, onde a partir de 2020 há também um pequeno aumento, o gráfico também conta com falhas entre 2019 e 2021.

A estação PIPIRIPAU (60472235), resultou em dados de escoamento de base aparentemente constantes até 2016. A partir de 2016 há redução nos registros até 2020, quando volta a apresentar um registro alto diferente dos últimos 4 anos (Figura 15).

Figura 12 – Dados de vazão das estações fluviométricas A) BR-020 e B) Pípiripau

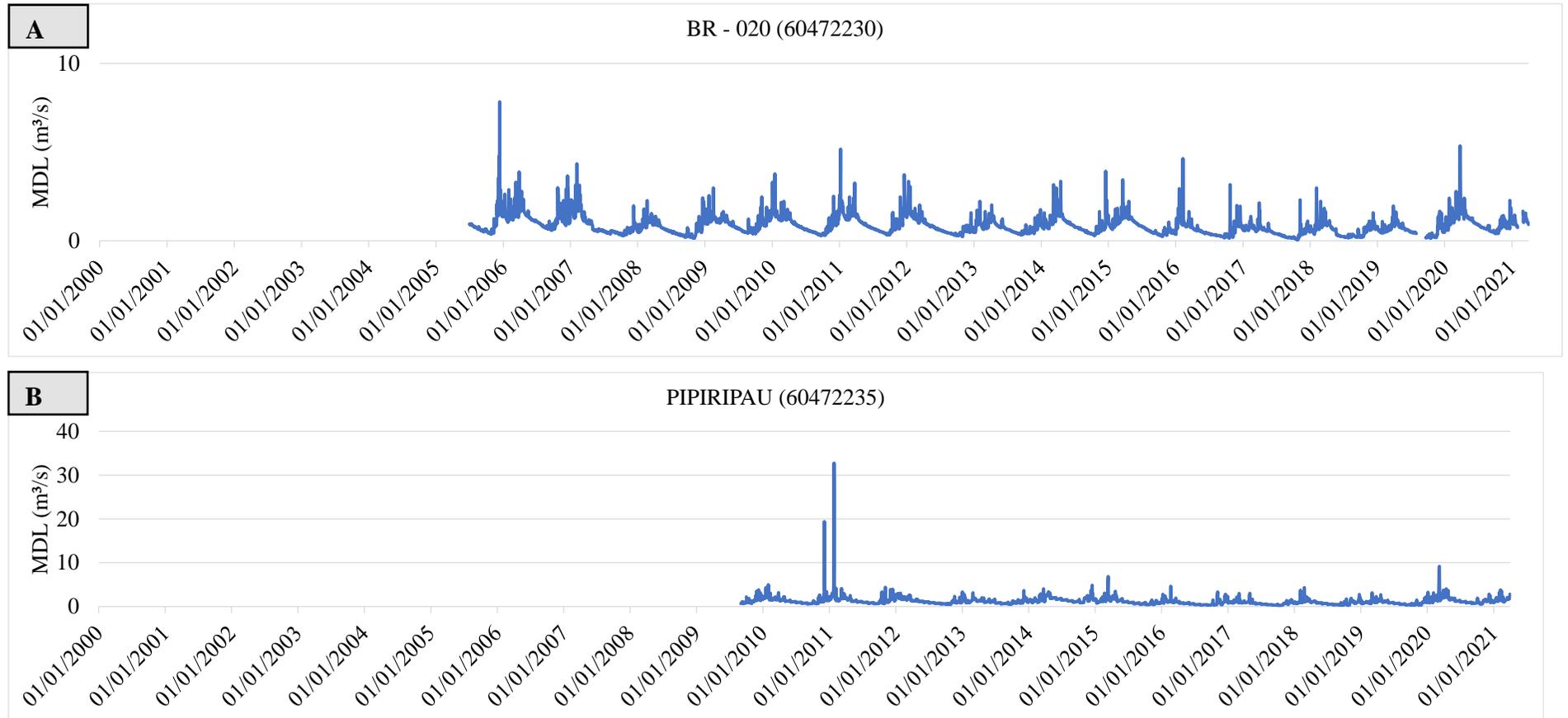


Figura 13 – Dados de vazão das estações fluviométricas A) Montante Canal e B) FRINOCAP

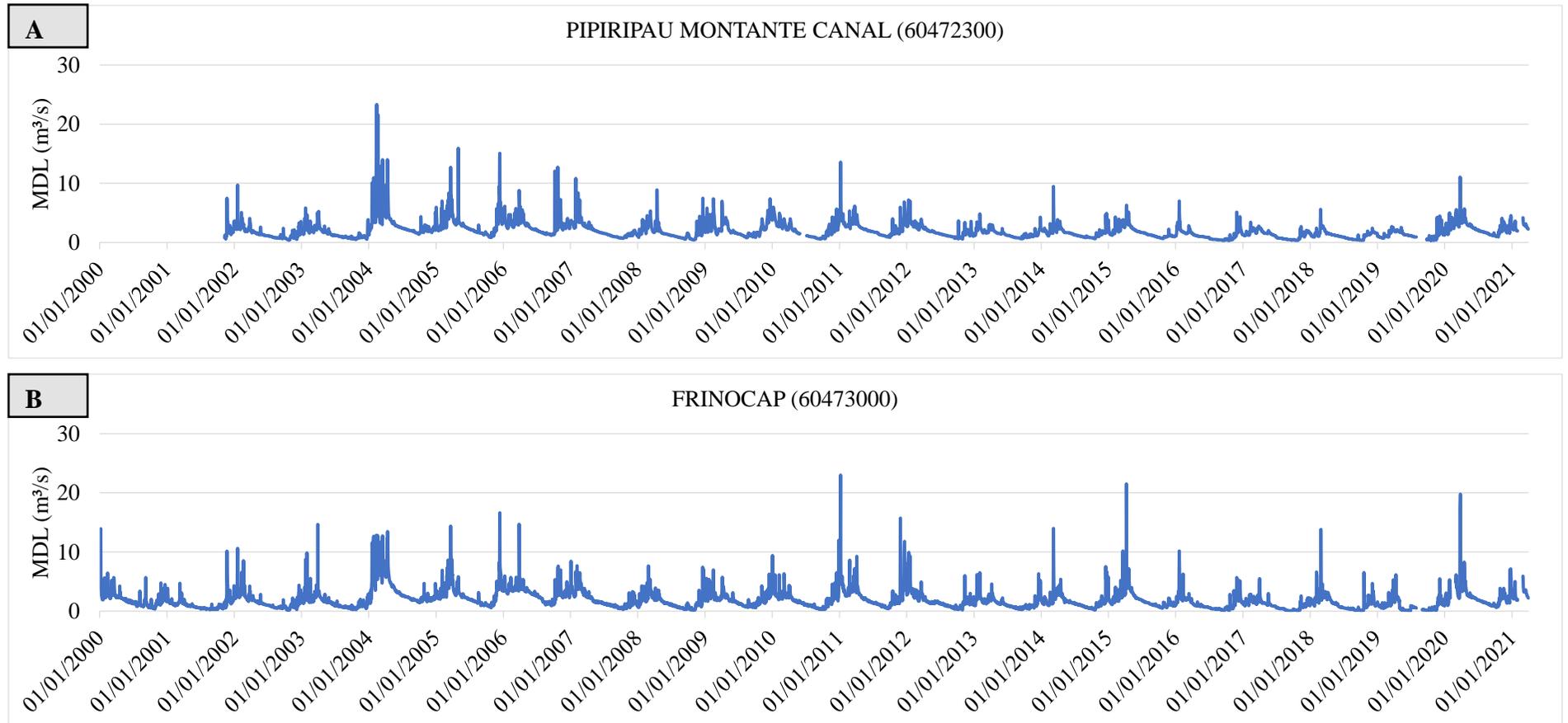


Figura 14 – Dados de vazão da estação fluviométrica Taquara Jusante

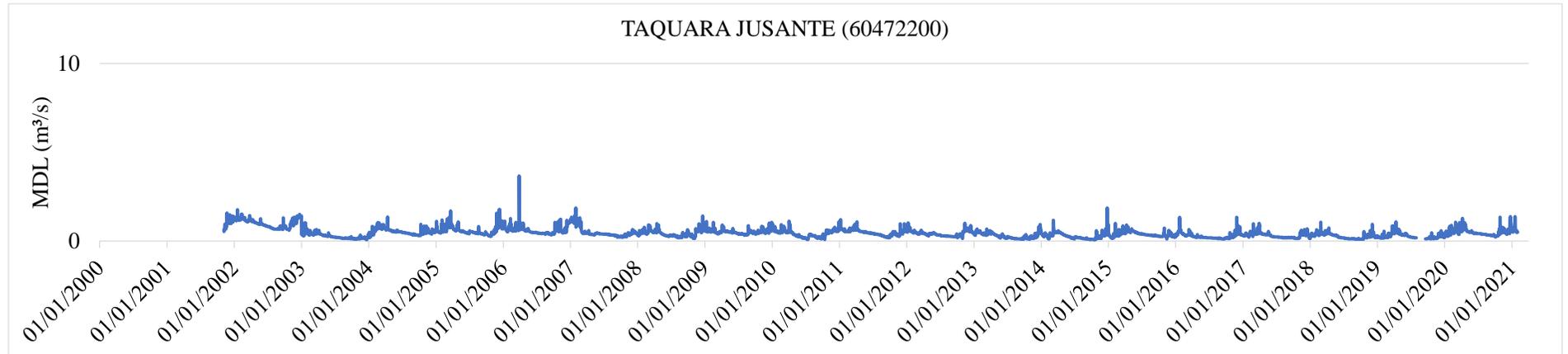


Figura 15 – Estimativas do escoamento de base para as estações fluviométricas A) BR-020 e B) Pípiripau

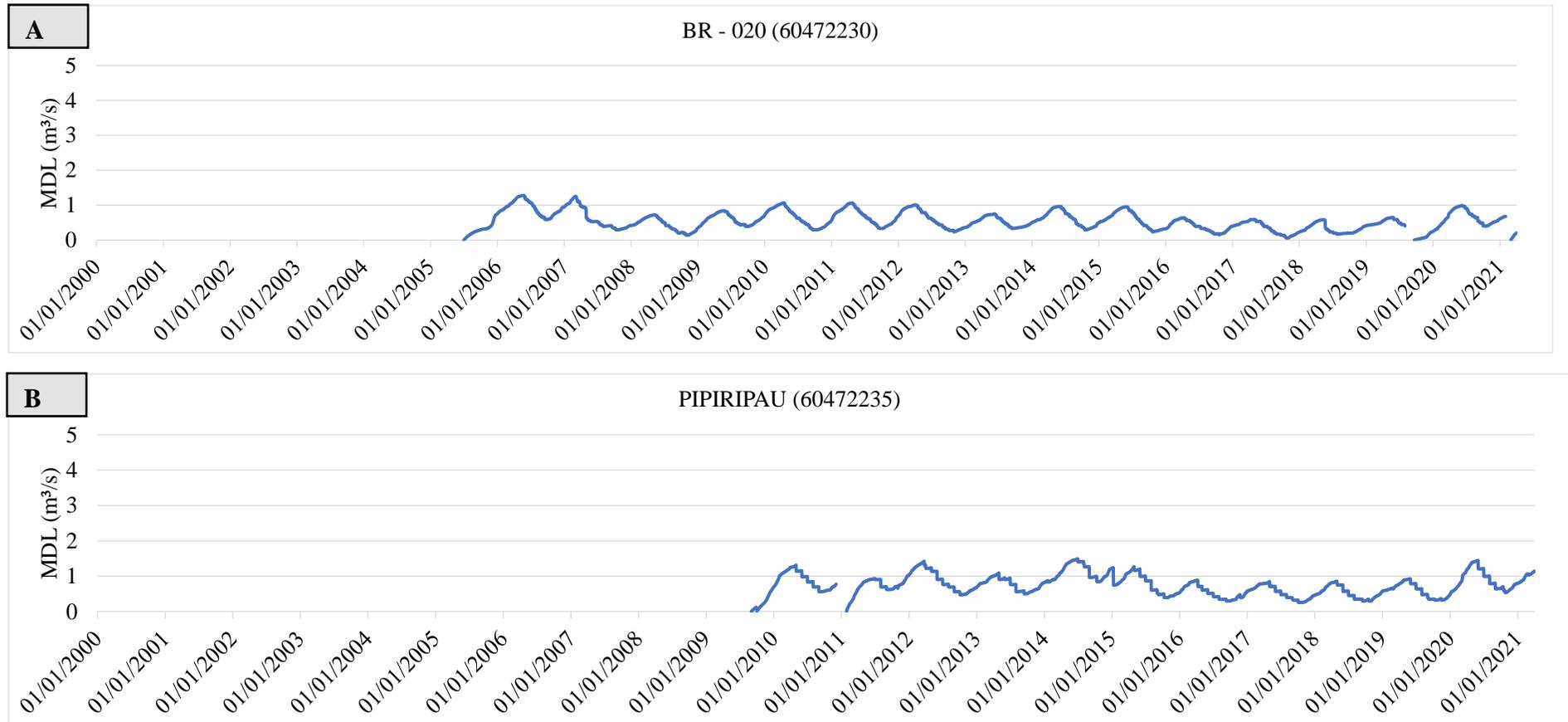


Figura 16 – Estimativas do escoamento de base para as estações fluviométricas A) Montante Canal e B) FRINOCAP

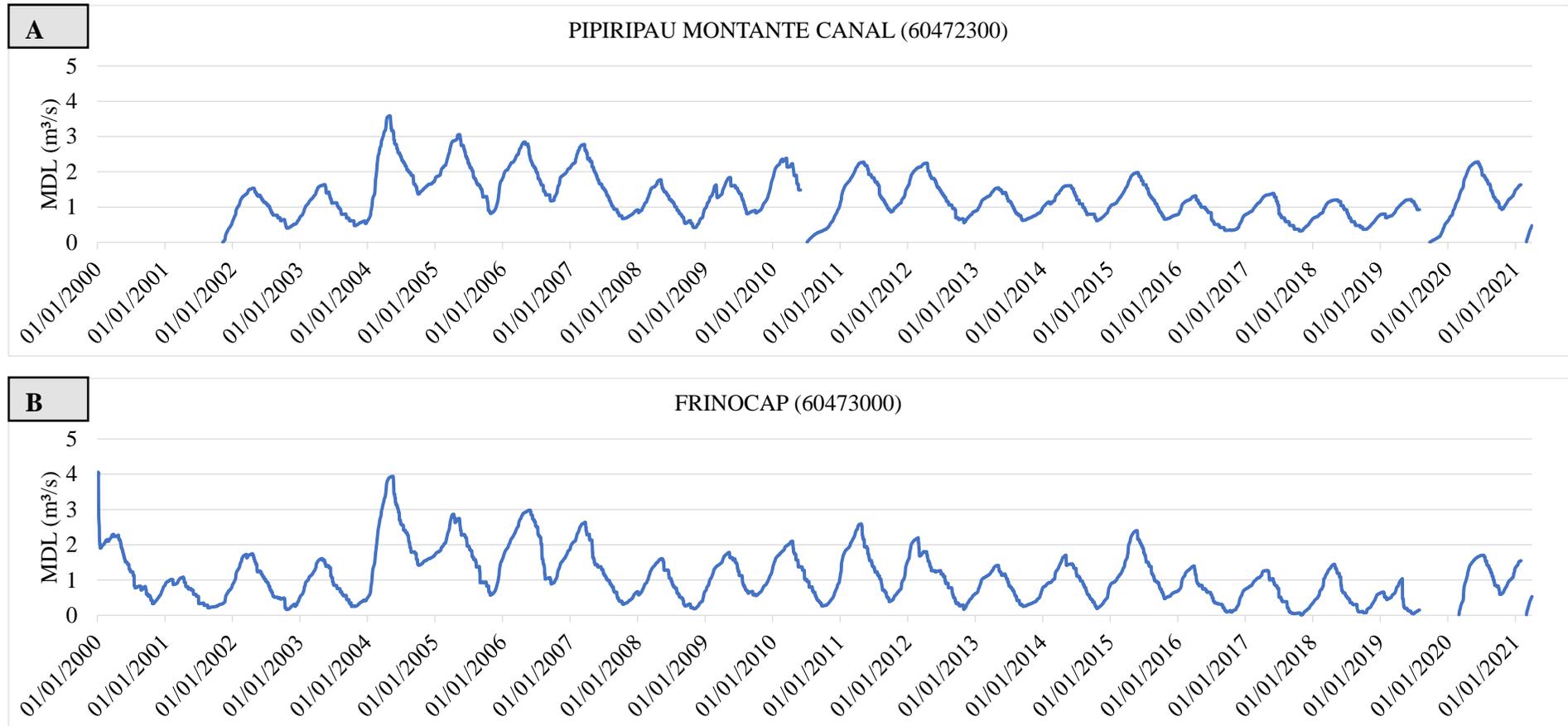
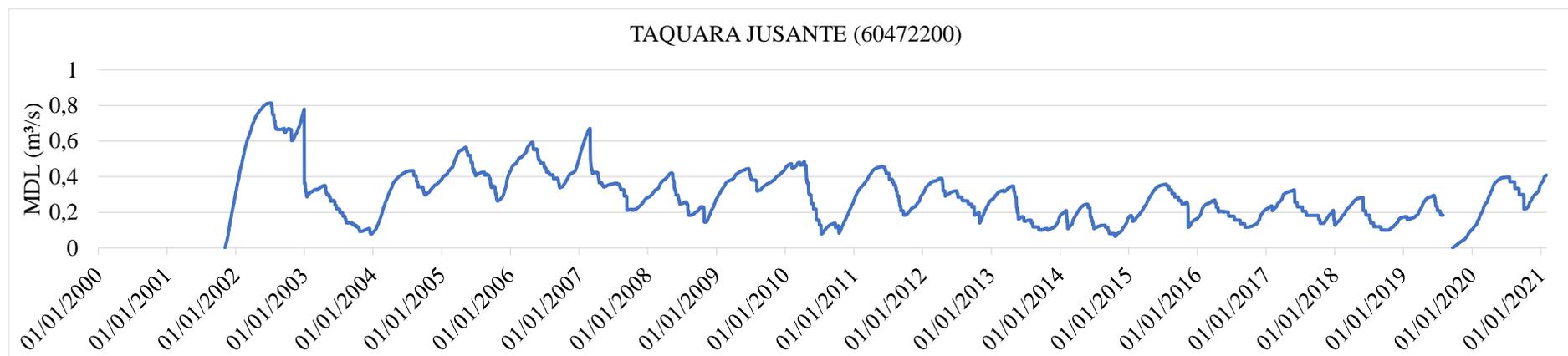


Figura 17 – Estimativas do escoamento de base para a estação fluviométrica Taquara Jusante



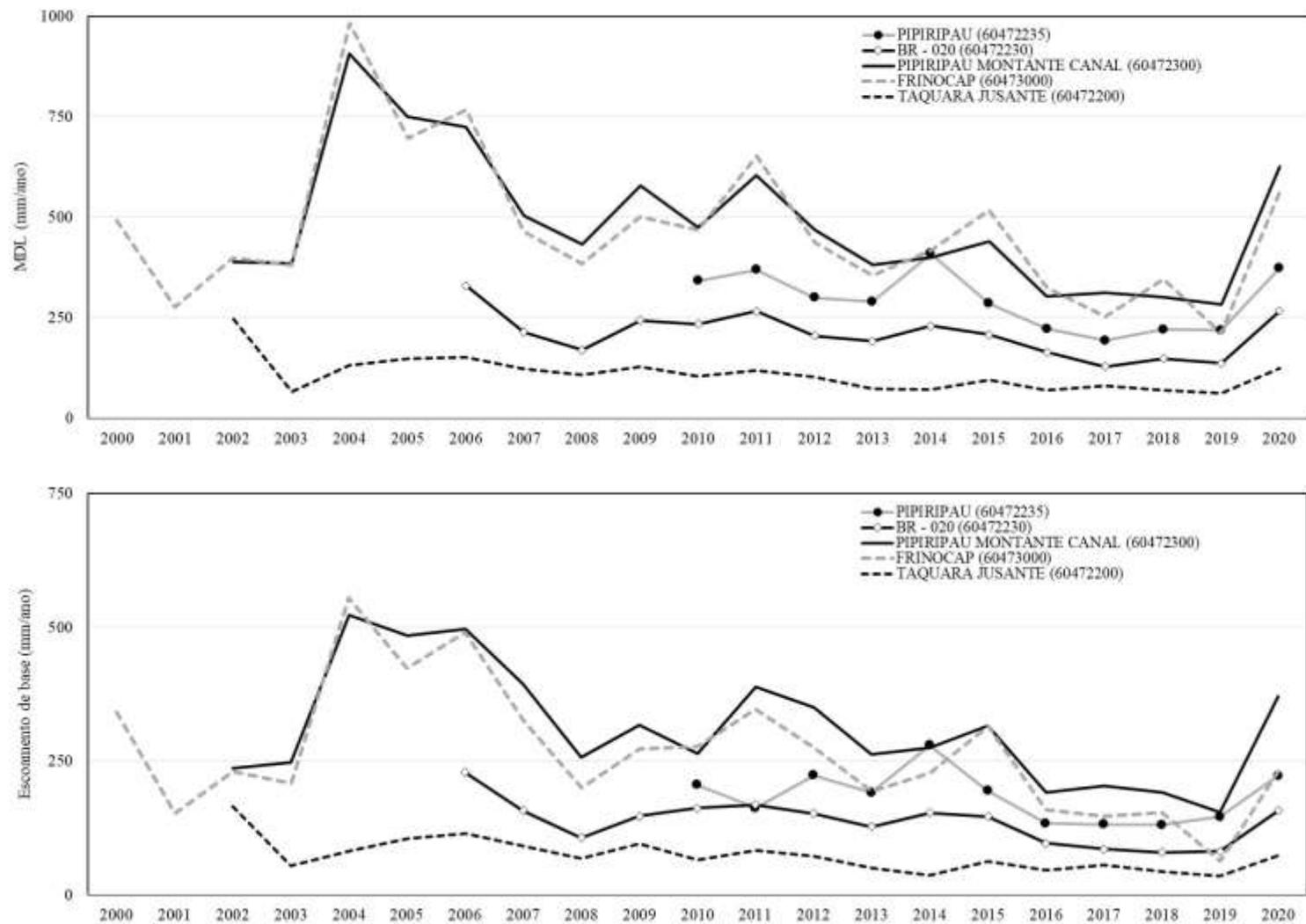
O gráfico da estação PIPIRIPAU MONTANTE CANAL (60472300), (Figura 16), possui registros desde o fim de 2001 até 2021 e as medições vão de 0 a 4 m³/s. Os anos de 2002 e 2003 possuem baixos valores em comparação aos seguintes anos, os anos de 2004 até 2007 possuem as maiores altas nos registros, a partir de 2008 os registros apontam um padrão de nível que varia 0 e 3 m³/s, em 2016 os valores voltam estar baixos até o ano de 2020 quando há aumento. O gráfico também possui falhas entre 2010 e 2011 e entre 2019 e 2021.

A estação FRINOCAP (60473000), (Figura 16), apresentou valores iniciais reduzidos de escoamento de base, entre 0 e 2 m³/s nos anos de 2000 ao fim de 2003. Os anos de 2004 até 2008 possuem os valores mais altos dos registros da estação. Os valores seguem um padrão até o ano de 2016, quando há redução dos dados registrados até o ano de 2020, no qual é possível observar um pequeno aumento em relação aos anos anteriores. O gráfico também possui falhas entre 2019 até 2021.

O gráfico da estação do TAQUARA JUSANTE (60472200), (Figura 17), apresentou os menores valores registrados, que variam de 0 até 1 m³/s. O ano de 2002 registra as maiores altas no escoamento de base estimado. O gráfico contém diversas variações ao decorrer dos registros, possivelmente por estar localizada em um dos tributários do Pípiripau e conter menor área de contribuição. A partir de 2012 há pequena redução nos valores de escoamento de base, em que apontam valores entre 0 e 0,4m³/s. A partir de 2020 há um pico local quando comparado aos anos anteriores. O gráfico também possui falhas entre 2019 e 2021.

Por meio da análise gráfica dos dados de vazão e escoamento de base anuais foi possível observar que os menores valores foram registrados na estação Taquara Jusante, que se encontra em uma sub-bacia tributária do ribeirão Pípiripau (Figura 18). Entre as estações localizadas na drenagem principal do Pípiripau, há um incremento do escoamento no sentido de montante para jusante, na seguinte ordem das estações: BR-020, Pípiripau, Pípiripau Montante canal e FRINOCAP. Apesar da estação FRINOCAP localizar-se mais à jusante e assim apresentar maior área de drenagem entre as estações disponíveis, ela apresenta valores de MDL e escoamento de base inferiores à estação Pípiripau Montante Canal devido a influência do ponto de captação da ETA Pípiripau.

Figura 18 – MDL escoamento de base anuais na bacia do ribeirão Pipiripau



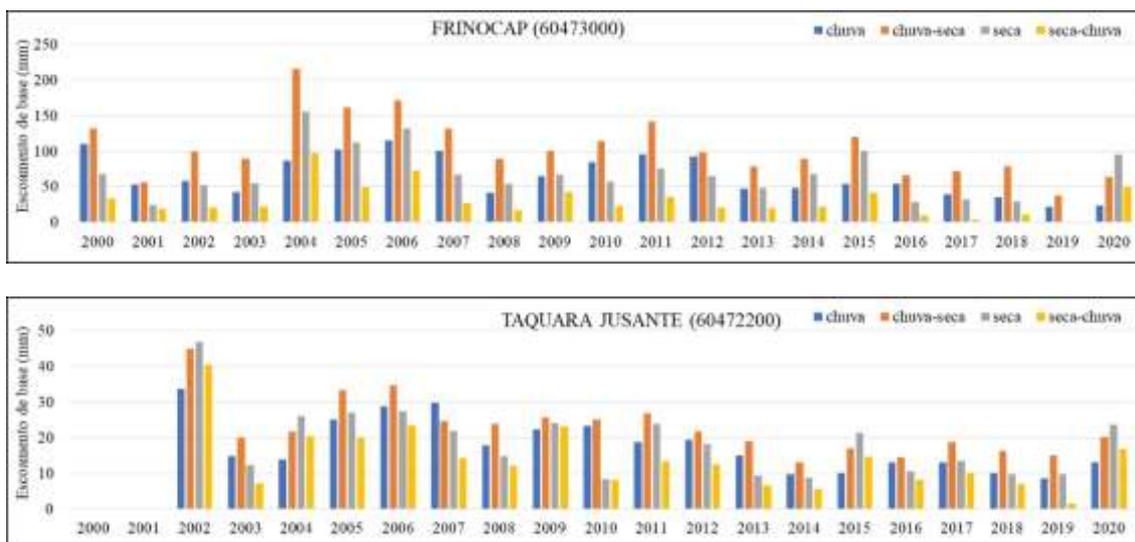
A Figura 18 possibilitou observar tendência geral de incremento do escoamento de base entre 2010 e 2014, porém sem atingir os valores registrados entre 2003 e 2008 para as estações Pipiripau montante canal e FRINOCAP mesmo na escala anual. A partir de 2016 observa-se comportamento de redução, tanto do MDL quanto do escoamento de base, possivelmente em função do cenário de crise hídrica registrada no DF, nesse período. A partir de 2019 há indícios de retomada na elevação do escoamento na bacia.

Por meio da análise dos valores de escoamento de base acumulados em cada estação, verificou-se indicativo de elevação dos valores nas estações seca (junho, julho e agosto) e de transição seca-chuva (setembro, outubro e novembro), com destaque para as estações Frinocap e Taquara jusante (Figura 19 e Figura 20). Esse resultado pode indicar que o escoamento de base, resultante da infiltração da água no solo e recarga dos aquíferos, esteja respondendo positivamente às ações sustentáveis na bacia, mantendo a disponibilidade de água no período de estiagem.

Figura 19 – Escoamento de base acumulado por estação do ano (chuva, chuva-seca, seca e seca-chuva) na bacia do ribeirão Pipiripau



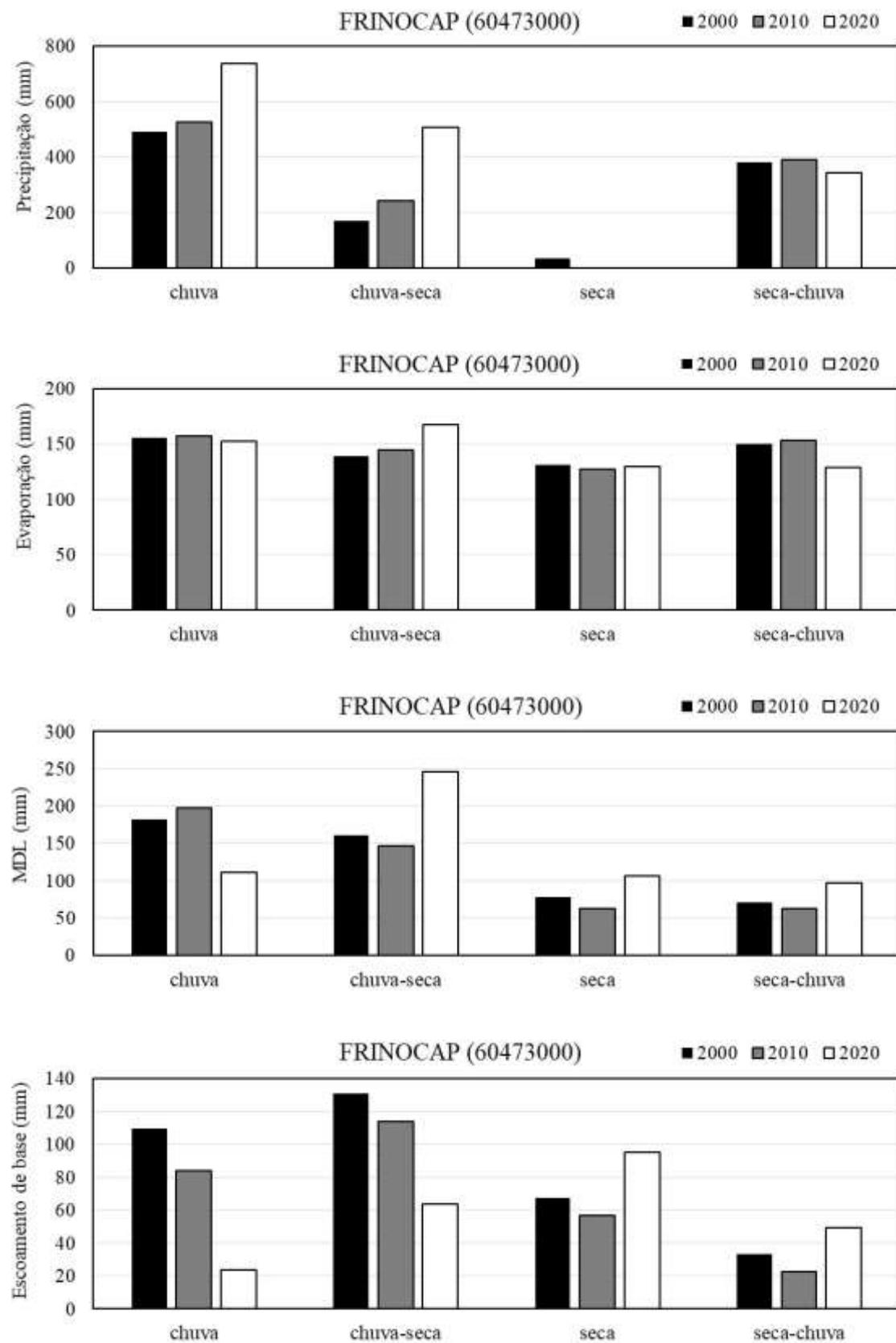
Figura 20 – Escoamento de base acumulado por estação do ano (chuva, chuva-seca, seca e seca-chuva) na bacia do ribeirão Pipiripau



A possível relação entre as condições de uso e cobertura do solo e os serviços ecossistêmicos hidrológicos na bacia, em especial a manutenção do escoamento de base, pode ser observada por meio da Figura 21, com foco na estação FRINOCAP. Além de apresentar série temporal condizente com os períodos de análise de uso e cobertura do solo (2000, 2010 e 2020), a estação FRINOCAP localiza-se no ponto mais à jusante da bacia, indicando o comportamento hidrológico geral da bacia.

Nesse caso, houve aumento na precipitação da estação chuvosa e no período chuva-seca na comparação entre 2020, 2010 e 2000, que não ocorreu para as estações seca e seca-chuva. Os valores de evaporação indicam aumento na transição chuva-seca de 2020 em comparação aos demais períodos, bem como valores mais elevados de escoamento. Por fim, observou-se inversão no comportamento do escoamento de base entre 2000 e 2020, com indicativo de aumento do escoamento de base acumulado durante as estações seca e seca-chuva, possivelmente em resposta ao aumento na vegetação nativa e das ações de adequado manejo do solo resultantes do PPA Pipiripau.

Figura 21 – Avaliação temporal do comportamento hidrológico na estação FRINOCAP



7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Conclui-se com este estudo que houve mudanças no uso e na cobertura do solo na bacia do ribeirão Pipiripau, com possíveis reflexos no comportamento hidrológico da bacia no período de 2000 a 2020. Ações sustentáveis relacionadas principalmente à recuperação da vegetação nativa e ao manejo do solo relacionado ao Programa Produtor de Águas do Pipiripau, iniciado a partir do 2010, resultaram em aumento das áreas de Cerrado na bacia, tanto nas formações savânicas e campestres, quanto da formação florestal da mata de galeria. Como resultado, há indícios da regulação do escoamento da base na bacia, com aumento do volume desse processo hidrológico no período de seca.

O trabalho também conclui uma resposta hídrica negativa, possivelmente pelo avanço na alteração do uso e cobertura do solo da bacia, por práticas antrópicas de agropecuária e pastagens, e possivelmente pelo impacto da captação de água da CAESB entre 2000 e 2010. Foi possível observar a resposta negativa em relação a crise hídrica de 2016 no DF, com reflexo na redução da vazão e do escoamento de base. Contudo, pode-se verificar a elevação da vazão e do escoamento de base a partir de 2019, o que pode indicar resultados da implementação do projeto produtor de água, na bacia do ribeirão Pipiripau.

O trabalho consistiu basicamente na avaliação das classes de uso e cobertura do solo e do comportamento hidrológico da bacia. A criação dos mapas de uso e cobertura do solo foi utilizada como estratégia para avaliar como a bacia foi alterada nos últimos vinte anos e relacionar os dados hídricos com dados digitais de imagens. Entretanto, nesse contexto, também vale ressaltar as falhas presentes na série dos dados hídricos e dados digitais devido ao fato da bacia se encontrar em dois estados (DF e GO).

Os desafios de coletar amostras com mais detalhes para os mapas de uso e cobertura do solo, tiveram limitações por conta da resolução das imagens não possuir um bom nível de detalhamento, porém o resultado foi alcançado com sucesso em referência dos percentuais das diferentes classes de uso na bacia. Os dados hídricos também apresentaram dificuldades para sua análise, onde possuía falhas em registros de vazão e o não acesso para dados de algumas estações.

Por fim espera-se contribuir e trazer utilidade para futuros trabalhos ou informações do estudo feito. O tema ainda permite que outros tipos de assuntos possam ser abordados e inseridos, dessa forma ainda é possível aprofundar-se ainda mais na abordagem hidrológica e de uso e cobertura do solo na bacia. Conclui-se com esse trabalho que a hidrologia da bacia está totalmente ligada aos serviços ecossistêmicos oferecidos pelo solo, o que torna o solo ainda mais importante para a gestão da disponibilidade hídrica da região.

REFERÊNCIAS

- ANA. Programa Produtor de Água. Relatório de diagnóstico socioambiental da Bacia do Ribeirão Pípiripau. **Brasília, DF: ANA: The Nature Conservancy: Emater-DF: Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2010.
- ARNOLD, Jeffrey G.; ALLEN, P. M. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 35, n. 2, p. 411-424, 1999.
- AZEVEDO, Lícia Maria Nunes de. Calibração, validação e aplicação do modelo invest para a estimativa de benefícios aos serviços ecossistêmicos na bacia do Ribeirão Pípiripau (DF/GO). xi, 86 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- BUGAN, R. D. H.; JOVANOVIĆ, N. Z.; DE CLERCQ, W. P. The water balance of a seasonal stream in the semi-arid Western Cape (South Africa). **Water Sa**, v. 38, n. 2, p. 201-212, 2012.
- CAMELO, Ana Paula Silva. Quantificação e valoração do serviço ambiental hidrológico resultante da recomposição de passivos ambientais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pípiripau. 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- CARDOZO, M.; DINIZ, M. B.; SZLAFSZTEIN, C. F. Os serviços ecossistêmicos dos recursos hídricos da Bacia Amazônica como Bens Públicos Globais. **Água y Territorio**, v. 21, p. 103-119, 2023. Universidad de Jaén, Espanha.
- CEDERSTROM, D.J. (1964). **Água subterrânea: uma introdução**. Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança. 280 p.
- COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Atlas do Distrito Federal**. Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2020.
- EMBRAPA. **LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- FREITAS-SILVA, Flávio H.; CAMPOS, José EG. (Organizadores). **Geologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília, DF: IEMA/SEMATEC/UnB**, v. 1, 1998.

- HONDA, E. A.; DURIGAN, G. A restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, v. 44, p. 315-327, 2017.
- IBGE. Manuais Técnicos em Geociências n. 6. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 306 p.
- IBGE. Manuais Técnicos em Geociências n. 7. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 170 p.
- KARMANN, Ivo. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. p. 113-138, 2000.
- LIMA, J. E. F. W.; RAMOS, A. E. **A experiência do Projeto Produtor de Água na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pibiripau**. Brasília, DF: Adasa, Ana, Emater, WWF Brasil. 304 p.: il. 2018
- LOUSADA, E. O.; CAMPOS, J. E. G. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 3, p. 407-414, 2005.
- MARTINS, É. D. S.; REATTO, A.; FARIAS, M. F. R.; VALVERDE, A. A.; BLOISE, G. L. F.; CARDOSO, E. A.; GUIMARÃES, R. F. **Domínios hidrogeológicos da margem direita do córrego divisa, bacia do São Bartolomeu-DF, escala 1: 10.000**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Planaltina, DF, n. 68, p. 1-17, dez, 2002. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/567947/1/bolpd68.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2023.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (M. E. A.). **Ecosystems and human well-being**. Vol. 5. Washington, DC: Island Press, 2005. 563 p.
- SALEMI, L. F.; GROppo, J. D.; TREVISAN, R.; de MORAES, J. M.; MARTINELLI, L. A.; LIMA, W. P. Aspectos hidrológicos da recuperação florestal de áreas de preservação permanente ao longo dos corpos d'água. **Revista do Instituto Florestal** v. 23 n. 1 p. 69-80, 2011.
- SANTOS, P. F. Serviços ecossistêmicos hídricos na Mata Atlântica do Sudeste Brasileiro em cenários de conversão de uso e cobertura do solo e de mudanças climáticas. Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Unidade Federal do Rio de Janeiro, 2019

- SCHARGE, T. J. Evolução da paisagem e relação solo-relevo: caracterização, gênese e desenvolvimento de depressões na bacia do alto Rio Preto (GO, DF, MG). Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- SERAPHIM, A. P. A. C. C.; BEZERRA, M. C. L. Identificação de áreas de recarga de aquíferos e suas interfaces com áreas propícias à urbanização. **Paranoá**, n. 23, p. 68-83, 2019.
- SOARES, L. V. B. **Análise multicritério dos serviços hidro-ambientais do Programa Produtor de Água/ANA: um estudo de caso na bacia do Ribeirão Pípiripau (DF/GO)**. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2015.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Latossolos**. Embrapa, dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em: 08 fev. 2023.
- VASCONCELOS, V. V. O que mantém as águas fluindo em nossos rios?. **Applied Water Science** v. 7 p. 1579-1593, 2015.
- VASCONCELOS, V. V. Recarga de aquíferos: subsídios à gestão hídrica e ambiental da bacia do rio Paracatu – SF7. 276 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.
- ZOBY, J. L. G.; DUARTE, U. Caracterização hidrogeológica da bacia do Ribeirão Sobradinho-Brasília (DF). **Geologia USP. Série Científica**, v. 1, p. 79-99, 2001.