

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA  
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Bruna Kerllen Gonçalves de Oliveira

**MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA MONITORAMENTO DO LENÇOL  
FREÁTICO EM CENÁRIOS DE PASTAGEM E AGROFLORESTA NA  
MICROBACIA DO IFMG, SÃO JOÃO EVANGELISTA**

São João Evangelista

2025

BRUNA KERLLEN GONÇALVES DE OLIVEIRA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA MONITORAMENTO DO LENÇOL  
FREÁTICO EM CENÁRIOS DE PASTAGEM E AGROFLORESTA NA  
MICROBACIA DO IFMG, SÃO JOÃO EVANGELISTA**

Trabalho de conclusão de curso,  
apresentado ao Curso Bacharelado  
em Agronomia do Instituto Federal  
de Minas Gerais- *Campus* São  
João Evangelista para obtenção do  
grau de Bacharel em Agronomia.  
Orientador: Dr. Jonathan da  
Rocha Miranda

São João Evangelista

2025

---

O48m

Oliveira, Bruna Kerllen Gonçalves de.

Modelagem hidrológica para monitoramento do lençol freático em cenários de pastagem e agrofloresta na microbacia do IFMG, São João Evangelista/ Bruna Kerllen Gonçalves de Oliveira – 2025.

36f.: il.

Orientador: Dr. Jonathan da Rocha Miranda.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2025.

1. Geoprocessamento. 2. Piezômetro. 3. Armazenamento hídrico. 4. Escoamento superficial. I. Oliveira, Bruna Kerllen Gonçalves de. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 628

---

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

Bruna Kerllen Gonçalves de Oliveira

**MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA MONITORAMENTO DO LENÇOL  
FREÁTICO EM CENÁRIOS DE PASTAGEM E AGROFLORESTA NA  
MICROBACIA DO IFMG, SÃO JOÃO EVANGELISTA**

Trabalho de conclusão de curso,  
apresentado ao Curso Bacharelado em  
Agronomia do Instituto Federal de  
Minas Gerais- *Campus* São João  
Evangelista para obtenção do grau de  
Bacharel em Agronomia.

Aprovado em 28/02/2025 pela banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

**JONATHAN DA ROCHA MIRANDA**

Data: 17/03/2025 09:05:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Jonathan da Rocha Miranda – IFMG  
(Orientador)**

Documento assinado digitalmente



**GRAZIELE WOLFF DE ALMEIDA CARVALHO**

Data: 17/03/2025 10:15:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof.<sup>a</sup> Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho - IFMG**

Documento assinado digitalmente



**ALISSON CESAR RODRIGUES PEREIRA**

Data: 17/03/2025 22:05:52-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Esp. Álisson César Rodrigues Pereira - IFMG**

“O mundo não foi feito em  
alfabeto. Senão que primeiro em  
água e luz. Depois árvore.”

Manoel de Barros

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre esteve comigo em todos os momentos, dando força, sabedoria e resiliência para enfrentar desafios e lutar pelos meus sonhos.

À minha família, por ser minha base e estrutura, apoiando meus estudos, me dando muito amor e paciência nesta minha jornada.

Ao Prof<sup>o</sup> Mateus Bueno a minha gratidão por ter me dado a oportunidade na iniciação científica, cujo aprendizado foi essencial para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Jonathan Rocha por sua dedicação, paciência e entrega, fundamentais para a realização deste trabalho, meu sincero reconhecimento.

Agradeço aos meus amigos, César, Rafael e Jose Alípio, por todo apoio, companheirismo e colaboração nas aferições dos dados deste trabalho.

Agradeço em especial a Larissa, por todo companheirismo, suporte e paciência nessa etapa final.

Aos professores, por todo o conhecimento, dedicação e contribuição na minha formação.

E um agradecimento especial a mim, por nunca desistir, por ser guerreira e resiliente, acreditar nos meus sonhos e lutar por eles com um sorriso no rosto.

## RESUMO

O estudo analisou a dinâmica hídrica de uma microbacia no campus do Instituto Federal de Minas Gerais, em São João Evangelista, comparando o cenário atual, dominado por pastagens, a uma situação simulada em que essas áreas são convertidas em sistemas agroflorestais. Ao longo de seis meses, monitorou-se o nível freático por meio de piezômetros instalados em poços perfurados com trado. Paralelamente, foi realizado um levantamento aerofotogramétrico para a obtenção de orthomosaico e Modelo Digital de Elevação (MDE), além da delimitação da cabeceira do piezômetro e análise topográfica. O uso do solo foi mapeado por vetorização manual, apoiada em observações de campo, e estabeleceu-se a classificação dos hidrogrupos. Para estimar a capacidade de retenção do solo e o escoamento superficial, adotou-se o Número de Curva (CN), que atribui valores específicos conforme o tipo de uso e o hidrogrupo correspondente. O armazenamento hídrico ( $A = P - ET - Q$ ) foi calculado a partir dos dados de precipitação do CHIRPS e da evapotranspiração estimada pelo MOD16, permitindo avaliar as variações de armazenamento no sistema. A capacidade de infiltração foi determinada por regressão linear entre as leituras dos piezômetros e os componentes do armazenamento hídrico. Os resultados mostram que, no cenário atual, a baixa infiltração contribui para o aumento do escoamento superficial e para oscilações abruptas nos níveis freáticos, sobretudo em períodos secos. Em contrapartida, a adoção de sistemas agroflorestais promoveu elevação significativa na infiltração, resultando em recarga constante e maior estabilidade do lençol freático.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento. Piezômetro. Armazenamento hídrico. Escoamento superficial.

## ABSTRACT

The study analyzed the water dynamics of a micro-watershed on the campus of the Federal Institute of Minas Gerais, in São João Evangelista, comparing the current scenario, dominated by pastures, to a simulated situation in which these areas are converted into agroforestry systems. Over six months, the water table level was monitored using piezometers installed in boreholes drilled with an auger. Additionally, an aerial photogrammetric survey was conducted to obtain an orthomosaic and a Digital Elevation Model (DEM), along with the delineation of the piezometer head and topographic analysis. Land use was mapped through manual vectorization, supported by field observations, and the classification of hydrological soil groups was established. To estimate soil retention capacity and surface runoff, the Curve Number (CN) method was applied, assigning specific values based on land use type and the corresponding hydrological soil group. The water storage ( $A = P - ET - Q$ ) was calculated using precipitation data from CHIRPS and evapotranspiration estimated by MOD16, allowing for an assessment of storage variations in the system. Infiltration capacity was determined through linear regression between piezometer readings and the components of the water storage. The results indicate that, in the current scenario, low infiltration contributes to increased surface runoff and abrupt fluctuations in groundwater levels, particularly during dry periods. In contrast, the adoption of agroforestry systems significantly enhanced infiltration, leading to consistent recharge and greater stability of the water table.

**Keywords:** Geoprocessing. Piezometer. Water storage. Surface runoff.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Descrição da Área de Estudo</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Leitura do Piezômetro</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Levantamento aerofotogramétrico</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Delimitação da cabeceira do piezômetro</b> .....	<b>14</b>
<b>2.5</b>	<b>Classificação do uso do solo</b> .....	<b>15</b>
<b>2.6</b>	<b>Determinação dos Hidrogrupos</b> .....	<b>15</b>
<b>2.7</b>	<b>Determinação do Valor do Coeficiente de Escoamento (CN)</b> .....	<b>16</b>
<b>2.8</b>	<b>Cálculo de Retenção (S) e Escoamento (Q)</b> .....	<b>16</b>
<b>2.9</b>	<b>Armazenamento hídrico</b> .....	<b>17</b>
<b>2.10</b>	<b>Determinação da capacidade de infiltração em diferentes cenários</b> .....	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A conservação e o manejo sustentável dos recursos hídricos são desafios determinantes em um cenário de intensificação do uso do solo e mudanças climáticas globais. Em bacias hidrográficas, a dinâmica hídrica é fortemente influenciada pelo tipo de cobertura do solo, práticas de manejo e características topográficas. A relação entre infiltração, escoamento superficial e recarga do lençol freático desempenha um papel determinante na disponibilidade hídrica ao longo do ano, especialmente em regiões vulneráveis a períodos de seca e chuvas intensas. Contudo, práticas de uso intensivo da terra, como o predomínio de pastagens extensivas e solos expostos, frequentemente resultam em compactação do solo, redução da capacidade de infiltração e aumento do escoamento superficial, comprometendo a sustentabilidade hídrica (GÓMEZ-DELGADO *et al.*, 2011; CROSBIE *et al.*, 2008).

Nesse contexto, os sistemas agroflorestais têm ganhado destaque como uma alternativa eficaz para mitigar os impactos negativos do uso do solo sobre os recursos hídricos. Esses sistemas integram árvores, culturas agrícolas e pastagens de maneira sustentável, promovendo benefícios ecológicos como aumento da porosidade do solo, maior retenção de água, redução da erosão e estabilização do ciclo hidrológico (KEBEDE *et al.*, 2024). Estudos indicam que agroflorestas melhoram significativamente a infiltração e a recarga do lençol freático, além de minimizar a variabilidade sazonal nos níveis freáticos, especialmente em áreas sujeitas a eventos climáticos extremos (GÓMEZ-DELGADO *et al.*, 2011; SHARMA; ASHWATH, 2006). Essas características tornam os sistemas agroflorestais uma ferramenta essencial para a recuperação de áreas degradadas e a adaptação de bacias hidrográficas às mudanças climáticas.

Apesar de sua eficácia, a adoção de sistemas agroflorestais ainda enfrenta desafios relacionados ao planejamento de uso do solo e à falta de dados integrados sobre sua influência nos processos hidrológicos em diferentes cenários. Nesse sentido, análises de armazenamento hídrico e monitoramento piezométrico surgem como ferramentas fundamentais para avaliar os efeitos das mudanças no uso do solo sobre a dinâmica hídrica. Essas metodologias permitem compreender como práticas conservacionistas, como as agroflorestas, impactam a recarga hídrica, a retenção de água no solo e a resiliência ambiental (CARDINAEL *et al.*, 2020).

Paralelamente, o avanço das tecnologias de geoprocessamento e modelagem hidrológica têm revolucionado o estudo e o planejamento de bacias hidrográficas. O geoprocessamento permite a integração e análise de dados espaciais, como declividade,

cobertura do solo e rede de drenagem, fornecendo uma visão detalhada sobre as interações entre o uso da terra e os processos hidrológicos (BARBOSA *et al.*, 2022). Já a modelagem hidrológica oferece ferramentas preditivas para simular cenários futuros de uso do solo e avaliar os impactos potenciais de práticas conservacionistas, como a introdução de sistemas agroflorestais. A combinação dessas abordagens é essencial para identificar áreas prioritárias para intervenções, prever mudanças nos padrões de recarga hídrica e monitorar a eficácia de práticas sustentáveis de manejo do solo (HUANG *et al.*, 2021; ACHARYA, 2016)

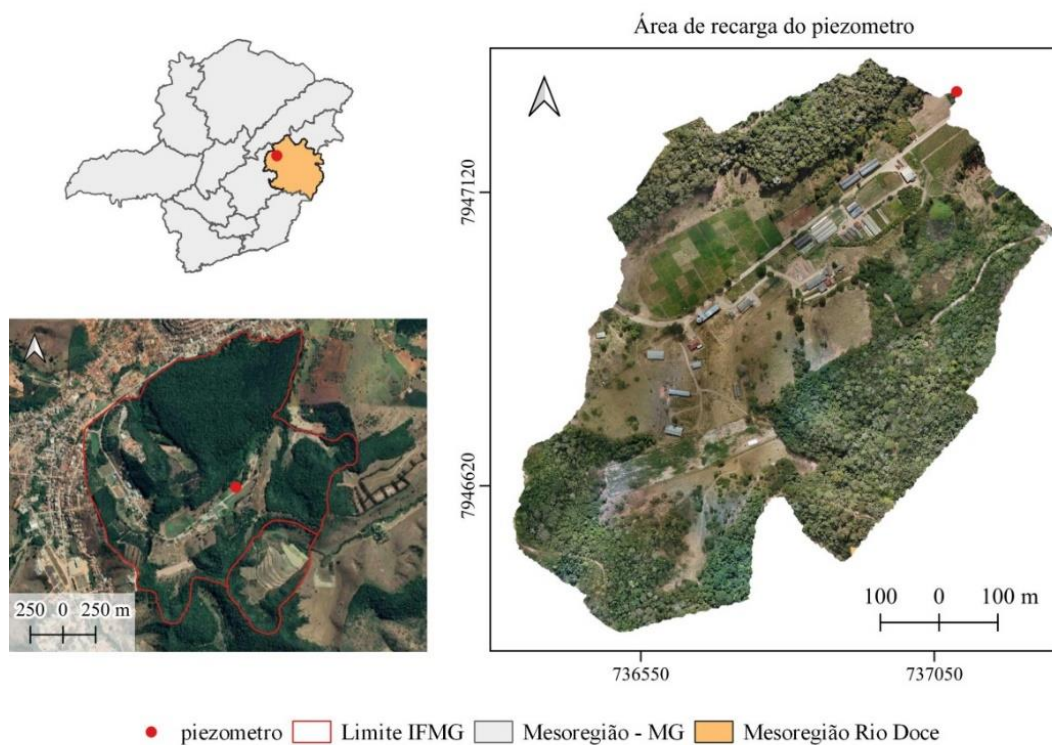
Este estudo tem como objetivo a avaliação dos impactos de dois cenários distintos de uso do solo sobre a dinâmica hídrica de uma microbacia hidrográfica: o cenário atual, caracterizado pelo predomínio de pastagens, e um cenário simulado, que incorpora sistemas agroflorestais. Busca-se analisar como a melhoria das condições físicas e biológicas do solo, proporcionada pela maior cobertura vegetal e pela redução da compactação, por exemplo, pode influenciar a infiltração de água no solo, e consequentemente, aumentar a recarga do lençol freático, contribuindo para o armazenamento hídrico ao longo do tempo. Além disso, compreender de que forma essa alteração no uso do solo pode gerar para a dinâmica hídrica e favorecer a adoção de práticas de manejo sustentáveis.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo está localizada na microbacia hidrográfica pertencente ao Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista, situado no município de São João Evangelista, Minas Gerais, apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Localização da área de estudo



Sistema de projeção UTM SIRGAS 2000 Fuso 23

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

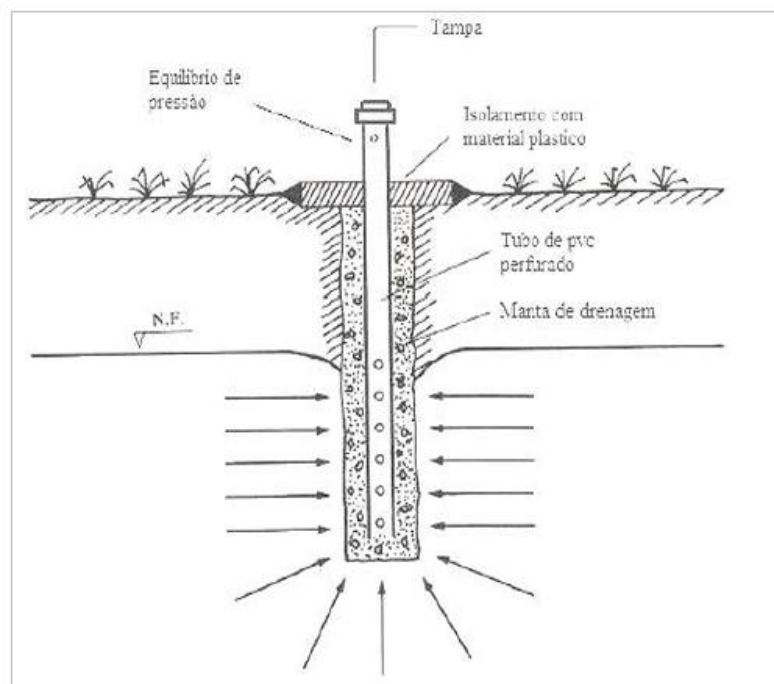
Geograficamente, a área de estudo está inserida nas coordenadas  $18^{\circ} 32' 46''$  S e  $42^{\circ} 45' 35''$  W, a uma altitude de 692 metros acima do nível do mar. A região é caracterizada pelo clima do tipo Cwa, conforme a classificação de Köppen, que descreve um clima tropical de altitude com estações bem definidas: verões quentes e úmidos, e invernos secos (ALVARES *et al.*, 2013).

## 2.2 Leitura do piezômetro

As observações do lençol freático foram realizadas de modo semanal ao longo de seis meses, entre junho e dezembro de 2022. Para efetuar as medições, adotou-se o método de campo por trado. A perfuração do poço foi conduzida com o auxílio de uma cavadeira e de um trado manual de 200 mm de diâmetro, estendeu-se até alcançar o nível do lençol freático.

O piezômetro é constituído por um tubo de PVC com 200 cm de diâmetro. Na porção inferior (0 a 150 cm), foram feitos furos de 1 cm de diâmetro, espaçados a cada 10 cm ao longo de toda a circunferência, para permitir a livre entrada e saída da água. A extremidade inferior do tubo foi revestida com uma malha fina de poliéster, presa por uma braçadeira e finalizada com um nó, a fim de evitar o entupimento dos orifícios como, na Figura 2.

Figura 2 - Esquema do modelo de poço de observação instalado



Fonte: CRUCIANI (1987).

A partir da confecção do material necessário, inseriu-se a extremidade inferior do piezômetro até o fundo do poço, de modo que aproximadamente 50 cm do tubo ficassem acima do nível do solo. Com o intuito de impedir a infiltração lateral de água, aplicou-se 1 m<sup>2</sup> de filme plástico na superfície do solo em torno do equipamento. Por fim, a parte superior do piezômetro foi vedada para evitar a entrada de água da chuva ou de resíduos indesejáveis.

### 2.3 Levantamento aerofotogramétrico

As imagens aéreas foram obtidas com o uso de um drone modelo Mavic Pro, equipado com uma câmera dotada de sensor CMOS de 1/2.3" e 12,35 megapixels efetivos. O plano de voo foi configurado de modo a capturar todas as fotografias em um mesmo momento evitando assim discrepância do brilho da imagem devido a mudança de iluminação ao longo do dia, Tabela 1.

Tabela 1 - Configuração do plano de voo

Especificações do voo	Unidade
Altura de voo	100 m
Sobreposição Lateral	75%
Sobreposição Longitudinal	75%
Velocidade do drone	5 m/s
Ângulo da câmera	90°
Resolução da imagem	2 cm

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Foram distribuídos ao longo da área de estudo pontos de controle para fins de georreferenciamento do mosaico de imagens oriundo do levantamento aerofotogramétrico. Esses pontos foram coletados por meio do o GPS Geodésico Hiper V, fabricante Topcon, modo RTK (Real Time Kinematic) (Precisão Horizontal H: 5mm+0,5 ppm e precisão vertical V:10mm+0,8ppm) em tempo real no qual foram selecionados com base em feições de referência permanentes, ou seja, elementos fixos no terreno que apresentam alta estabilidade ao longo do tempo, como esquinas de ruas e outros alvos que não sofrem alterações significativas.

Após o voo foi efetuado o processamento das imagens com o objetivo da obtenção do orthomosaico e o modelo digital de elevação de acordo com as etapas:

- a) alinhamento das fotos: envolve a correspondência e o alinhamento das imagens individuais, baseando-se em características comuns presentes em múltiplas fotos. Corrigidos erros de geometria e incerteza eliminando 5% dos pontos com maior erro;
- b) nuvem densa de pontos: composta por um grande número de pontos tridimensionais que representam a superfície da área mapeada;
- c) classificação da nuvem densa de ponto: distinguir entre os diferentes tipos de superfícies capturados, como vegetação, construções, e, mais importante, o terreno.

Especificamente, foi aplicado um filtro configurado para excluir pontos com declividades superiores a 25% em um raio de 1,5 metros, utilizando uma janela móvel de 20 metros;

- d) construção do Modelo digital de elevação (MDE): A partir da interpolação dos pontos das nuvem densa classificada, é gerada uma superfície raster que representa a elevação do terreno em uma grade regular;
- e) construção do orthomosaico: construído utilizando as imagens originalmente alinhadas e o MDE gerado. Um ortomosaico é uma imagem aérea corrigida geometricamente, onde todas as distorções causadas pela perspectiva da câmera e pela topografia do terreno são removidas.

## 2.4 Delimitação da cabeceira do piezômetro

A delimitação da cabeceira do piezômetro foi realizada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado por meio do levantamento aerofotogramétrico. Inicialmente, os dados de altitude passaram por um pré-processamento para corrigir depressões e sumidouros, que são anomalias resultantes de imperfeições nos dados ou limitações na resolução do sensor. Essas correções são fundamentais para evitar distorções na modelagem do escoamento superficial da água, garantindo que o MDE represente com maior fidelidade as características reais do terreno (GROHMAN *et al.*, 2006).

Após a correção das anomalias, foi realizado o cálculo do fluxo de direção, que identifica a direção do escoamento da água para cada célula do raster, com base no gradiente topográfico (GOPINATH *et al.*, 2014). Em seguida, foi gerado um mapa de fluxo acumulado, que quantifica o número total de células que contribuem para o escoamento em uma célula específica.

Com base no mapa de fluxo acumulado, estabeleceu-se um limiar de área mínima para a delimitação das microbacias, adotando-se um valor máximo de 4 para as áreas que concentram maior escoamento superficial, uma vez que, são caracterizadas por ter mínima capacidade de absorção de água no solo, resultando em um rápido direcionamento do fluxo superficial para o exutório da bacia hidrográfica. Este critério foi aplicado para identificar os pontos de exutório, que correspondem aos locais onde os piezômetros foram instalados. A partir desse processamento, foi possível delimitar a área de contribuição a montante do piezômetro, bem como a rede de drenagem associada.

## 2.5 Classificação do uso do solo

O mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizado através da vetorização manual das feições, com base no processo de reconhecimento de campo. A abordagem manual de vetorização foi escolhida para garantir a acurácia na delimitação das feições, considerando as variações espaciais que podem não ser capturadas por métodos automatizados.

## 2.6 Determinação dos Hidrogrupos

Foi estabelecido os critérios de proximidade da rede de drenagem e da declividade para estabelecer regras de decisão de separação dos hidrogrupos. A proximidade da rede de drenagem desempenha um critério devido que as áreas próximas aos cursos d'água tendem a ter solos mais saturados e, portanto, menor capacidade de infiltração. Isso resulta em um escoamento superficial mais rápido e pronunciado. Por outro lado, áreas mais distantes da rede de drenagem possuem maior capacidade de infiltração, pois o solo tende a estar menos saturado, permitindo que a água penetre mais facilmente (FAILACHE, 2018).

Com relação a declividade terrenos com alta declividade favorecem o escoamento superficial rápido, reduzindo o tempo de infiltração da água no solo. Em contrapartida, áreas com baixa declividade permitem que a água permaneça por mais tempo na superfície, aumentando as chances de infiltração. Foi estabelecido os seguintes critérios para classificação dos hidrogrupos:

- a) Hidrogrupo A: Áreas com declividade menor que 20% e distância à rede de drenagem maior que 100 metros, caracterizadas pela maior capacidade de infiltração.
- b) Hidrogrupo B: Áreas com declividade menor que 20% e distância à rede de drenagem entre 50 e 100 metros, com capacidade de infiltração moderada.
- c) Hidrogrupo C: Áreas com declividade superior a 20% ou com proximidade à rede de drenagem inferior a 50 metros, onde a capacidade de infiltração é limitada.
- d) Hidrogrupo D: Áreas muito próximas à rede de drenagem, independentemente da declividade, onde a infiltração é mínima e o escoamento superficial é predominante.

## 2.7 Determinação do valor do Coeficiente de Escoamento (CN)

O Número de Curva (CN) é um índice numérico, variando de 0 a 100, que expressa o potencial de uma área para gerar escoamento superficial após um evento de precipitação. Valores baixos de CN indicam uma alta capacidade de infiltração do solo, resultando em menor escoamento superficial. Em contrapartida, valores elevados de CN indicam uma baixa capacidade de infiltração e, conseqüentemente, um maior escoamento superficial (BOSZNAY, 1989).

Para determinar o CN adequado para a área de estudo, foi conduzida uma revisão bibliográfica abrangente, consultando estudos que exploram a relação entre o CN, o uso e ocupação do solo, e os respectivos hidrogrupos, conforme a Tabela 2 (BOSZNAY, 1989; HJELMFELT, 1991; MISHRA; SINGH, 2003, 2004).

Tabela 2 - Valor do CN em função dos hidrogrupos e do uso e ocupação do solo

Classe de Uso do Solo	Hidrogrupos			
	A	B	C	D
Agrofloresta	40	60	72	79
Benfeitoria	77	84	92	96
Calçamento	77	85	90	92
Eucalipto espaçado	45	60	72	79
Fragmento de mata	30	55	70	77
Mata densa	30	55	70	77
Pastagem	65	75	82	88
Pastagem em piquetes	55	70	79	85
Solo exposto	72	82	87	89
Sorgo	58	72	78	82
Vegetação rasteira	55	70	79	84

Fonte: Adaptado de (BOSZNAY, 1989; HJELMFELT, 1991; MISHRA; SINGH, 2003, 2004).

## 2.8 Cálculo da Retenção (S) e Escoamento (Q)

O Potencial de Retenção Máximo (S) representa a capacidade total que uma área de solo tem para reter água antes de começar a gerar escoamento superficial (MISHRA *et al.*, 2006). O valor S foi calculada a partir do Número de Curva (CN) (Equação 1).

$$S = 254 * \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (1)$$

Este valor representa a capacidade máxima do solo de reter água antes do início do escoamento superficial.

O valor Q representa o escoamento superficial, que é a quantidade de água da chuva que, após precipitar sobre uma área, flui sobre a superfície do terreno em vez de se infiltrar no solo ou ser absorvida pela vegetação (MISHRA *et al.*, 2006). Seu valor foi determinado por meio do valor de retenção (S) e a quantidade de precipitação (P) (Equação 2).

$$Q = \left( \frac{P - 0,2S}{P + 0,8S} \right)^2 \quad (2)$$

Para  $P > 0,2S$  e  $Q = 0$  para  $P < 0,2S$

## 2.9 Armazenamento hídrico

Foi utilizado dados de precipitação obtidos a partir do conjunto de dados CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) para o ano de 2022, com o objetivo de analisar as variabilidades espaciais e temporais das chuvas na área de estudo. O CHIRPS é um produto global que combina observações de estações meteorológicas com estimativas de precipitação derivadas de satélite, oferecendo uma cobertura espacial ampla e uma resolução temporal diária, o que o torna uma ferramenta valiosa para análises climatológicas e estudos hidrológicos (FUNK *et al.*, 2015).

Além disso, a evapotranspiração foi estimada utilizando os dados do produto MOD16, que fornece estimativas globais de evapotranspiração com base em dados de sensoriamento remoto obtidos pelo sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). O produto MOD16 considera diversos parâmetros, incluindo a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa e a cobertura vegetal, permitindo uma estimativa precisa da evapotranspiração real em diferentes ecossistemas (RUNNING *et al.*, 2019).

O armazenamento hídrico é expresso pela equação 3:

$$A = P - ET - Q \quad (3)$$

Em que A é quantidade de água armazenada no sistema (mm), P é a precipitação, ET é a evapotranspiração e Q o escoamento da água da chuva.

Para fins de evitar valores negativos no armazenamento hídrico acumulado, considerou o armazenamento máximo de 1000 mm para a data 01 de janeiro de 2022.

### **2.10 Determinação da capacidade de infiltração em diferentes cenários**

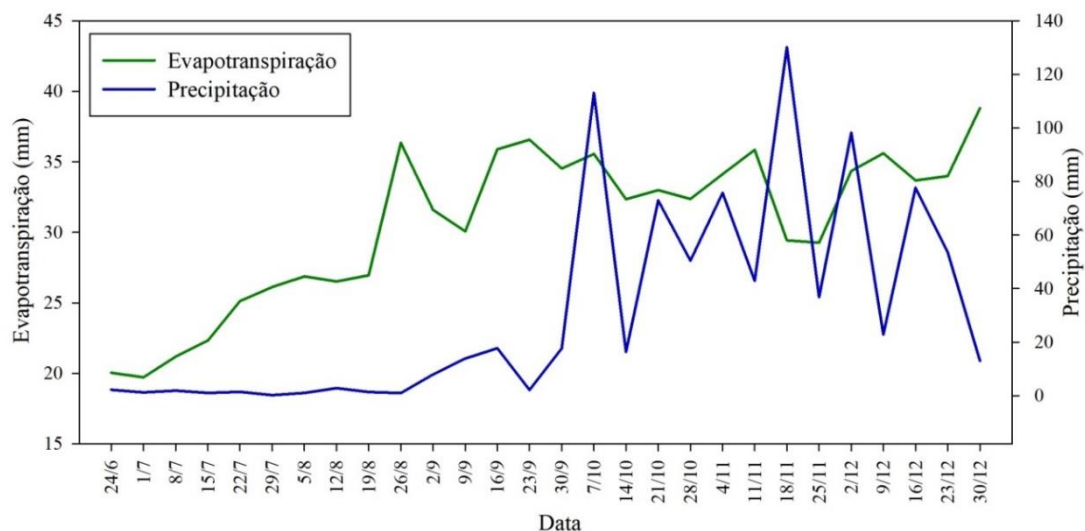
As leituras dos piezômetros foram diretamente correlacionadas com os valores obtidos do armazenamento hídrico, através de uma regressão linear simples. Essa análise permitiu identificar a relação entre o nível do lençol freático e os componentes do armazenamento hídrico, como precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração.

Além disso, foi projetado um cenário hipotético em que as áreas atualmente ocupadas por pastagem fossem convertidas em sistemas agroflorestais. Com essa mudança, recalculou-se o valor do escoamento superficial e revisou-se o armazenamento hídrico, a fim de comparar a capacidade de infiltração da água no solo entre o cenário atual e o cenário proposto com práticas conservacionistas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da dinâmica hídrica na área de estudo evidenciou que o aumento da evapotranspiração acompanha diretamente a precipitação, ressaltando a interação entre as condições climáticas e a vegetação local, conforme a Figura 3. Esse padrão também foi observado em estudos que destacam como a disponibilidade hídrica regula os processos ecossistêmicos, especialmente em áreas com cobertura florestal (VÁSQUEZ, 2019; SOUZA; FONTES, 2024). Nessas regiões, a vegetação desempenha um papel fundamental na modulação do ciclo hidrológico por meio de processos como interceptação da chuva e evapotranspiração.

Figura 3 - Análise temporal da evapotranspiração e da precipitação para o período de junho a dezembro de 2022



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Essa relação dinâmica demonstra como a disponibilidade hídrica molda o funcionamento do ecossistema, sobretudo em áreas florestais suscetíveis às variações climáticas. Durante a estação seca, a redução da evapotranspiração reflete a fragilidade do sistema florestal, que depende criticamente da água no solo para sustentar a transpiração e regular o ciclo hidrológico regional (DA LUZ, 2023; CORREA; GALVANI, 2012). A rápida recuperação observada no período chuvoso destaca a capacidade adaptativa de vegetações mais densas, capazes de responder prontamente à reposição hídrica, como evidenciado em estudos sobre a resiliência da cobertura vegetal em áreas de Cerrado e Mata Atlântica (CHECCHIA *et*

*al.*, 2007; RODRIGUES *et al.*, 2020).

Entretanto, essa resiliência depende da manutenção da cobertura vegetal, pois áreas de uso intensivo, como pastagens e solos expostos, apresentam menor capacidade de infiltração e retenção de água, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a disponibilidade hídrica para a evapotranspiração (MONTEIRO, 2024; ANDRADE *et al.*, 2017). Essa interação reforça a importância de práticas conservacionistas, como o reflorestamento e o manejo sustentável do solo, para mitigar os impactos das alterações no uso da terra sobre o ciclo hidrológico (GROPPO, 2010).

Em termos de uso do solo, de acordo com a Tabela 3, constatou-se que a mata densa ocupa a maior parcela da área (24,67%), seguida pelas pastagens, que totalizam aproximadamente 19% da cobertura (16,19% de pastagem convencional e 2,92% de pastagem irrigada). Esses dados refletem a coexistência de áreas naturais e antrópicas na microbacia, evidenciando desafios e oportunidades para a conservação ambiental e a gestão hídrica (PINHEIRO *et al.*, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2012).

Tabela 3 - Uso e ocupação do solo observada pela classificação do orthomosaico a montante do piezômetro no ano de 2022

<b>Usos do solo</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Benfeitoria	7.098	0,77
Eucalipto Espaçado	2.512	0,27
Eucalipto Adensado	344	0,04
Fragmentação de mata	27.908	3,02
Mata Densa	228.309	24,67
Pastagem	149.815	16,19
Pastagem irrigada	26.988	2,92
Agrofloresta	331	0,04
Solo exposto	10.409	1,12
Sorgo	5.991	0,65
Asfalto	10.899	1,18
Vegetação rasteira	61.485	6,64

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A elevada proporção de pastagens é particularmente preocupante quanto à capacidade de infiltração hídrica. Estudos indicam que o manejo inadequado em áreas de pastagem pode levar à compactação do solo, o que reduz a porosidade e a taxa de infiltração de água, aumentando significativamente o escoamento superficial e a suscetibilidade à erosão

(BRIZZI *et al.*, 2018). Essa dinâmica intensifica os riscos de degradação do solo e compromete a qualidade e a disponibilidade de recursos hídricos para a evapotranspiração e outros processos ecossistêmicos (MARMONTEL; RODRIGUES, 2015).

A manutenção da mata densa, por outro lado, desempenha papel crucial na estabilização da estrutura do solo, favorecendo a infiltração de água e reduzindo a erosão. Áreas de floresta apresentam taxas de infiltração mais altas devido à proteção natural da cobertura vegetal, o que ajuda a manter o equilíbrio do ciclo hidrológico regional (BOCHNER, 2007; MORAES, 2018). A substituição dessas áreas por pastagens ou cultivos agrícolas, quando realizada de maneira inadequada, pode agravar os problemas de degradação ambiental e aumentar a carga de sedimentos nos corpos hídricos (CALDERANO, 2014; PERAZZOLI *et al.*, 2013).

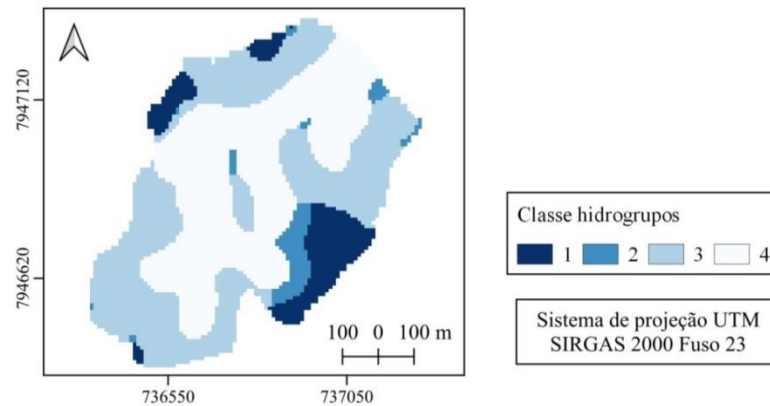
A predominância das classes de solo C e D, que abrangem cerca de 75% da área, indica uma baixa capacidade de retenção hídrica, causada principalmente por fatores topográficos, como declividades acentuadas e proximidade à rede de drenagem, descritos na Tabela 4 e Figura 4. Essa configuração reforça a vulnerabilidade hidrológica da bacia, pois solos com essas características apresentam menor capacidade de infiltração, favorecendo o escoamento superficial e a consequente erosão (MARTINS, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2018). Esses processos são frequentemente agravados em áreas com manejo inadequado, que promovem a compactação do solo e reduzem ainda mais sua capacidade de armazenar água (SILVA *et al.*, 2012; GOMES *et al.*, 2021).

Tabela 4 - Área ocupada por cada classe de hidrogrupos a montante do piezômetro

<b>Classes Hidrogrupos</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
A	5.138	0,96
B	135.098	25,35
C	211.876	39,75
D	180.898	33,94

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

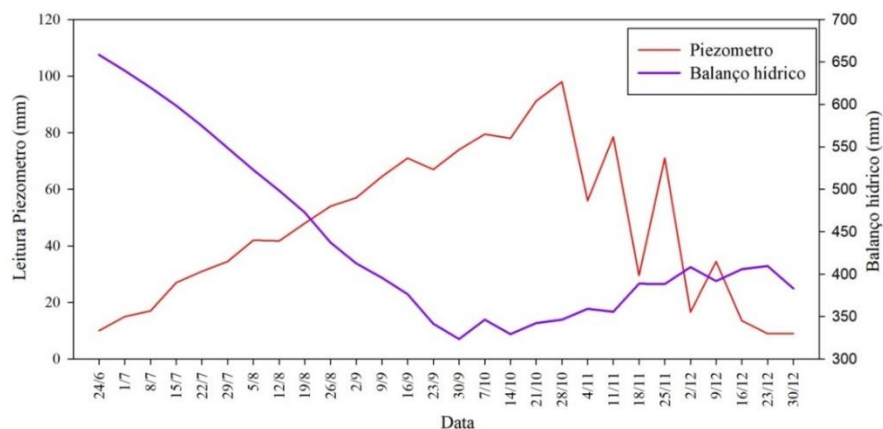
Figura 4 - Espacialização das classes de hidrogrupo a montante do piezômetro



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A leitura do piezômetro está diretamente proporcional ao armazenamento hídrico sua cabeceira conforme a Figura 5. A análise integrada da piezometria e do armazenamento hídrico permite não apenas compreender os processos hidrológicos locais, mas também definir áreas prioritárias para intervenções conservacionistas e avaliar a eficácia de diferentes técnicas de manejo do solo. Por exemplo, em áreas do Sistema Aquífero Guarani, estudos revelaram que a modelagem espacial de zonas de recarga pode orientar práticas sustentáveis de manejo e conservação de recursos hídricos (PAES, 2014). Além disso, a dinâmica sazonal dos níveis freáticos em aquíferos do semiárido brasileiro demonstra a importância do planejamento adequado para evitar a degradação do solo e a escassez de água (ALMEIDA, 2020; ANDRADE, 2010).

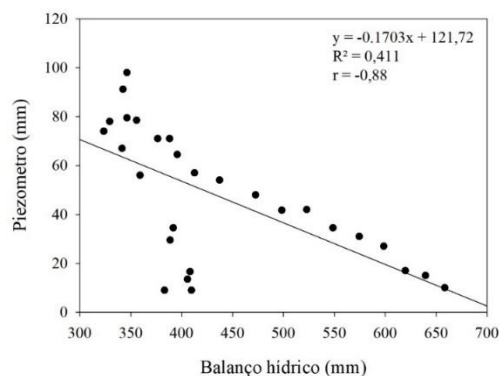
Figura 5 - Leituras observadas do piezômetro e o valor do armazenamento hídrico ao longo dos meses de junho a dezembro de 2022



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os resultados indicam uma forte correlação desproporcional entre o armazenamento hídrico e o nível do lençol freático ( $r = -0,88$ ) na Figura 6. A correlação entre o armazenamento hídrico e a piezometria também possibilita prever os impactos de alterações no uso e na cobertura do solo. Em regiões agrícolas, como no semiárido nordestino, o manejo inadequado do solo pode comprometer a recarga dos aquíferos aluviais, resultando em salinização e diminuição da qualidade da água (ALBUQUERQUE, 2013). Por outro lado, estratégias como a recarga artificial de aquíferos e a implementação de práticas de conservação, como reflorestamento e terraceamento, têm mostrado resultados promissores na manutenção da funcionalidade hidrológica (EICHLER, 2012; SOUSA, 2018).

Figura 6 - Análise de regressão entre o piezômetro e o armazenamento hídrico para o ano de 2022



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

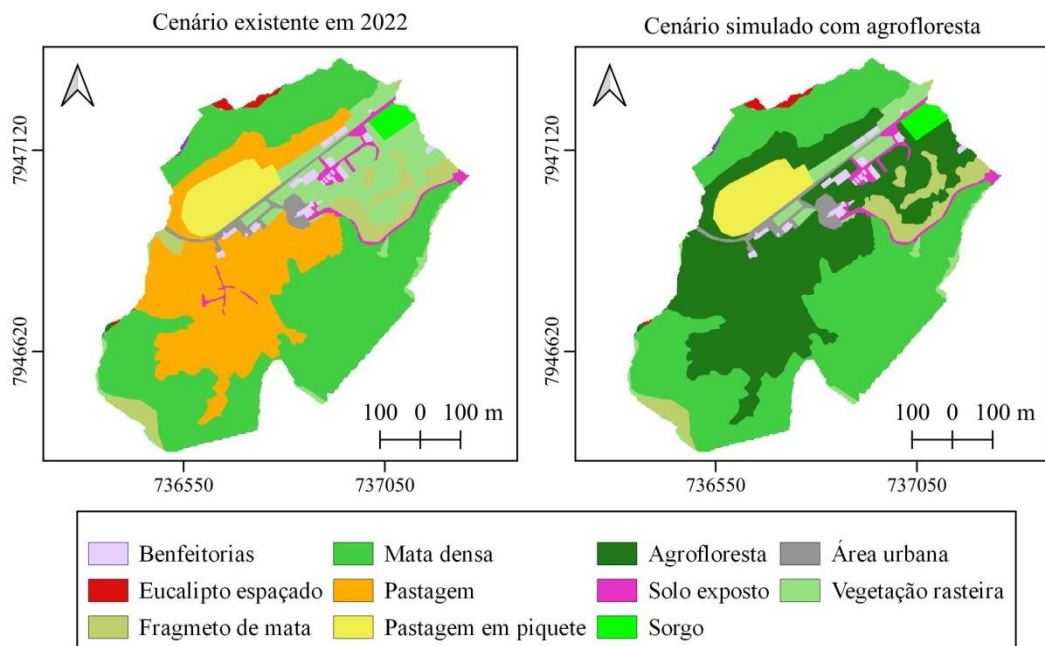
A aplicação dessa análise permite não apenas compreender a dinâmica hidrológica da bacia, mas também identificar áreas prioritárias para intervenções, como práticas conservacionistas e técnicas de manejo do solo. A introdução de práticas conservacionistas, como sistemas agroflorestais, tem demonstrado significativa eficiência na mitigação de impactos hidrológicos associados a mudanças no uso do solo, contribuindo para a redução do escoamento superficial e para o aumento da infiltração de água no solo (KAZAY; OLIVEIRA, 2014; SANTOS *et al.*, 2023).

Além disso, a correlação entre os dados obtidos por meio do armazenamento hídrico e as medições de campo, como as leituras do piezômetro, reforça o potencial dessas ferramentas no monitoramento e na avaliação da eficácia de ações conservacionistas. Estudos mostram que os sistemas agroflorestais promovem uma recuperação significativa da capacidade de

infiltração do solo e do armazenamento hídrico, contribuindo diretamente para a resiliência ambiental (CARMO SANTOS, 2021; ZAMBONIM *et al.*, 2024).

A projeção dos cenários de 2022 e o simulado com o sistema agroflorestal implementado demonstra os locais onde esta conversão se faz necessária, Figura 7. Essa transição destaca as alterações propostas no uso do solo, priorizando a manutenção e a ampliação de áreas de mata densa e fragmentos florestais, além da substituição de pastagens por agroflorestas, que, segundo estudos, aumentam a proteção do solo contra a erosão e melhoram a qualidade e a disponibilidade hídrica (DIÓGENES, 2023).

Figura 7 - Uso e ocupação do solo a montante do piezômetro no cenário real de 2022 e projetado com a implementação de agroflorestas



Sistema de projeção UTM SIRGAS 2000 Fuso 23

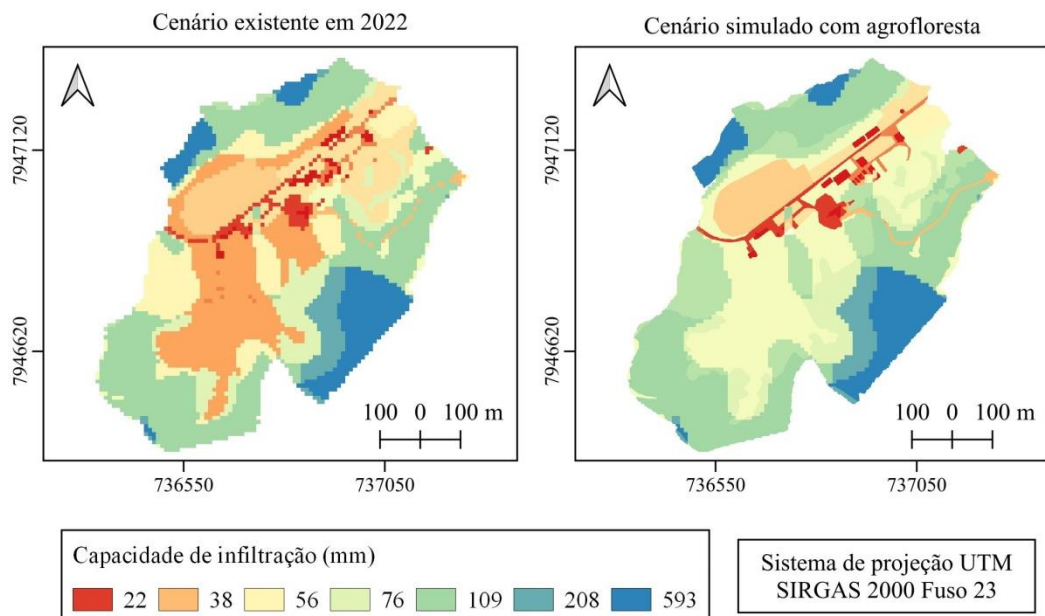
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Técnicas conservacionistas como as agroflorestas não apenas otimizam o uso da terra, mas também proporcionam serviços ecossistêmicos cruciais, como o controle do ciclo hidrológico, a redução da compactação do solo e a proteção contra impactos erosivos, tornando-se ferramentas essenciais na gestão sustentável de bacias hidrográficas (MORAIS, 2022; COSTA-ALVES, 2007).

A comparação de dois cenários de uso do solo — o existente em 2022 e outro simulado com a introdução de sistemas agroflorestais — revela mudanças significativas na

dinâmica hídrica da bacia. No cenário de 2022, a baixa capacidade de infiltração, variando entre 22 e 76 mm, foi atribuída ao predomínio de pastagens extensivas, solos expostos e vegetação rasteira, condições que favorecem a compactação do solo e o escoamento superficial, limitando a recarga do lençol freático, como na Figura 8. Esses resultados corroboram estudos que destacam a relação entre práticas inadequadas de manejo do solo e a degradação hídrica (KAZAY; OLIVEIRA, 2014).

Figura 8 - Capacidade de infiltração de água projetada no cenário real em 2022 e simulada com a adoção de agroflorestas



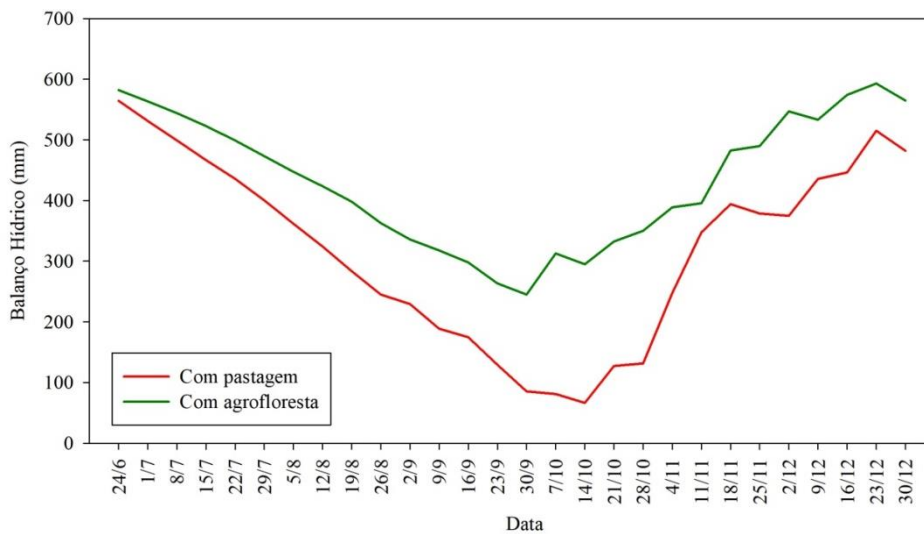
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Em contrapartida, o cenário simulado, que incorpora sistemas agroflorestais, apresenta um incremento expressivo na capacidade de infiltração, atingindo valores entre 76 e 593 mm. Essa melhoria está relacionada à capacidade dos sistemas agroflorestais de promover maior cobertura vegetal, aumento da porosidade do solo e retenção de água, além de redução do escoamento superficial e da erosão (FERNANDES, 2021). A substituição de pastagens extensivas por sistemas agroflorestais também contribui para a estabilidade hídrica e a sustentabilidade dos recursos naturais, como evidenciado em avaliações realizadas em bacias hidrográficas brasileiras (BOGGIANI *et al.*, 2024).

As análises de armazenamento hídrico corroboram esses achados, mostrando que, no cenário de pastagem, ocorre uma redução acentuada no armazenamento de água durante os

períodos secos, devido à baixa infiltração e ao elevado escoamento superficiais, Figura 9. Em contraste, o cenário com agroflorestas apresenta um menor decréscimo no armazenamento hídrico e uma recuperação mais rápida durante os períodos chuvosos. Esse efeito é atribuído à maior cobertura vegetal e ao manejo integrado nos sistemas agrofloretais, que aumentam a infiltração e a retenção de água no solo (WU; WANG, 2024; SUPRAYOGO *et al.*, 2020).

Figura 9 - O armazenamento hídrico real em 2022 e projetado no cenário de adoção da agrofloresta



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Sistemas agrofloretais promovem melhorias na capacidade de infiltração e na retenção hídrica devido à presença de raízes profundas, que aumentam a porosidade do solo e reduzem a compactação. Além disso, essas práticas também diminuem o risco de erosão e contribuem para a recarga dos lençóis freáticos, mesmo em regiões com solos menos favoráveis, como observado em estudos de agroflorestas em ambientes semiáridos (HUANG *et al.*, 2021).

Os benefícios hidrológicos das agroflorestas são amplamente reconhecidos, incluindo a melhoria da dinâmica de infiltração e a eficiência no uso da água. Estudos recentes demonstraram que agroflorestas têm o potencial de reter significativamente mais água em comparação com sistemas de pastagem ou monocultura, graças a uma maior interceptação da chuva e a um maior armazenamento de água no solo (CARDINAEL *et al.*, 2020). Esses sistemas também oferecem serviços ecossistêmicos, como o controle do escoamento superficial e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas, tornando-se essenciais para a sustentabilidade ambiental em bacias hidrográficas (Bueno *et al.*, 2019).

A introdução de sistemas agroflorestais em áreas de pastagem extensiva não só melhora o armazenamento hídrico, mas também aumenta a resiliência dos ecossistemas frente às flutuações climáticas, contribuindo para a conservação de recursos hídricos em longo prazo (SILES *et al.*, 2010; LEHMANN *et al.*, 1998).

O monitoramento piezométrico reforça a distinção entre os comportamentos hidrológicos nos dois cenários analisados, de acordo com a Figura 10. No cenário atual, o nível freático aumenta rapidamente durante a estação chuvosa, mas sofre quedas abruptas na estação seca, indicando uma forte dependência do escoamento superficial e uma menor sustentação do lençol freático ao longo do ano. Estudos anteriores demonstram que esse comportamento é comum em áreas com baixa cobertura vegetal e solos compactados, que favorecem o escoamento superficial em detrimento da infiltração (GÓMEZ-DELGADO *et al.*, 2010; CROSBIE *et al.*, 2008).

Figura 10 - Monitoramento piezométrico real em 2022 e projetado no cenário de adoção da agrofloresta



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Por outro lado, no cenário com sistemas agroflorestais, o nível freático eleva-se de forma mais gradual e apresenta uma menor amplitude de variação. Isso reflete uma recarga mais constante, promovida pela melhoria da infiltração e pela redução do escoamento superficial, características associadas a práticas agroflorestais. Esses sistemas aumentam a porosidade do solo e promovem uma maior retenção de água, o que estabiliza os níveis freáticos

mesmo em períodos de seca (KEBEDE *et al.*, 2024).

A eficiência dos sistemas agroflorestais na gestão da recarga hídrica foi observada em diversos contextos, como bacias hidrográficas de regiões semiáridas e solos vulcânicos, onde a combinação de raízes profundas e cobertura vegetal diversificada contribuem para um ciclo hidrológico mais equilibrado (GÓMEZ-DELGADO *et al.*, 2011; SHARMA; ASHWATH, 2006). Além disso, o uso de técnicas como o terraceamento e a rotação de culturas nas agroflorestais tem potencial de mitigar o impacto de mudanças climáticas nos níveis freáticos (BARBOSA *et al.*, 2022; ACHARYA, 2016).

## 4 CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou diferenças significativas na dinâmica hídrica entre os cenários analisados. No cenário atual, o predomínio de pastagens resultou em baixa infiltração, maior escoamento superficial e variações acentuadas nos níveis freáticos. Em contraste, o cenário com sistemas agroflorestais mostrou-se mais eficiente, com maior infiltração, retenção hídrica e estabilidade nos níveis freáticos, mesmo durante períodos de seca.

A integração de práticas agroflorestais demonstrou ser uma solução viável para melhorar a recarga hídrica e reduzir a vulnerabilidade ambiental, reforçando a importância de estratégias de manejo sustentável. Além disso, o uso de geoprocessamento e modelagem hidrológica foi essencial para avaliar os impactos e orientar intervenções futuras.

## REFERÊNCIAS

- ACHARYA, Bharat Sharma. **Hydrogeophysical Evaluation of Vegetation Influence on Ecohydrological Processes**. 2016. Tese de Doutorado. Oklahoma State University. Disponível em: <https://research-solution.com/uplode/book/book-85877.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.
- ALBUQUERQUE, Cleber Gomes de. **Recarga de aquífero em aluvião no semiárido: estudo de caso em Pesqueira–PE**. 2013. Dissertação IBICT. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10911>. Acesso em 12 fev. 2025.
- ALMEIDA, Thayná Alice Brito *et al.* **Avaliação experimental e numérica da adequação e disponibilidade de águas subterrâneas aluviais e de reuso para fins agrícolas no semiárido**. 2020. Dissertação UFRPE. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URPE\\_b1614c1f0be1d06da31e98cc4d9f1fa7](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URPE_b1614c1f0be1d06da31e98cc4d9f1fa7). Acesso em: 14 fev.2025.
- ANDRADE, Tafnes da Silva *et al.* **Variabilidade espacial e temporal de atributos hidrológicos para gerenciamento de recursos hídricos em aluvião no semiárido sob uso agrícola**. 2010. Dissertação UFRPE. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URPE\\_a3f915fd2ae6fa302d49f0cc79c796a1](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URPE_a3f915fd2ae6fa302d49f0cc79c796a1). Acesso em: 12 fev.2025.
- ARAÚJO, Ingredy Nataly Fernandes *et al.* Influência da declividade na erosão e degradação ambiental do Médio Piranhas Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Disponível em: <https://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2018/trabalhos/pdf/congestas2018-et-04-001.pdf>. Acesso em: 14 fev.2025.
- BARBOSA, Sergio A. *et al.* Evaluating groundwater storage change and recharge using GRACE data: A case study of Aquifers in Niger, West Africa. **Remote Sensing**, v. 14, n. 7, p. 1532, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1532>. Acesso em: 15 fev.2025.
- BOCHNER, Julia Kishida. **Serviços ambientais gerados pela floresta de mata Atlântica na qualidade do solo**. 2007 TCC UFRRJ. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/2711>. Acesso em: 13 fev.2025.
- BOGGIANI, Fernando *et al.* Precipitação interna e umidade do solo em sistema agroflorestal biodiverso, restauração florestal e Eucaliptus sp. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/8072/5885>. Acesso em: 14 fev.2025.
- BOSZNAVAY, M. Generalization of SCS Curve Number Method. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s. l.], v. 115, n. 1, p. 139–144, 1989. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1989\)115:1\(139\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1989)115:1(139)). Acesso em: 15 fev.2025.

BRIZZI, Raphael Rodrigues; SOUZA, A. P.; COSTA, AJST. Relação entre a infiltração da água nos solos e a estabilidade dos agregados em sistemas de manejos diferentes na bacia hidrográfica do rio São Romão–Nova Friburgo/RJ. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 67, p. 304-321, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/Hygeia196720>. Acesso em: 13 fev.2025.

CALDERANO FILHO, B. *et al.* Suscetibilidade dos solos à erosão na área de entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Tombos (MG). **Revista Geonorte**, v. 5, n. 23, p. 670-675, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1786>. Acesso em: 12 fev.2025.

CARDINAEL, Rémi *et al.* Belowground functioning of agroforestry systems: recent advances and perspectives. **Plant and Soil**, v. 453, p. 1-13, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-020-04633-x>. Acesso em: 14 fev.2025.

CHECCHIA, Tatiane E. *et al.* Avaliação dos efeitos das modificações da cobertura da terra na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica de Pimenta Bueno, Rondônia. I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, Cuiabá. **Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**, 2007. Disponível em: [Avaliação\\_dos\\_efeitos\\_das\\_modificações\\_da\\_cobertura\\_da\\_terra\\_na\\_disponibilidade\\_hídrica\\_da\\_bacia\\_hidrográfica\\_de\\_Pimenta\\_Bueno\\_Rondônia](#). Acesso em: 13 fev.2025.

CORREA, Márcio Greyck Guimarães; GALVANI, Emerson. Uma abordagem teórica das interações no Sistema Superfície-Atmosfera (SSA) na bacia do Rio Piquiri–PR. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 1, n. 5, p. 1245-1255, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/309880275\\_Uma\\_abordagem\\_teorica\\_das\\_interacoes\\_no\\_sistema\\_superficie-atmosfera\\_SSA\\_na\\_bacia\\_do\\_rio\\_Piquiri-PR](https://www.researchgate.net/publication/309880275_Uma_abordagem_teorica_das_interacoes_no_sistema_superficie-atmosfera_SSA_na_bacia_do_rio_Piquiri-PR). Acesso em: 15 fev.2025.

COSTA-ALVES, Andre Luiz. Corredores ecológicos e sistemas agroflorestais: Elementos – chave dos corredores socioambientais. **Cadernos de Agroecologia** [Volumes 1 (2006) a 12 (2017)], v. 2, n. 2, 2007. Disponível em: <https://revista.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/2339>. Acesso em: 13 fev.2025.

CROSBIE, Russell S. *et al.* A comparison of the water use of tree belts and pasture in recharge and discharge zones in a saline catchment in the Central West of NSW, Australia. **Agricultural water management**, v. 95, n. 3, p. 211-223, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.10.015>. Acesso em: 15 fev.2025.

DA LUZ, Gabrielly Gregório; GALVINCIO, Josiclêda Domiciano. Dinâmica do Uso do Solo, Armazenamento hídrico e NDVI no município de Floresta-Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 05, p. 2898-2909, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2898-2909>. Acesso em: 16 fev.2025.

DA SILVA, José Roberto L.; MONTENEGRO, Abelardo AA; DOS SANTOS, Thais EM. Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 1, 2012. Disponível em: [http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662012000100004](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000100004). Acesso em: 14 fev.2025.

DE ANDRADE, Carolyne Wanessa Lins *et al.* Modelagem hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 239-248, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1446.239-248>. Acesso em: 16 fev.2025.

DIÓGENES, Paulo Utan Andrade. **Análise temporal de agrobiodiversidade, produção de serrapilheira e cobertura do solo em sistemas agroflorestais de região semiárida**. 2023. 33 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/78040>. Acesso em: 17 fev.2025.

DO CARMO SANTOS, Terezinha; DE ALMEIDA OLIVEIRA, Amanda; NEVES, Kesia Carolina Amorim. Manejo de solo e água frente às mudanças climáticas e impactos socioeconômicos. **Revista Velho Chico**, v. 1, n. 2, p. 132-147, 2021. Disponível em: <http://tvc.lapa.ifbaiano.edu.br/ojs/index.php/rvc/article/view/84/27>. Acesso em: 15 fev.2025.

EICHLER, Mônica Caltabiano. **Recarga artificial de aquíferos: proposta para o núcleo rural Lago Oeste, DF**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <https://bdtd.ucb.br:8443/jspui/bitstream/123456789/1645/1/Monica%20Caltabiano%20Eichler.pdf>. Acesso em: 13 fev.2025.

FAILACHE, Moisés Furtado. **Proposta de procedimentos para a estimativa da infiltração potencial e do escoamento superficial Hortoniano potencial baseada em dados geológicos, geotécnicos, de uso e ocupação e eventos de chuva**. 2018. 330 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-19062018-094526/publico/TeseFailacheMoisesF\\_Vol1\\_Corrig.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-19062018-094526/publico/TeseFailacheMoisesF_Vol1_Corrig.pdf). Acesso em: 14 fev.2025.

FERNANDES, Fernanda Santos. **Indicadores ambientais de Sistemas Agroflorestais: um estudo de caso do Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável (PDRS)**. 2021. Disponível em: [https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/7374/browse?authority=8b71ea97-0b3d-427b-bd8c-250d8e8652e0&type=author&locale-attribute=pt\\_BR](https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/7374/browse?authority=8b71ea97-0b3d-427b-bd8c-250d8e8652e0&type=author&locale-attribute=pt_BR). Acesso em: 16 fev.2025.

FONTES JÚNIOR, R. V. P. **Experimentação e modelagem hidrológica aplicada à bacia do Alto Ipanema-PE**. 2016. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: [https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS\\_799fa524532c4856145c0ca0e5e371a5](https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_799fa524532c4856145c0ca0e5e371a5). Acesso em: 14 fev. 2025.

FUNK, C *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–21, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata201566>. Acesso em: 15 fev. 2025.

GOMES, Dênis José Cardoso *et al.* Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo, bacia hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 816-833, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p816-833>. Acesso em: 13 de fev.2025.

- GÓMEZ-DELGADO, Federico *et al.* Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. **Hydrology and earth system sciences**, v. 15, n. 1, p. 369-392, 2011. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/15/369/2011/>. Acesso em: 17 de fev.2025.
- GOPINATH, G.; SWETHA, T. V.; ASHITHA, M. K. Automated extraction of watershed boundary and drainage network from SRTM and comparison with Survey of India toposheet. **Arabian Journal of Geosciences**, [s. l.], v. 7, n. 7, p. 2625–2632, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-013-0919-0>. Acesso em: 16 fev.2025.
- GROHMAN, G.; KROENUNG, G.; STREBECK, J. Filling SRTM voids: The delta surface fill method. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s. l.], v. 72, n. 3, p. 213–216, 2006. Disponível em: <https://community.esri.com/ccqpr47374/attachments/ccqpr47374/arcgis-spatial-analyst-questions/4661/1/Filling-SRTM-voids.pdf>. Acesso em: 18 fev.2025.
- GROPPO, Juliano Daniel. **Caracterização hidrológica e dinâmica do nitrogênio em uma microbacia com cobertura florestal (Mata Atlântica), no Parque Estadual da Serra do Mar, núcleo Santa Virgínia**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-23112010-085935/>. Acesso em: 17 fev.2025.
- HJELMFELT, A. T. Investigation of Curve Number Procedure. **Journal of Hydraulic Engineering**, [s. l.], v. 117, n. 6, p. 725–737, 1991. Disponível em: [https://www.oieau.fr/eaudoc/system/files/documents/3/16403/16403\\_doc.pdf](https://www.oieau.fr/eaudoc/system/files/documents/3/16403/16403_doc.pdf). Acesso em: 13 fev.2025.
- HUANG, Ze *et al.* Soil-water deficit in deep soil layers results from the planted forest in a semi-arid sandy land: Implications for sustainable agroforestry water management. **Agricultural Water Management**, v. 254, p. 106985, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106985>. Acesso em 14 fev.2025.
- KAZAY, Daniel Firmo; OLIVEIRA, Lara A. **Avaliação da capacidade de infiltração e do pagamento por serviços ambientais em sistemas agroflorestais sucessionais: o caso da Cooperafloresta**. Projeto de graduação (Engenharia Ambiental)-Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010238.pdf> Acesso em: 13 fev.2025.
- KEBEDE, Mahlet M. *et al.* Enhancing Groundwater Recharge Through Nature-Based Solutions: Benefits and Barriers. **Hydrology**, v. 11, n. 11, p. 195, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/hydrology11110195>. Acesso em: 12 fev.2025.
- LEHMANN, Johannes *et al.* Nutrient cycling in an agroforestry system with runoff irrigation in Northern Kenya. **Agroforestry systems**, v. 43, p. 49-70, 1998. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026447119829>. Acesso em: 14 fev.2025.
- MARMONTEL, Caio Vinicius Ferreira; RODRIGUES, Valdemir Antonio. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e ambiente**, v. 22, p. 171-181, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.082014>. Acesso em: 18 fev.2025.

MARTINS, Magda Stella de Melo. **Índice de vulnerabilidade natural para a conservação da Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba–MG.** 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/191854>. Acesso em: 17 fev.2025.

MISHRA, S. K.; SAHU, R. K.; ELDHO, T. I.; JAIN, M. K. A generalized relation between initial abstraction and potential maximum retention in SCS-CN-based model. **International Journal of River Basin Management**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 245–253, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15715124.2006.9635294>. Acesso em: 15 fev.2025.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. Long-term hydrological simulation based on the Soil Conservation Service curve number. **Hydrological Processes**, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 1291–1313, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.1344>. Acesso em: 16 fev.2025.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. Soil Conservation Service Curve Number. [S. l.]: **Springer Science & Business Media**, 2003. 2003.v. 42. Disponível em: <http://www.amazon.com/Conservation-Service-Methodology-Science-Technology/dp/1402011326>. Acesso em: 13 fev.2025.

MONTEIRO, Maryanna Henriques Dantas. **Variação espaço-temporal da disponibilidade hídrica associada à índices de precipitação e uso e ocupação da terra no alto do curso do rio Macaé, sub-bacia Galdinópolis.** 2024. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/19067>. Acesso em: 14 fev.2025.

MORAES, André Geraldo de Lima *et al.* **Modelagem espacial da erosão em entressulcos e taxa de infiltração estável.** 2018. TESE UFRRJ. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/9146>. Acesso em: 13 fev.2025.

MORAIS, Adão Barros de. **Cronossequência em sistema agroflorestal: impacto nos teores de carbono, água e nutrientes do solo.** 2022. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/71689>. Acesso em: 15 fev.2025.

PAES, Claudiane Otilia. **Modelagem espacial de áreas de recarga subterrânea em região de afloramento do sistema aquífero guarani (sag), em Brotas/SP.** 2014. xii, 87 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2014. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/28455/18506/0>. Acesso em: 16 fev.2025.

PERAZZOLI, Mauricio; PINHEIRO, Adilson; KAUFMANN, Vander. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia-SC. **Revista Árvore**, v. 37, p. 859-869, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/488/48829247008.pdf>. Acesso em: 16 fev.2025.

PINHEIRO, Adilson; TEIXEIRA, Lizandra Poeta; KAUFMANN, Vander. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92811747017.pdf>. Acesso em: 13 fev.2025.

RIBEIRO, Admilson Irio *et al.* **Proposta de diagnóstico ambiental de uma área degradada no Parque Estadual do Juquery, Franco da Rocha, SP.** In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia. 2012. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VI-036.pdf>. Acesso em: 12 fev.2025.

RODRIGUES, Alisson Lopes *et al.* Balanço hídrico de uma microbacia hidrográfica no sudeste do Brasil: Implicações para o manejo de serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14233>. Acesso em: 14 fev.2025.

RUNNING, S. W.; MU, Q.; ZHAO, M.; MORENO, A. MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (MOD16A2/A3 and Year-end Gap-filled MOD16A2GF/A3GF) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, [s. l.], p. 1–37, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A3GF.006>. Acesso em: 16 fev.2025.

SANTOS, Calebe Rodrigues Soares *et al.* Modelagem de impactos hidrológicos de sistemas agroflorestais: Revisão de Trabalhos usando SWAT. XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ISSN 2318-0358) 2023. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15326>. Acesso em: 18 fev.2025.

SHARMA, Ajay; ASHWATH, Nanjappa. Land disposal of municipal effluents: Importance of choosing agroforestry systems. **Desalination**, v. 187, n. 1-3, p. 361-374, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.094>. Acesso em: 14 fev.2024.

SILES, Pablo *et al.* Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss in a coffee (*Coffea arabica* L.) monoculture compared to an agroforestry system with *Inga densiflora*. **Journal of Hydrology**, v. 395, n. 1-2, p. 39-48, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.005>. Acesso em: 17 fev.2025.

SOUSA, Erlan Silva de. **Caracterização hidroquímica e isotópica das águas superficiais e subterrâneas no entorno da Lagoa da Confusão, Tocantins, Brasil. 2018.** 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Palmas, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/996>. Acesso em: 16 fev.2025.

SUPRAYOGO, Didik *et al.* Infiltration-friendly agroforestry land uses on volcanic slopes in the Rejoso Watershed, East Java, Indonesia. **Land**, v. 9, n. 8, p. 240, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/8/240>. Acesso em: 18 fev.2025.

VÁSQUEZ, Katherine Vásquez. **Hidrologia de microbacias em função da dinâmica da cobertura florestal.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-16102019-170121/es.php>. Acesso em: 15 fev.2025.

WU, Qinglin; WANG, Lan. Farmland hydrological cycle under agroforestry systems and efficient use of water resources in the karst desertification environment. **Heliyon**, v. 10, n. 15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35506>. Acesso em: 16 fev.2025.

ZAMBONIM, Fábio Martinho *et al.* **Sistemas Agroflorestais de produção:** Conceitos, princípios e aplicações em Santa Catarina. Boletim Técnico, n. 217, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/1869>. Acesso em: 17 fev.2025.