

**Universidade de São Paulo**  
**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**  
**Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

**Balanço de nitrogênio inorgânico em micro-bacias pareadas  
(PASTAGEM x REFLORESTAMENTO) no âmbito do programa  
*Conservador das águas (Ribeirão das Posses, Extrema, MG)***

**Augusto Barbosa Senna**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como  
Parte dos requisitos para obtenção do título de  
Bacharel em Gestão Ambiental

**Piracicaba**  
**Ano 2024**



**Augusto Barbosa Senna**

**Balanço de nitrogênio inorgânico em micro-bacias pareadas  
(pastagem x reflorestamento) no âmbito do programa *Conservador  
das águas (Ribeirão das Posses, Extrema, MG)***

Orientador(a):

Prof. Dr. **ALEX VLADIMIR KRUSCHE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como  
Parte dos requisitos para obtenção do título de  
Bacharel em Gestão Ambiental

**Piracicaba  
Ano 2024**



## SUMÁRIO

RESUMO .....	5
ABSTRACT.....	7
1 INTRODUÇÃO .....	9
1.1 Hipótese .....	10
1.2 Objetivos gerais.....	11
1.3 Objetivos específicos.....	11
2 DESENVOLVIMENTO .....	13
2.1 Revisão bibliográfica .....	13
2.2 Materiais e métodos .....	15
2.2.1 Área de estudo .....	15
2.2.2 Caracterização morfológica da área de estudo e localização .....	16
2.2.3 Precipitação.....	19
2.2.4 Medidas de descarga .....	20
2.2.5 Parâmetros físico-químico medidos em campo.....	21
2.2.6 Métodos analíticos .....	21
2.2.7 Cálculo dos balanços de nitrogênio.....	21
3 RESULTADOS.....	23
3.1 Precipitação.....	23
3.2 Descarga.....	28
3.2.1 Nitrogênio inorgânico na descarga.....	30
3.3 Balanços de nitrogênio inorgânico .....	32
4 conclusão.....	33
REFERÊNCIAS .....	35



## RESUMO

### **Balanço de nitrogênio inorgânico em micro-bacias pareadas (pastagem x reflorestamento) no âmbito do programa *Conservador das águas (Ribeirão das Posses, Extrema, MG)***

A bacia hidrográfica do rio Jaguari tem elevada importância sócio-ambiental, uma vez que suas águas drenam para o sistema Cantareira, abastecendo a região metropolitana de São Paulo, com serviços ecossistêmicos que ultrapassam os limites da sua própria bacia de drenagem. Nas últimas décadas, no entanto, aumentaram as pressões ambientais na bacia, notoriamente pelo crescimento urbano desordenado e ocupação irregular do solo nas zonas rurais de cabeceira. O projeto Conservador das Águas é uma iniciativa pública, com o intuito de gerar ações mitigatórias através de restauração florestal em propriedades privadas no modelo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), em uma região de nascentes do rio Jaguari, importante contribuinte do sistema Cantareira. No presente projeto foram quantificados os aportes, via precipitação, e a exportação, via descarga, das formas dissolvidas de nitrogênio inorgânico em duas microbacias pareadas, uma reflorestada pelo projeto Conservador das Águas e outra de pastagem, objetivando entender as consequências do reflorestamento na ciclagem deste elemento, como parte de um projeto mais amplo intitulado *“Análise quantitativa do papel da cobertura vegetal no funcionamento de bacias de drenagem de montanhas: uma abordagem de balanços de massa em micro-bacias pareadas do alto Jaguari (Ribeirão das Posses, Extrema – MG) – Proc. FAPESP N.19/27556-5”*. Trabalhamos com a hipótese que o reflorestamento diminui a exportação deste elemento para os sistemas à jusante, em função da restauração dos processos biogeoquímicos florestais. Com base na análise preliminar de uma série de dados compreendendo 177 dias entre Dezembro de 2022 e Junho de 2023, constatamos que, nesta fase inorgânica do ciclo do N, a microbacia com pastagem exporta cerca de 48,5% do aporte total via precipitação, enquanto a microbacia reflorestada exporta 23%. Com base nestes resultados, ainda que não seja possível identificar os mecanismos internos de ciclagem deste elemento nestes sistemas, conclui-se que o reflorestamento resulta em menores perdas de N para a drenagem à jusante, constituindo uma importante iniciativa mitigadora do potencial de eutrofização antropogênica do sistema Cantareira.

**Palavras-chave:** Reflorestamento, ciclo do nitrogênio, PSA, eutrofização





## ABSTRACT

### **Inorganic nitrogen balance in two paired micro watersheds (pasture x reforestation) at the Conservador das águas program (Ribeirão das Posses, Exterma, MG)**

The Jaguari river basin is highly relevant in socio-environmental terms, since its waters drain into the Cantareira system, which supports a large part of the drinking water of São Paulo capital, providing ecosystem services beyond its watershed. However, in the last decades it is under increasing environmental pressure, specially due to unplanned urban growth and irregular occupation of rural áreas of its headwaters. The Conservador das águas program is a public initiative, targeting reforestation of these areas as mitigation actions through Environmental Services Payments to private properties owners who agree to convert their land uses to reforestation. In this study we quantify inputs from precipitation and outputs in discharge of the inorganic forms of dissolved nitrogen in two paired watersheds, one reforested by Conservador das águas and another with pasture, with the objective of understading the consequences of reforestation in the cycle of this elemento, as part of a larger Project entitled "*Análise quantitativa do papel da cobertura vegetal no funcionamento de bacias de drenagem de montanhas: uma abordagem de balanços de massa em micro-bacias pareadas do alto Jaguari (Ribeirão das Posses, Extrema – MG) – Proc. FAPESP N.19/27556-5*". Our hypothesis is that reforestation reduces the export of this element downstream, as a result of the restoration of the original forest biogeochemical processes. Based on a preliminar data series analysis of 177 days between December 2022 and June 2023, we found that, in this inorganic phase of the N cycle, the pasture microwatershed exports around 48,5% of the total input from precipitation, whereas the forested watershed exports around 23%. Although we are not able yet to identify major within basin N cycling processes, we can conclude that reforestation results in less losses of N downstream, which shows that this can constitute an importante mitigation action to reduce the potential eutrophication effect of increased N pollution in the Cantareira system.

**Keywords:** Reforestation, nitrogen cycle, ESP, eutrophication



## 1 INTRODUÇÃO

Algumas ações antrópicas, ou seja, realizadas pela humanidade, vêm alterando o ciclo do nitrogênio, levando ao aumento da disponibilidade e mobilidade. Em um cenário onde há ausência de atividades humanas, espera-se que a fixação biológica de N introduza entre 90 e 130 Tg N ano<sup>-1</sup> (Tg = 10<sup>12</sup> g) aos continentes, com a presença de atividades humanas há um incremento de ~150Tg N. Este excesso de nitrogênio pode ocasionar diversos desequilíbrios ambientais, entre eles a lixiviação de nutrientes. Quando tratamos de ambientes aquáticos, uma maior entrada deste elemento pode levar à acidificação, hipóxia ou anóxia e eutrofização (Galloway, 1998; Vitousek et al., 1997a, 1997b).

A Eutrofização é um termo designado para descrever um processo natural de incremento de matéria orgânica (Rabalais, 2004), que acompanha a evolução de um ecossistema aquático através do tempo geológico até preenchê-lo completamente. Porém, a interferência humana pode acelerar esse processo para um curto espaço de tempo (horas, dias, anos), através da superprodução de matéria orgânica induzida pelo aporte de fósforo (P) e nitrogênio (N) na chamada Eutrofização Antropogênica (Smith et al., 2003; Andersen et al., 2006). Apesar dessa distinção, o termo eutrofização é normalmente usado para se referir ao processo causado pela ação humana.

A bacia hidrográfica PCJ (Piracicaba-Capivari-Jundiaí) tem elevada importância social e econômica, uma vez que suas águas drenadas ultrapassam seus limites topográficos abastecendo, além da região de Campinas, parte da região metropolitana de São Paulo, pois o rio Jaguari é principal contribuinte do sistema Cantareira e esse é responsável por 50% do abastecimento da região metropolitana de São Paulo (WHATELY, 2007), com populações estimadas de cerca de 14 milhões de habitantes (IBGE, 2018).

Nas últimas décadas, aumentaram as pressões ambientais na bacia do rio Jaguari, notoriamente pelo crescimento urbano desordenado e ocupação irregular do solo nas zonas rurais de cabeceira, sendo que já foi detectado um aumento da concentração de elementos como o P e N, presentes em fertilizantes e no esgoto doméstico, no corpo hídrico (CARLI et al, 2020), um processo que aumenta o risco de eutrofização no Cantareira.

O projeto Conservador das Águas é uma iniciativa pública com o intuito de gerar ações mitigatórias de restauração florestal em propriedades privadas no modelo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), visando a restauração do serviço ecossistêmico de provisão da água na bacia do rio Jaguari (PEREIRA, 2013), atuando principalmente em áreas de pastagens degradadas.

Ações como essa têm potencial de impactar o processo de eutrofização na bacia, uma vez que, segundo Von Sperling et al. (1996), lagos ou represas que drenam bacias florestadas têm menor risco de eutrofização, em decorrência dos processos naturais de decomposição, lixiviação pelo solo e reincorporação (absorção pelas plantas), disponibilizando menos nutrientes aos sistemas fluviais do que em áreas agrícolas que fazem uso de fertilizantes e compactam o solo.

A proposta desse trabalho é mensurar as formas dissolvidas de nitrogênio oriundas de duas microbacias pareadas, uma reflorestada pelo projeto Conservador das Águas e outra de pastagem, objetivando demonstrar a diferença da exportação de nitrogênio entre essas áreas. Com isto, além da questão científica em si, esperamos fornecer subsídios de incentivo para esta iniciativa social já reconhecida internacionalmente. Esse trabalho faz parte dos estudos desenvolvidos pelo projeto Fapesp 2019/27556-5 “Análise quantitativa do papel da cobertura vegetal no funcionamento de bacias de drenagem de montanhas: uma abordagem de balanços de massa em micro-bacias pareadas do alto Jaguari (Ribeirão das Posses, Extrema – MG)”.

## **1.1 Hipótese**

A carga (descarga x concentração) de nitrogênio inorgânico dissolvido será maior na bacia com pastagem do que na bacia reflorestada.

## **1.2 Objetivos gerais**

Determinar os fluxos de aporte via precipitação e exportação via descarga de nitrogênio inorgânico dissolvido ao longo do ano hidrológico em microbacias pareadas (reflorestamento x pastagem) na área do projeto Conservador das Águas (Extrema, MG).

## **1.3 Objetivos específicos**

Correlacionar os balanços de nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrito, nitrato e amônio) com o tipo de cobertura vegetal (pastagem x reflorestamento).

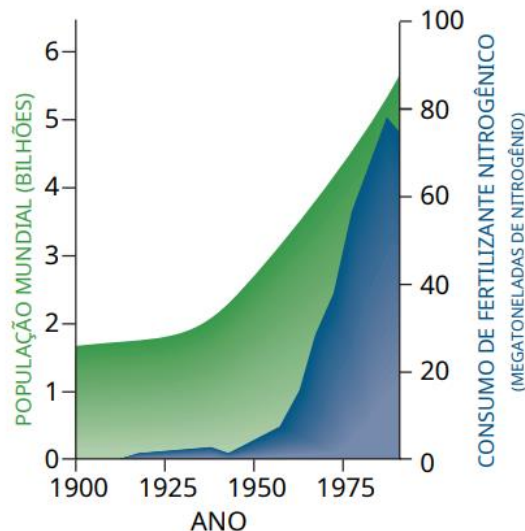


## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Revisão bibliográfica

Durante o século XX houve um crescimento populacional que quase quadruplicou seu número. Embora muitos fatores tenham influenciado este crescimento, o principal fator se dá ao início da síntese de amônia ( $\text{NH}_3$ ). Até então o nitrogênio era um dos fatores limitantes na produção de alimentos, pois a maioria das culturas apenas removem o N do solo. Após várias tentativas para tentarem romper a barreira causada pela escassez de nitrogênio no solo, Carl Bosch e Fritz Haber desenvolveram uma técnica denominada “Haber-Bosh”. Com a evolução nas práticas agrícolas se tornou viável a produção de fertilizantes nitrogenados e possível subsidiar a demanda da população por alimento da (Smil, 1997).

**Figura 1** - Comparação entre o consumo de fertilizantes nitrogenados e o crescimento populacional durante o século XX.



Fonte: Smil, V. 1997.

Segundo Smil (1997) os países em desenvolvimento são responsáveis pelo consumo de mais de 60% dos fertilizantes nitrogenados. Atualmente o Brasil é

responsável por 8% do consumo mundial de fertilizantes, se inserindo assim, como o 4º maior consumidor. Dentre os principais nutrientes consumidos pelo Brasil estão os compostos a base de nitrogênio que representam 29% (Brasil, 2020). Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) em seu relatório de 2022 o Brasil possuiu uma demanda de 41.077.519 toneladas de fertilizantes. Ao compararmos os dados observamos que para o ano de 2022 o Brasil consumiu 11.912.480,51 toneladas de fertilizantes nitrogenados.

Dentre os principais incentivos que levam à mudança do uso do solo através do desmatamento nos biomas brasileiros temos a expansão para pastagens e agricultura. Estas mudanças afetam diversos fatores socioambientais, como a biodiversidade, os recursos hídricos, as emissões de carbono, o clima regional e local (Davidson et al., 2012). Atualmente os biomas brasileiros mais afetados são a Amazônia e o Cerrado (Pereira et al., 2019; Rausch et al., 2019). Porém historicamente o bioma da Mata Atlântica foi o que no passado passou pelas mais extensas mudanças, tornando-o hoje altamente fragmentado (Taballeri et al., 1999; Morellato et al., 2000; Freitas et al., 2010).

O sul de minas possui como matriz econômica o gado de corte e produção leiteira, ambas atividades contribuem para o predomínio de pastagens na região (Viola et al., 2014). Devido ao crescimento e desenvolvimento, a fronteira agrícola expandiu-se para à região da Serra da Mantiqueira, avançando até áreas de nascentes. Este fator foi responsável por criar uma pressão econômica neste território (Carvalho; Scolforo, 2008).

Segundo Martins et al., (1991) a conversão de floresta para pasto e a introdução de gado gera um aumento da densidade da camada superficial do solo, destruição dos complexos de argila e matéria orgânica, causando a obstrução dos microporos do solo.

Em um ecossistema as principais perdas de nitrogênio se dão na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitrogênio orgânico dissolvido (NOD), enquanto o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) tende a ficar retido no solo e ser absorvido pelas plantas e microrganismos. Quando se trata de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) este não tende a se acumular no solo, pois rapidamente se transforma em  $\text{NO}_3^-$  ou sofre desnitrificação (Chapin III et al., 2002 e Paul & Clark, 1989).

A concentração e forma química nas quais os nutrientes entram no rio possuem influências diversas, específicas de cada ecossistema, em função das



características hidrológicas (como volume, vazão e velocidade) e físicas, como a topográfica local. Estes fatores irão determinar as vias que serão ativadas durante um evento de precipitação (McClain; Elseenber, 2001).

Em áreas que favorecem o escoamento superficial o menor tempo de retenção (relativamente ao transporte sub-superficial) não favorece transformações químicas que resultariam na remoção de N, o mesmo necessita de um ambiente mais profundo e lento para que tenha mais contato com o solo, onde possam ocorrer as reações químicas (Follet; Delgado, 2002). A vegetação nas margens dos rios exerce um papel fundamental na transformação deste elemento, pois além de reduzir a energia cinética da chuva contribui para a desnitrificação (McDowell et al., 1992; McClain et al., 1994 e Williams et al., 1997).

Nixon (1995) define eutrofização como um aumento da quantidade de matéria orgânica de um ecossistema, geralmente resultante do aumento da entrada de nitrogênio e fósforo. Em ambientes de água doce os principais nutrientes limitantes são o fósforo e o nitrogênio (Smith et al., 1999). A eutrofização gera efeitos secundários em um ecossistema, como aumento da presença de algas nocivas, redução da entrada de luz e redução do nível de oxigênio dissolvido. Estes efeitos levam à degradação ou até mesmo à perda da biodiversidade aquática (Matson; Lohse; Hall, 2002).

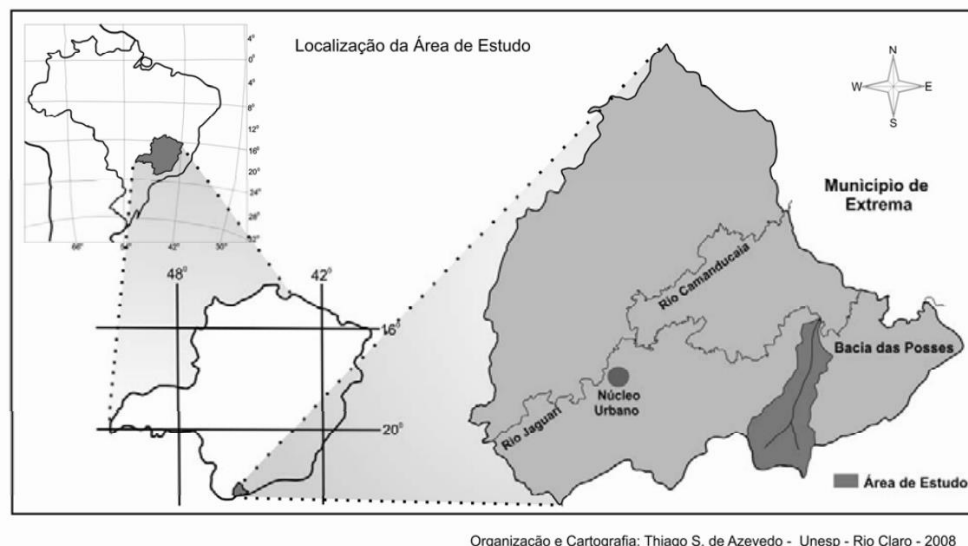
## **2.2 Materiais e métodos**

### **2.2.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado no município de Extrema – MG, especificamente na sub-bacia do ribeirão do Posses, que é um dos principais tributários da bacia do Jaguari no município em questão. O rio Jaguari está inserido na área geopolítica de atuação do Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ) (Figura 2). A bacia do ribeirão das Posses possui ~1250 hectares, distribuídos em mais de 100 propriedades rurais.

As florestas semidecíduas predominavam nas formações florestais originais na região (LEITÃO-FILHO, 1982). No entanto, a vegetação foi substituída por pastagens (que hoje correspondem a 70% da área), com várias propriedades com a lotação de gado acima de sua capacidade de suporte, sendo muitas delas altamente degradadas, restando somente alguns fragmentos florestais e poucas áreas com plantio de eucalipto e outros cultivares (SILVA et al. 2008). O clima local é o Cwb (KÖPPEN, 1948), com o predomínio de duas estações: verão – temperado ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$ ) e chuvoso, ocorrência entre outubro e março - e inverno temperado ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) e seco, entre abril e setembro. O relevo varia entre 978 e 1439 metros, da foz no rio Jaguari até a montante na Serra da Mantiqueira.

**Figura 2** - Bacia do ribeirão das Posses no município de Extrema-MG



**Fonte:** IBGE, (1972).

### 2.2.2 Caracterização morfológica da área de estudo e localização

O modelo digital de elevação (MDE) foi gerado a partir de ortofotos utilizando Veículo Aéreo não Tripulado (VANT). O software SIG Qgis 3.28 e sua extensão Grass (função r.watershed) foi utilizado para a delimitação digital das microbacias e obtenção das características morfológicas, conforme apresentado nas Figuras 3 e 4 a seguir.

**Figura 3 – P1 Delimitação geográfica da micro-bacia reflorestada**



**Fonte:** O autor.

- Uso: 100% florestal;
- Área: 7,49ha;
- Altitude: 1.043m;
- Declividade: 18%;
- Localização vertedouro: 22°53'05.3"S 46°14'44.8"W.

**Figura 4 - P2** Delimitação geográfica da micro-bacia de pastagem



**Fonte:** O autor.

- Uso: Agropecuário (majoritariamente pastagem);
- Área: 11,5ha;
- Altitude; 1.208m;
- Declividade: 25,8%;
- Localização vertedouro: 22°53'09.8"S 46°15'20,9"W.

### 2.2.3 Precipitação

Para obter amostras de precipitação instalamos 3 calhas em cada sub-bacia, medindo 1,5 x 0,15 m cada. As calhas foram conectadas a galões de polietileno de 20 L através de tubos e funis de PVC (Figura 5). Após cada evento de precipitação os galões foram pesados para determinar o volume precipitado e alíquotas retiradas dos galões diretamente para frascos de polietileno de alta densidade para processamento em laboratório local.

As precipitações anuais totais da área de estudo foram obtidas de estações meteorológicas automatizadas (da marca Vaissala), operadas no âmbito do Projeto FAPESP N. 15/50682-6 (*Investimentos pró-climáticos inteligentes em bacias de montanhas tropicais da America do Sul – ClimateWise*), coordenado pelo Prof. Humberto Rocha (IAG-USP).

**Figura 5** - Calhas instaladas na floresta (esquerda) e na pastagem (direita)



Fonte: O autor

As amostragens foram realizadas no período de novembro de 2022 a junho de 2023, sempre que possível realizar o deslocamento ao campo após eventos de precipitação de intensidades maiores que 10 mm (limite mínimo para obtenção de volumes suficientes de amostras para análises químicas, determinado experimentalmente após alguns eventos de precipitação).



#### 2.2.4 Medidas de descarga

Em ambos os locais de amostragem foram instaladas calhas do tipo HS (Figura 6) para medição contínua das descargas e amostragens periódicas. As descargas foram obtidas a partir das medidas de nível nas calhas, registradas continuamente (em intervalos de 5 min) com medidor de nível automático da marca Metter, modelo Hydros-21. Os valores de nível foram convertidos em descarga com base nas curvas-chave das calhas HS. As amostragens foram feitas diretamente nos vertedouros, pela imersão de frascos de polietileno da alta densidade de 250 mL, imediatamente levados para laboratório local para efetuar medidas de campo (pH, temperatura e condutividade elétrica) e preservação.

**Figura 6** – Vertedouros tipo HS instalados na floresta (esquerda) e na pastagem (direita)



**Fonte:** O Autor.

Imediatamente após a amostragem, todas as amostras foram filtradas em campo (com filtros de acetato de celulose de porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$ ), armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade e preservadas com thymol (5g/100 mL) para análise em laboratório no prazo máximo de uma semana.

### 2.2.5 Parâmetros físico-químico medidos em campo

Como medidas auxiliares para a interpretação dos resultados, antes da filtração, foram medidos condutividade elétrica, com condutivímetro portátil marca VWR, modelo 2052, e temperatura e pH com medidor de pH marca Orion, modelo 290Aplus.

### 2.2.6 Métodos analíticos

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA-USP, seguindo as normas técnicas de APHA (2012). As concentrações de nitrato, nitrito e amônio foram quantificadas por colorimetria em equipamento automatizado da marca Foss Tecator, modelo FIAStar 5000, empregando sistema de injeção em fluxo, com calibração feita a partir de padrões externos e validação com amostras certificadas.

### 2.2.7 Cálculo dos balanços de nitrogênio

O cálculo do balanço de um elemento em um ecossistema exige a delimitação das fronteiras do mesmo. No caso das bacias pareadas deste estudo, definimos como limites as entradas de N por via atmosférica e as saídas do mesmo na descarga para o setor mais à jusante no sistema fluvial. Desta maneira, o balanço de N pode ser descrito, simplificadamente, por:

$$\Delta N = F_{\text{atm.}} - F_{\text{desc.}}$$

Onde:

$$\Delta N = \text{Balanço de N na bacia de drenagem, em g.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}.$$

$F_{\text{precip.}}$  = Fluxo de entrada de N na bacia de drenagem a partir da precipitação, em  $\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ .

$F_{\text{desc.}}$  = Fluxo de saída de N da bacia de drenagem na descarga, em  $\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ .

Como as concentrações das formas inorgânicas de N dissolvidas nestas águas variam ao longo do tempo, para este cálculo os resultados foram integrados em intervalos discretos entre os eventos de precipitação, isto é, assumiu-se concentrações iguais ao evento amostrado durante os dias subsequentes, até uma nova amostragem. No total, o período deste estudo abrange 177 dias, cujo balanço foi extrapolado para 365 dias.

Apesar de válida para descrever o resultado final da evolução do elemento na bacia de drenagem, a equação acima trata apenas de “entradas” e “saídas” do sistema, desconsiderando os processamentos internos. Uma particularidade do ciclo do nitrogênio são suas diversas espécies gasosas, que acarretam fluxos significativos, não calculados através da determinação das concentrações de suas diversas espécies orgânicas e inorgânicas, dissolvidas ou não, na água que se desloca no sistema. Apesar de não ser o escopo deste estudo, estes fluxos podem ocorrer através da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (entrada no sistema) e pela emissão de óxidos de nitrogênio, principalmente sob condições anaeróbias (saída do sistema).

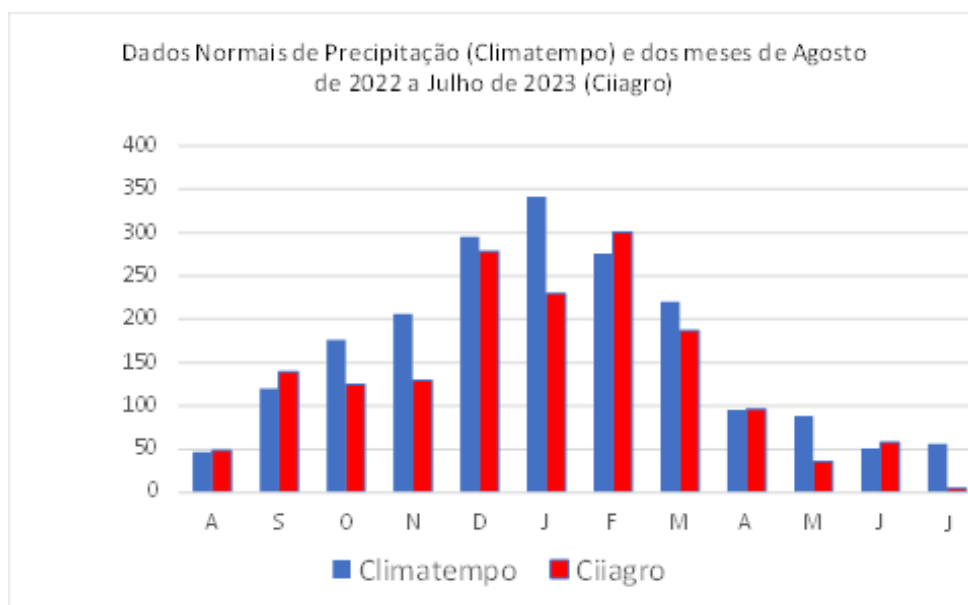


### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Precipitação

Na região de estudo a precipitação média anual é de 1.477mm (ANA, 2008), sendo o verão chuvoso (outubro a março) com uma média de 1.207mm e o inverno mais seco (abril a setembro), com média de 406mm (Irrigart, 2013), isto é, com 80% da precipitação ocorrendo no período chuvoso. Comparando-se os dados da normal climatológica (obtidos do site ClimaTempo do CPTEC-INPE) para a cidade de Extrema-MG e os dados disponíveis no CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas) é possível observar que para os meses de outubro de 2022 a janeiro de 2023 houve precipitações inferiores à normal climatológica, porém não foram suficientes para caracterizar uma anormalidade.

**Figura 7** – Comparação entre a normal climática e os dados de precipitação para a cidade de Extrema - MG



**Fonte:** ClimaTempo e Ciiagro.

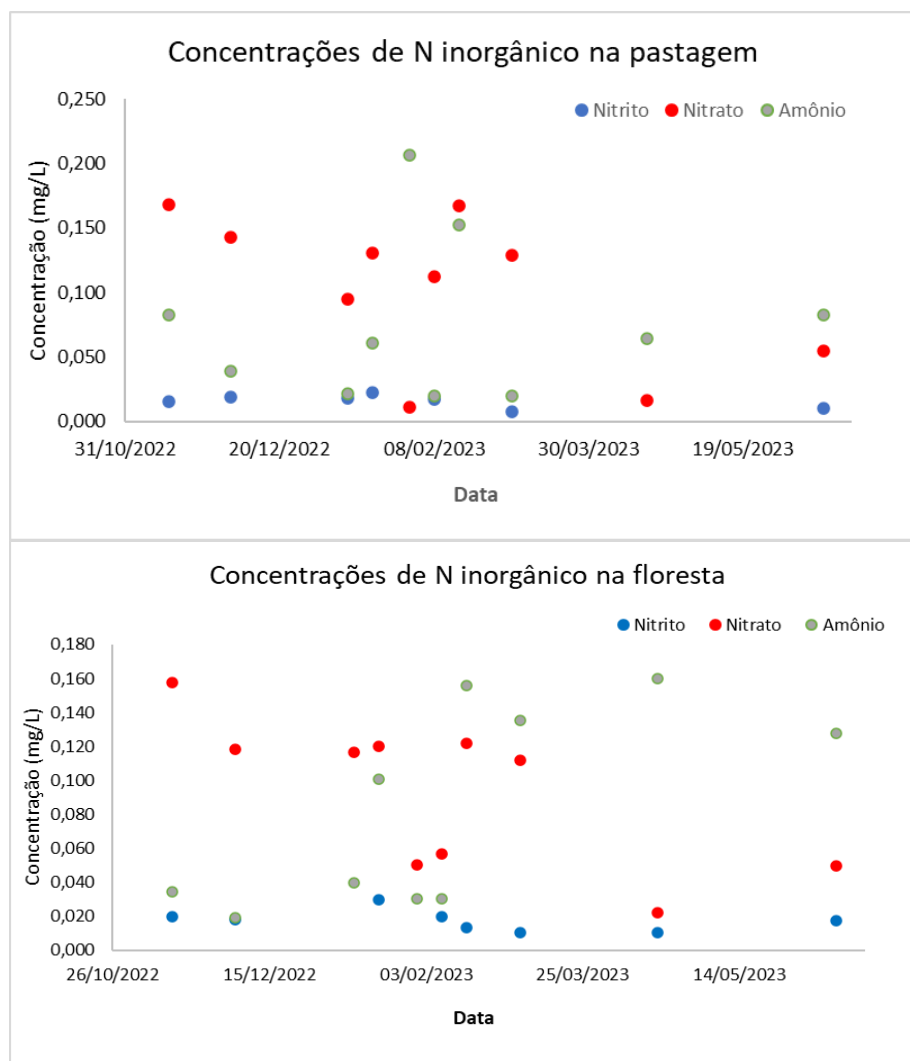
Durante o período deste estudo foram realizadas 10 coletas simultâneas de eventos de precipitação na floresta e pastagem (Tabela 2).

**Tabela 1** - Precipitação (mm) observada nos eventos coletados

<b>Data</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Floresta</b>
14/11/2022	38,98	31,12
04/12/2022	77,96	60,67
11/01/2023	23,14	18,55
19/01/2023	25,87	28,59
31/01/2023	15,31	15,59
08/02/2023	9,95	11,35
16/02/2023	13,53	11,53
05/03/2023	30,53	24,67
18/04/2023	26,93	22,57
14/06/2023	12,46	10,51

**Fonte:** O autor.

As variações das concentrações das espécies inorgânicas de N na precipitação para o período de estudo podem ser vistas na Figura 7.

**Figura 8** - Concentração de nutrientes dissolvidos na precipitação nos eventos amostrados

Fonte: O autor.

Observa-se, de maneira geral, a predominância de nitrato entre as formas inorgânicas de N na precipitação, seguido de amônio e nitrito (a forma com meia vida mais curta na natureza), todos em concentrações relativamente baixas. Isto indica que não há influência de poluentes atmosféricos oriundos, por exemplo, da queima de combustíveis fósseis, apesar da região de estudo ser localizada próxima à cidade de Extrema, MG.

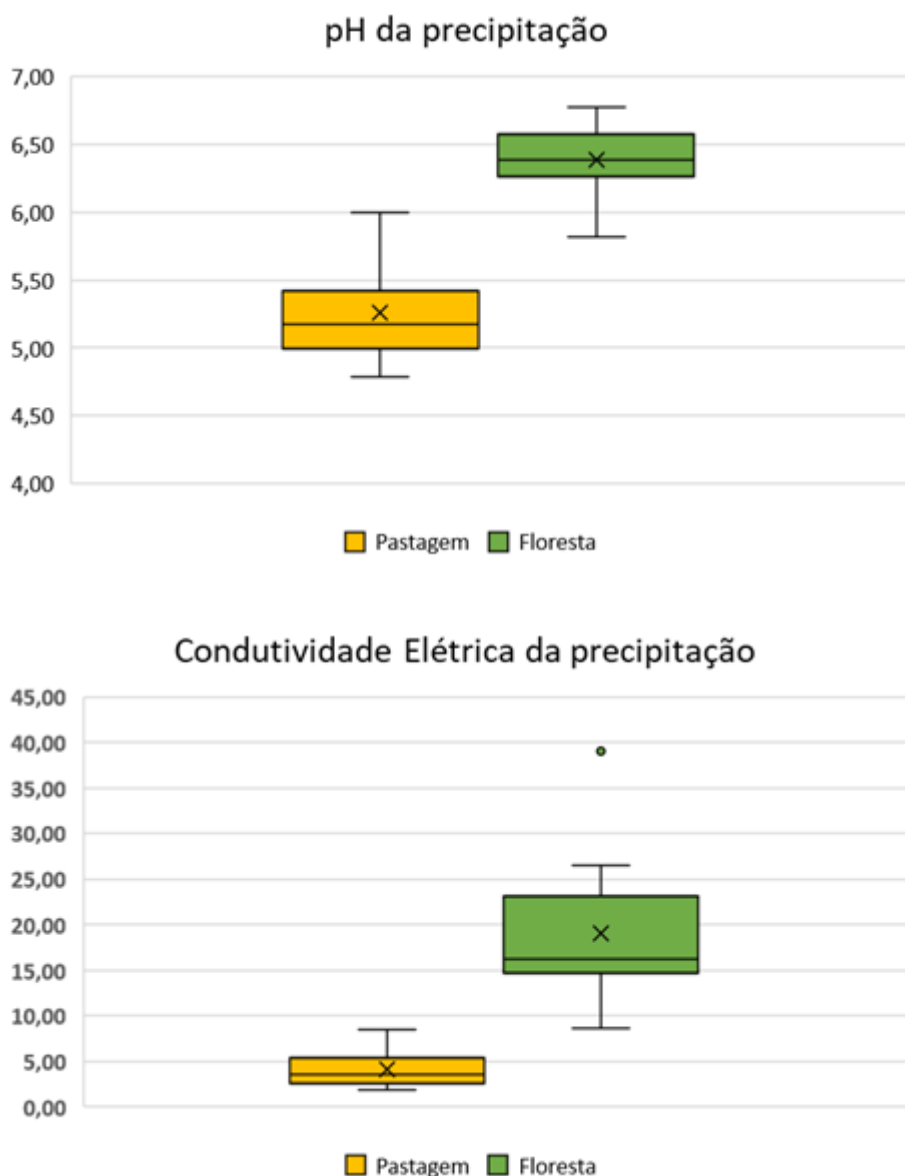
Ao mesmo tempo, existem grandes variações absolutas de concentração entre eventos de precipitação, com a floresta apresentando valores de nitrato variando entre 0,022 mg/L em junho de 2023 e 0,158 mg/L em novembro de 2022 (média de 0,093 e desvio-padrão de 0,042 mg/L para todos eventos), nitrito variando entre 0,011 mg/L em março e abril de 2023 e 0,030 mg/L em janeiro de 2023 (média

de 0,017 e desvio-padrão de 0,06 mg/L) e amônio variando entre 0,02 mg/L em dezembro de 2022 e 0,16 mg/L em abril de 2023 (média de 0,083 e desvio-padrão de 0,055 mg/L). Na pastagem estes valores são, respectivamente de 0,55 mg/L de nitrato em junho de 2023 e 0,168 mg/L em novembro de 2022 (média de 0,103 e desvio-padrão de 0,055 mg/L), 0,007 mg/L de nitrito em março de 2023 e 0,022 mg/L em janeiro de 2023 (média de 0,016 e desvio-padrão de 0,005 mg/L) e 0,020 mg/L de amônio em fevereiro de 2023 e 0,207 mg/L em janeiro de 2023 (média de 0,075 e desvio-padrão de 0,058 mg/L).

Apesar de identificarmos ambas séries como dados de precipitação, as amostras obtidas na floresta constituem, na realidade, amostras de transprecipitação (isto é, amostras de precipitação que percorreram as estruturas florestais abaixo das copas). Desta forma, seriam esperadas maiores concentrações de nitrogênio inorgânico, oriundos da lixiviação das folhas e galhos, principalmente nos eventos de precipitação posteriores a períodos mais prolongados sem ocorrência de chuvas. Tal comportamento é observado apenas para as concentrações de amônio, que torna-se a principal forma de transporte de N inorgânico na floresta no período de precipitações menos intensas deste estudo (março a junho de 2023). Tal fato contrasta com resultados de estudos similares em regiões da Amazônia, por exemplo, onde observa-se um aumento da concentração de nutrientes na transprecipitação de florestas nativas, em comparação com a precipitação direta em áreas de pastagem adjacente (Chaves et al., 2009).

Tais resultados podem ser atribuídos ao fato deste reflorestamento ainda não ter atingido estágio de maturidade de matas nativas, o que pode ser constatado visivelmente pela abertura das copas. A menor quantidade de estruturas florestais acima dos coletores de transprecipitação constitui não somente uma superfície menor de lixiviação como também substrato mais reduzido para colonização e/ou deslocamento de fauna associada. Entretanto, não significa que, mesmo neste estágio, o reflorestamento não tenha efeitos sobre o transporte total de elementos químicos dissolvidos, como indicam os resultados de pH e condutividade elétrica destas águas, apresentados na Figura 9.

**Figura 9** - Comparação entre pH e condutividade elétrica da precipitação na floresta e na pastagem

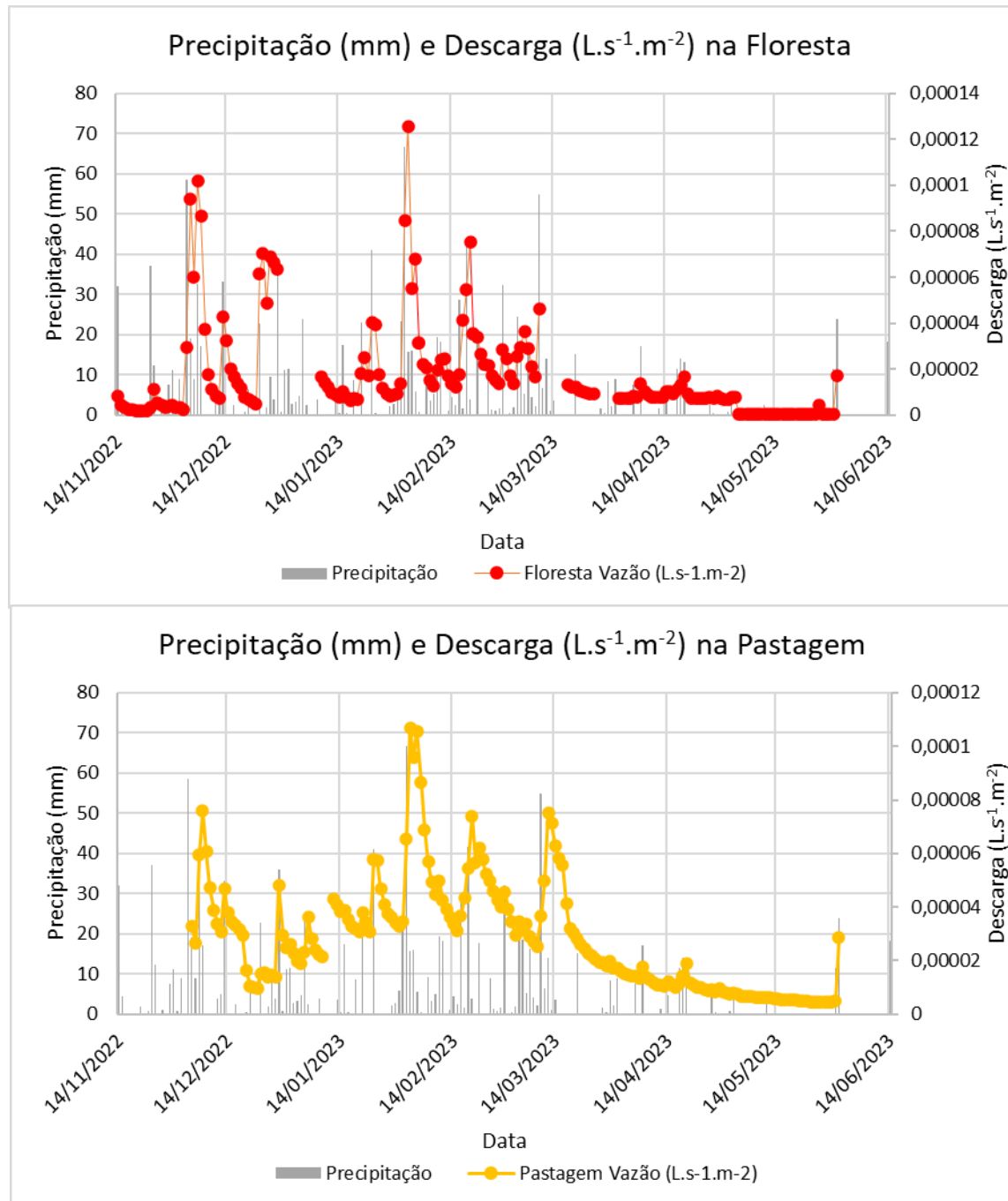


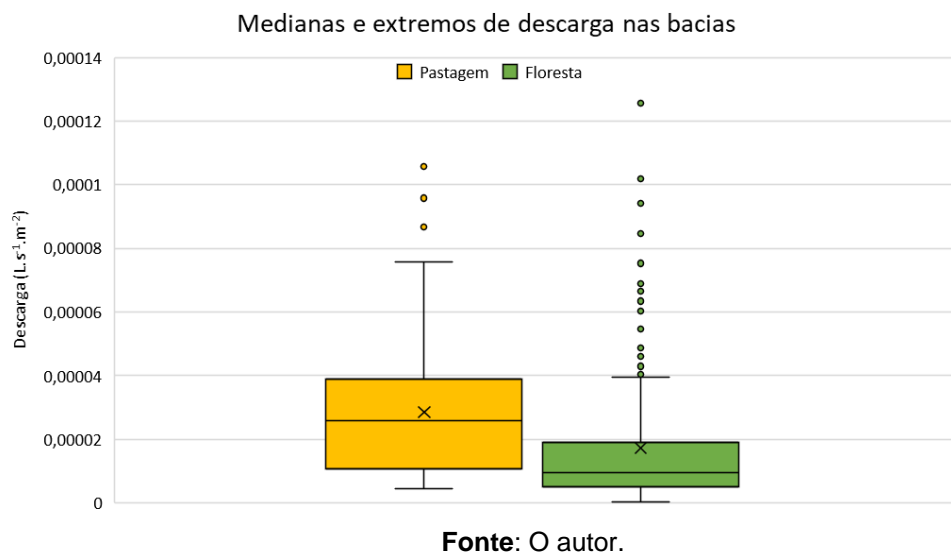
**Fonte:** o autor.

Estes dados tornam evidente a influência da vegetação acima do solo na composição química da precipitação. O percurso da água dentro da floresta faz com que o pH e a condutividade elétrica aumentem significativamente. Portanto, neste reflorestamento as estruturas florestais contribuem com elementos não disponíveis na pastagem e que alteram o pH, o que por sua vez pode afetar os processos de troca iônica com a matriz dos solos, modificando os processos biogeoquímicos que controlam a exportação de elementos através da drenagem.

### 3.2 Descarga

A descarga corrigida para as áreas drenadas mostra as respostas das nascentes estudadas aos eventos de precipitação local, não existindo diferenças significativas entre os diferentes tipos de cobertura vegetal (Figura 10). Ainda que a bacia da pastagem apresente valores médios relativamente superiores de descarga, provavelmente decorrentes da maior declividade média na mesma ( $25,8^\circ$  contra  $15^\circ$  na floresta), os maiores picos de descarga foram observados na bacia reflorestada (Figura 11). Entretanto, este resultado pode ser um artefato da metodologia empregada para estas medições. Por se tratarem de nascentes, com descargas relativamente muito pequenas, as calhas de monitoramento apresentam abertura de apenas 1,22 cm, facilmente bloqueáveis por detritos em suspensão. De fato, em um dos eventos (23/12/2022) observamos que este canal na floresta havia sido bloqueado por folhas carregadas durante o escoamento superficial. Ao mesmo tempo, na pastagem, em um dos eventos amostrados (02/02/2023), a descarga foi superior ao nível máximo da calha, acarretando em uma subestimativa do volume total, fato não observado na floresta em função dos menores valores de descarga. Em termos totais anuais, os erros associados a estes artefatos são inferiores a 2%.

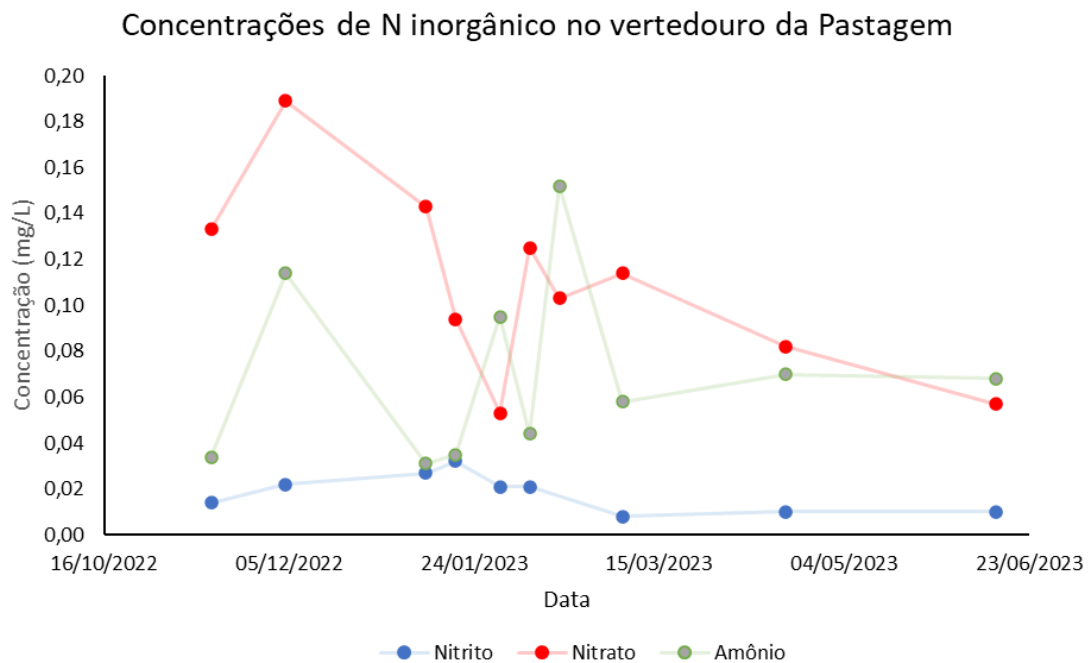
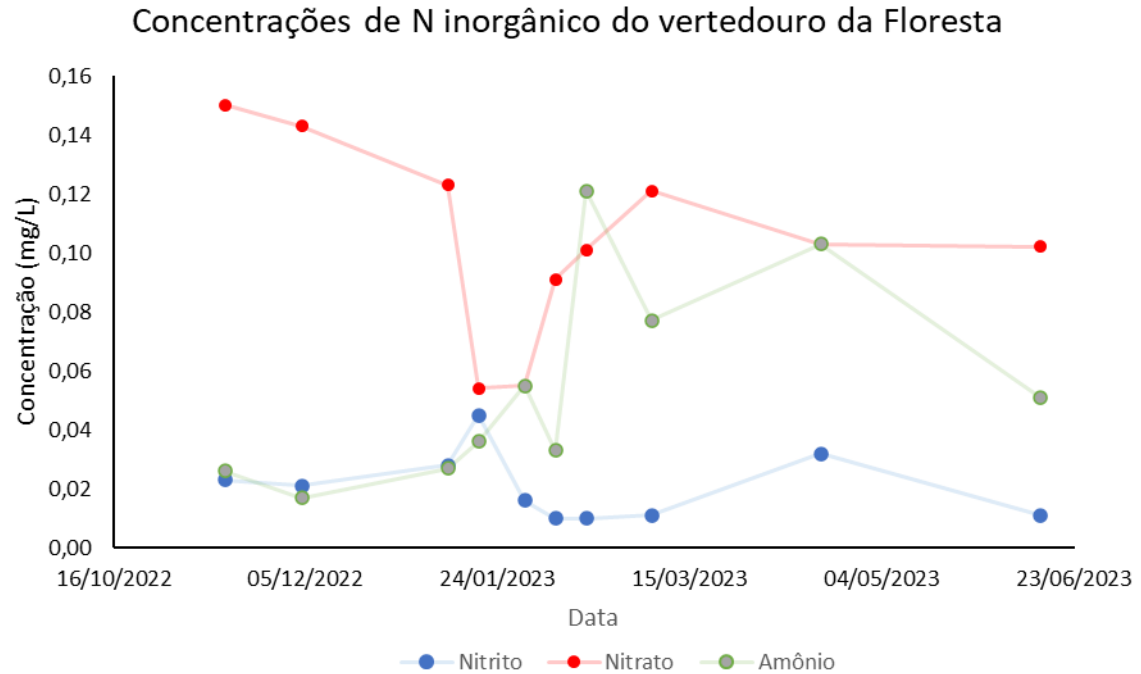
**Figura 10** - Precipitação e descargas nas bacias monitoradas**Fonte:** O autor.

**Figura 11** - Medianas e extremos de descarga nas bacias de estudo

### 3.2.1 Nitrogênio inorgânico na descarga

A Figura 12 mostra a distribuição das espécies de N inorgânico (nitrito, nitrato e amônio) nas águas dos vertedouros durante os eventos de amostragem simultânea à precipitação. Em termos gerais, estas concentrações seguem os mesmos padrões observados para a precipitação, com predomínio da forma de nitrato, seguido de amônio e nitrito. Porém, com exceção de apenas um evento na floresta e dois na pastagem, não se observam concentrações superiores de amônio na floresta, como observado na precipitação. Isto indica que, apesar do curto tempo de residência da água na bacia durante os eventos de precipitação, este é suficiente para que ocorra a oxidação de amônio a nitrato durante o transporte da atmosfera aos vertedouros.



**Figura 12 – Distribuição das espécies de N-inorgânico nos vertedouros**

**Fonte:** O autor.

### 3.3 Balanços de nitrogênio inorgânico

Os valores anuais do aporte de N inorgânico pela precipitação e exportação através da descarga, em gramas de N por metro quadrado por ano, podem ser vistos na Tabela 2.

**Tabela 2** - Fluxos de N inorgânico (nitrito + nitrato + amônio), em  $\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , nas microbacias pareadas com cobertura vegetal de reflorestamento e pastagem

	<b>Pastagem</b>	<b>Floresta</b>
Precipitação	0,188	0,190
Descarga	0,091	0,044
Balanço	0,097	0,147
<b>Percentual exportado</b>	<b>48,5</b>	<b>22,9</b>

**Fonte:** O autor.

Estes dados demonstram que há maior retenção do N inorgânico dissolvido na microbacia reflorestada, em relação àquela com pastagem. Apesar desta análise não contemplar os processos biogeoquímicos internos a estes sistemas e ser baseada apenas nas formas inorgânicas de N, com base nestes resultados podemos confirmar nossa hipótese de que o reflorestamento resulta em uma maior retenção de N, contribuindo assim para a redução dos aportes deste nutriente para os sistemas fluviais à jusante.

Portanto, a iniciativa de reflorestamento, adotada no Projeto Conservador das Águas, é uma medida mitigadora importante para a restauração dos serviços ecossistêmicos desta área de nascentes do bacia do rio Jaguari, um dos principais formadores do sistema PCJ (Piracicaba-Capivari-Jundiaí).

## 4 CONCLUSÃO

Foi possível observar um comportamento similar para os eventos de precipitação em ambas as micro-bacias. As amostras de throughfall apesar não sofrerem significativa diferença na composição de nitrogênio houve alterações significativas nos parâmetros pH e E.C., reforçando o papel ecológico das copas da vegetação como efeito tampão, neutralizando chuvas ácidas e enriquecendo-a com nutrientes. Acelerando assim a circulação e ciclagem de nutrientes.

As vazões das micro-bacias são significativamente diferentes, fator este além da diferença de declividade podemos associar ao uso do solo, tendo em vista que o uso de pastagem favorece a via hídrica do escoamento superficial e o mesmo apresentou vazões maiores tanto no período seco como no chuvoso. Mostrando assim, que a área de reflorestamento do projeto Conservador das Águas Extrema-MG está contribuindo para a regulação do ciclo hidrológico no que tange o fluxo hídrico da micro-bacia, fatores este relacionados ao aumento do armazenamento, redução da erosão e sedimentação do curso.

A vazão mostrou possuir significativa relação no transporte de nitrogênio tanto do nitrato como do amônio para ambas as bacias. Após relacionarmos os valores da química com a vazão, obtendo assim o fluxo ( $\text{mg.s}^{-1}$ ) de  $\text{N-NH}_3$  e  $\text{N-NH}_4$  as micro-bacias se divergiram. Fator este explicado no balanço de nitrogênio ocorrido na bacia reflorestada, onde atuou na aceleração da circulação ou ciclagem dos nutrientes.

O balanço de nitrogênio para a pastagem em primeira instancia aparentou ser nulo, porém numa extrapolação para  $\text{g.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  fica nítido que este uso do solo exporta nitrogênio em todas as formas analisadas, sendo o principal contribuinte o amônio. A micro-bacia de uso florestal proveniente de uma restauração estar incrementando no seu ecossistema nitrogênio em todas as formas analisadas. O amônio dentre os elementos analisados foi o principal contribuinte deste balanço positivo, reforçando assim o esperado por Matthew S. Wong, onde ele cita em uma de suas obras possuir uma preferência dos microrganismos por este elemento.

Por fim, o Projeto Conservador das Águas o qual foi responsável pela restauração da micro bacia do Posses, área está objeto deste estudo, contribui com seus serviços ecossistêmicos de forma local e regional. Se todas as micro-bacias

degradadas da região fossem restauradas é notório que ganho ambiental, além de contribuição para menores gastos, visto que bacia hidrográfica do Jaguari é uma das principais contribuintes no abastecimento do sistema Cantareira, e menor exportação de nitrogênio resulta em menor probabilidade de eutrofização dos lagos, lagoas que constituem o sistema de abastecimento da região metropolitana de São Paulo.

## REFERÊNCIAS

AGUDO, E.G. Guia de coleta e preservação de amostras de água. **São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB, da Secretaria do Meio Ambiente do Governo de São Paulo**, 1987. 150p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 Edição. 2012.

ANDERSEN, Jesper H.; SCHLÜTER, Louise; ÆRTEBJERG, Gunni. Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. **Journal of plankton research**, v. 28, n. 7, p. 621-628, 2006.

ANDRADE, T.M.B. **Dinâmica do nitrogênio e do carbono em microbacias hidrográficas com cobertura de cana-de-açúcar**. 2013. 163 p. Tese (Doutorado em ciências) – CENA/USP, Piracicaba-SP, 2013.

AZEVEDO, T.S. de. **Legislação e geotecnologias na definição das áreas de preservação permanente e das reservas legais**: Aplicação à Bacia do Córrego das Posses, Município de Extrema-MG. 2008. 168 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.

Bicudo, C.E.M.; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B. , orgs. B583a **Águas do Brasil: análises estratégicas**. 224 p. Instituto de Botânica. São Paulo, 2010.

Brasil. Agência Nacional de Águas (ANA). **Programa Produtor de Água**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

Brasil. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Produção nacional de fertilizantes. Brasília: SAE, 2020. 26 p. v. 12.

BUSSI, G. et al. **Modelling the future impacts of climate and land-use change on suspended sediment transport in the River Thames (UK)**. Journal of hydrology, v. 542, pag. 357-372, 2016.

CARLI, B.P.D. et al. Os reservatórios Jaguari Jacareí. **Reservatórios que abastecem São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: Instituto de Biociências IB/USP, 2020.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro. Editora Interciência, 2 Edição, 599p., 2008.

CHAPIN III, F.S.; MATSON, P.A.; MOONEY, H.A. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. New York: Springer – Verlag, 2002. cap.9, p.197-223: Terrestrial nutrient cycling.

CHAVES, J. et al. Nitrogen transformations in flowpaths leading from soils to streams in Amazon forest and pasture. **Ecosystems**, v. 12, p. 961-972, 2009.

DAVIDSON, Eric A. et al. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012.

DE CARVALHO, L. M. T. **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa: 2005-2007**. UFLA, 2008.

FOLLET, R.F.; DELGADO, J.A. Nitrogen fate and transport in agricultural systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.52, n.6, p.402-408, 2002

FREITAS, Simone R.; HAWBAKER, Todd J.; METZGER, Jean Paul. Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 3, p. 410-417, 2010.

GALLOWAY, J.N. The global nitrogen cycle: changes and consequences. **Environmental Pollution**, v.102, p.15-24, 1998.

GOMES, T.F. **Dinâmica da erosão em uma microbacia coberta por cana-de-açúcar e floresta ripária**. 2017. 95p. Tese de Doutorado. Centro de Energia na Agricultura da Universidade de São Paulo- CENA/USP. Piracicaba-SP. 2017

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) – **Carta Topográfica: Folha Extrema**. Escala 1:50.000 Rio de Janeiro: 1972.

IRRIGART – Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos e Meio Ambiente Ltda. **Plano Municipal de Recursos Hídricos do Município de Extrema**, Relatório Final, setembro de 2013.

KOEPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México. Editora Fondo de Cultura Económica, 1948

LEITAO FILHO, H.F. **Aspectos taxonomicos das florestas do estado de São Paulo**. Silvicultura em São Paulo, Piracicaba, v. 16, pag. 197-206, 1982.

MARTINS, Paulo F. da S. et al. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem. **Forest ecology and management**, v. 38, n. 3-4, p. 273-282, 1991.

MATSON, Pamela; LOHSE, Kathleen A.; HALL, Sharon J. The globalization of nitrogen deposition: consequences for terrestrial ecosystems. **Ambio**, p. 113-119, 2002.

MCCLAIN, M.E.; ELSEENBER, H. Terrestrial inputs to Amazon streams and internal biogeochemical processing. In: MCCLAIN, M.E; VICTORIA, R.; RICHEY, J.E. (Ed.). **The biogeochemistry of the Amazon Basin**. Oxford: University Press, 2001. cap.12, p.185-208.

MCCLAIN, M.E.; RICHEY, J.E.; PIMENTEL, T.P. Groundwater nitrogen dynamics at the terrestrial – lotic interface of a small catchment in the Central Amazon Basin. **Biogeochemistry**, v.00, p. 1-15, 1994.

MCDOWELL, W.H.; BODWEN, W.B.; ASBURY, C.E. Riparian nitrogen dynamics in two geomorphologically distinct tropical rain forest watersheds: subsurface solute patterns. **Biogeochemistry**, v.18, p.53-75, 1992.

MORELLATO, L. Patrícia C.; HADDAD, Célio FB. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 786-792, 2000.

MORETTI, L.R; **Avaliação da erosão superficial em pequenas bacias hidrográficas rurais**. 2001. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-EPUSP. 2001.

NIXON, Scott W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. **Ophelia**, v. 41, n. 1, p. 199-219, 1995.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 272p

PEREIRA, Eder Johnson de Area Leão et al. Policy in Brazil (2016–2019) threaten conservation of the Amazon rainforest. **Environmental Science & Policy**, v. 100, p. 8-12, 2019.

RABALAIS, N.N. Eutrophication. **The Global Coastal Ocean: Multiscale Interdisciplinary Processes, The Sea**. Harvard University Press, v. 13, p. 819-865, 2004.

RAUSCH, Lisa L. et al. Soy expansion in Brazil's Cerrado. **Conservation Letters**, v. 12, n. 6, p. e12671, 2019.

SILVA, M.A. et al. **Levantamento de solos e diagnóstico da degradação do solo e da água em função do uso**. Congresso de pós-graduação da Universidade Federal de Lavras-UFLA, 17p. 2008.

SMIL, Vaclav. Global population and the nitrogen cycle. **Scientific American**, v. 277, n. 1, p. 76-81, 1997.

SMITH, V.H. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 10, p. 126-139, 2003.

SMITH, Val H.; TILMAN, G. David; NEKOLA, Jeffery C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. **Environmental pollution**, v. 100, n. 1-3, p. 179-196, 1999.

TABARELLI, Marcelo; MANTOVANI, Waldir; PERES, Carlos A. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. **Biological conservation**, v. 91, n. 2-3, p. 119-127, 1999.

VALDERRAMA, J.C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Marine chemistry**, v. 10, n. 2, p. 109-122, 1981.

VIOLA, M. R. et al. Impacts of land-use changes on the hydrology of the Grande river basin headwaters, Southeastern Brazil. **Water resources management**, v. 28, p. 4537-4550, 2014.

VITOUSEK, P.M.; ABER, J.D.; HOWART, R.W.; LIKENS, G.E.; MATSON, P.A.; SCHINDLER, D.W.; SCHLESINGER, W.H.; TILMAN, D.G. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. **Ecological Applications**, v.7, n.3, p.737-750, 1997b.

VITOUSEK, P.M.; MOONEY, H.A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J.M. Human domination of earth's ecosystems. **Science**, v.277, p. 494-499, 1997a.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996

WETZEL, R.G. et al. Inorganic nutrients: nitrogen, phosphorus, and other nutrients. **Limnological analyses**, Springer, New York-NY, p. 81-105, 1991.

WHATELY, M.; CUNHA, P. **Cantareira 2006**: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. Resultados do diagnóstico socioambiental participativo do Sistema Cantareira. São Paulo: Instituto Socioambiental. 68 p. 2007.

WILLIAMS, M.R.; FISHER, T.R.; MELACK, J.M. Solute dynamics in soil water and groundwater in a central Amazon catchment undergoing deforestation. **Biogeochemistry**, v.38, p.303-335, 1997.

WONG, M. S.; WU, S.; CAUSEY, T. B.; BENNETT, G. N.; SAN, K. Y. Reduction of acetate accumulation in *Escherichia coli* cultures for increased recombinant protein production. **Metabolic Engineering**, v. 108, p. 10:97, 2008.