



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

ESTUDO DA CICLAGEM DE CARBONO E NITROGÊNIO EM UM FRAGMENTO FLORESTAL URBANO ATRAVÉS DOS FLUXOS HIDROLÓGICOS

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)

Rayane Rodrigues (FATEC Jacareí– Faculdades de Tecnologia de
Jacareí, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: rayane.rodrigues@fatec.sp.gov.br

Dr. Celso Von Randow (CCST/INPE, Orientador) E-
mail: celso.vonrandow@inpe.br

Dra. Karinne Reis Deusdará Leal (CEMADEN, Co-orientadora)
E-mail: karinne.deusdara@gmail.com

Número do Processo Institucional: 800353/2018-8

Número do Processo Individual: 147808/2019-7

INPE
São José dos Campos
2020



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

ESTUDO DA CICLAGEM DE CARBONO E NITROGÊNIO EM UM FRAGMENTO FLORESTAL URBANO ATRAVÉS DOS FLUXOS HIDROLÓGICOS

Rayane Rodrigues

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIC, orientada pelo Dr. Celso Von Randow
e Coorientada pela Dra. Karinne Reis
Deusdará Leal

INPE
São José dos Campos
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Dr. Celso Von Randow e Dra. Karinne Reis Deusdará Leal que me auxiliaram ao longo da realização deste trabalho, através de discussões científicas, atividades em campo, conversas e reflexões sobre os dados da pesquisa. Agradeço ainda a todos os professores, pesquisadores e funcionários que contribuíram de modo direto ou indireto para que esta pesquisa fosse realizada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de iniciação científica, Processo individual nº 147808/2019-7.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST e seu Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologia – LAQUATEC, pela oportunidade de realizar um estudo que contribuiu significativamente para o meu crescimento pessoal e profissional. Agradeço todo o apoio, acolhimento e suporte financeiro e estrutural concedido.

Ao Carlos Daniel Meneghetti, por todo o apoio e auxílio prestado no laboratório LAQUATEC. Agradeço também à professora Dra. Rita Von Randow pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

RESUMO

Os fluxos hidrológicos representam uma das principais fontes de entrada de nutrientes em ecossistemas florestais, o que contribui diretamente para a ciclagem biogeoquímica dos elementos que mantêm o funcionamento biótico destes ambientes. Este estudo teve como objetivo quantificar as formas orgânicas e inorgânicas de carbono (C) e nitrogênio (N) dissolvidos na precipitação atmosférica (PA), na precipitação interna (PI) e no escoamento pelos troncos (ET) em um fragmento florestal secundário urbano de Mata Atlântica, na cidade de Jacareí, São Paulo, com o intuito de avaliar a contribuição do dossel para a ciclagem destes macronutrientes. Foram seguintes parâmetros químicos foram analisados: C Orgânico, C Inorgânico, N Total, N nas formas de Amônio e Nitrato. A partir destes resultados foram estimados C Total e N Orgânico. Os resultados indicam uma maior concentração de nutrientes na água de ET, seguido da água de PI e menores concentrações na água da PA. Este enriquecimento de nutrientes à medida que a água atravessa o dossel pode estar relacionado à lavagem de exsudatos das plantas, liberados durante o processo fotossintético, assim como contribuições de material particulado atmosférico depositado sobre folhas e troncos das árvores. Com relação aos teores de N, os dados indicam maiores concentrações na sua forma orgânica do que inorgânica, tanto para a água de PA como para a água da PI. Observou-se um maior enriquecimento de N na forma de nitrato quando se compara PA com PI, o que já era esperado devido à alta mobilidade e capacidade de lixiviação deste composto. Os resultados indicam que existe uma maior disponibilidade de C na forma orgânica do que na sua forma inorgânica, e um incremento significativo à medida que a água de chuva atravessa o dossel florestal.

Palavras-chave: Fluxos hidrológicos, Ciclagem biogeoquímica, Ecossistemas florestais, Carbono, Nitrogênio.

ABSTRACT

Hydrological flows represent one of the main sources of nutrient input in forest ecosystems, which directly contributes to the biogeochemical cycling of the elements that maintain the biotic functioning of these environments. This study aimed to quantify the organic and inorganic forms of carbon (C) and nitrogen (N) dissolved in the atmospheric precipitation (PA), in the throughfall (PI), and the stemflow (ET) in a secondary forest fragment of Mata Atlântica, in the city of Jacareí, São Paulo, to evaluate the contribution of the canopy to the cycling of these macronutrients. The following chemical parameters were quantified: Organic C, Inorganic C, Total N, N in the forms of Ammonium and Nitrate. /based on these results, Total C and Organic N were estimated. Results indicate higher nutrient concentrations in ET water, followed by PI water and lower concentrations in PA water. This nutrients enrichment as the water passes through the canopy may be related to the washing of plant exudates, released during the photosynthetic process, as well as contributions of atmospheric particulate matter deposition on leaves and trunks. Regarding the N content, results indicate higher organic than inorganic concentrations, both for PA water and for PI water. A higher enrichment of N in the form of nitrate was observed when comparing PA with PI, which was expected due to the high mobility and leaching capacity of this compound. The results indicate that there is higher availability of organic C than inorganic C, and a significant enrichment as the rainwater passes through the forest canopy.

Key words: Hydrological flows, Biogeochemical cycling, Forest ecosystems, Carbon, Nitrogen.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1 - Ilustração dos processos hidrológicos acima do solo	13
Figura 2 - Fluxograma descritivo dos procedimentos metodológicos aplicados.....	22
Figura 3 - Fragmento florestal de estudo- Jacareí, SP.....	23
Figura 4 - Coletor de Precipitação atmosférica na área externa da floresta.....	25
Figura 5 - Coletor de precipitação interna.	26
Figura 6 - Coletor de escoamento de tronco instalado na árvore Embiruçu.....	27
Figura 7 - Filtração das alíquotas para análise.....	29
Figura 8 - Amostras no analisador Shimadzu TOC-Vcph/cpn.....	30
Figura 9 - Espectrofotômetro FIA: análise por injeção de fluxo	30
Figura 10 - Distribuição temporal de carbono orgânico (a-c), inorgânico (d-f) e total (g-i) nas amostras de precipitação atmosférica (a, d, g), precipitação interna (b, e, h) e escoamento pelos troncos (c, f, i) coletadas neste estudo	34
Figura 11 - Distribuição temporal de nitrogênio total (a-b), nitrato (c-d) e amônio (e-f) nas amostras de precipitação atmosférica (a, c, e), precipitação interna (b, d, f), coletadas neste estudo	35

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Hidrologia Florestal	16
1.2 Ciclagem biogeoquímica do Carbono	17
1.3 Ciclagem Biogeoquímica do Nitrogênio	18
3. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	21
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Caracterização da área de estudo	22
1.4 Procedimento experimental.....	23
4.2.1 Atividades em campo.....	23
4.2.1.1 Coletor de Precipitação Atmosférica	25
4.2.1.2 Coletores de Precipitação Interna.....	25
4.2.1.3 Coletores de escoamento pelos troncos	26
4.3 Amostragem analítica em Laboratório	28
4.3.1 Preparação das alíquotas	28
4.3.2 Análises Químicas	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica, uma das maiores florestas tropicais existentes, possui os ecossistemas mais diversificados do mundo. Com a alta biodiversidade e complexidade nesses ambientes, a floresta vem sendo explorada ao longo dos anos, sofrendo fortes ações antrópicas, que resultaram em sua fragmentação e modificações na variedade de formações vegetais. Atualmente, diversos ecossistemas de Mata Atlântica encontram-se em estágio sucessional secundário, sendo que, estes fragmentos são excepcionalmente relevantes para estudos de hidrologia florestal e movimentação de nutrientes (ÁVILA *et al.*, 2014).

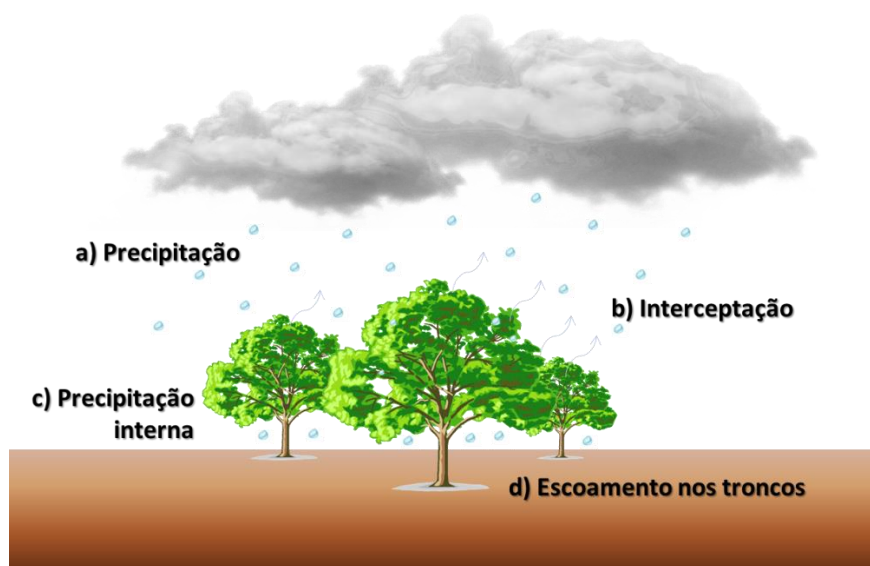
O dossel florestal desempenha funções essenciais na dinâmica hidrológica, visto que auxiliam na manutenção dos fluxos hídricos, regulação da umidade relativa do ar e na criação de um microclima favorável aos organismos residentes. Os solos das florestas tropicais geralmente são pobres em nutrientes. A fertilidade destes ecossistemas pode ser garantida pela serapilheira, camada com restos vegetais, folhas, troncos frutos e sementes, que é depositada acima do solo, bem como através da entrada de nutrientes pela água da chuva e deposição seca no dossel florestal. Logo, os processos de ciclagem biogeoquímica são importantes para a circulação dos compostos químicos na interface atmosfera-solo-planta (ÁVILA *et al.*, 2014).

No momento em que o dinamismo florestal é afetado, em virtude da supressão vegetal, a estabilidade dos fluxos de nutrientes na biosfera e sua interação com as florestas são desreguladas e as funções ecossistêmicas são rompidas, o que altera a disponibilidade e qualidade nutricional. Diante disso, Dias (2017) cita a importância dos processos hidrológicos em ecossistemas fragmentados, onde a chuva, uma das principais fontes de entrada de nutrientes, contribui para o deslocamento de elementos essenciais ao meio biótico e abiótico, como carbono (C) e nitrogênio (N).

Conforme Selle (2007), os fluxos hidrológicos florestais decorrem de diversos processos e interações entre o sistema atmosfera-solo-planta (Figura 1).

Quando as nuvens se condensam e precipitam em forma de chuva em uma superfície florestada ocorre o processo de partição da precipitação atmosférica em: (i) interceptação, parcela de água retida pela vegetação, ficando disponível para a evaporação, (ii) precipitação interna ou transprecipitação (PI), parcela de água que não consegue ser retida pelo dossel e, por gravidade, atinge o solo florestal após a lavagem das folhas e troncos, e (iii) escoamento de tronco das árvores (ET), parcela de água que escorre pelos troncos em direção ao solo florestal após o dossel atingir sua capacidade de retenção de água, com subsequente infiltração no solo. Os dois últimos processos citados constituem a precipitação efetiva, porção que efetivamente atinge o solo florestal e, portanto, são essenciais para o deslocamento de C e N através das copas das árvores.

Figura 1 – Ilustração dos processos hidrológicos acima do solo.



Fonte: Adaptado de Leal, 2016.

A atmosfera representa uma das vias fundamentais à movimentação e transferência de nutrientes ao longo dos processos biogeoquímicos em todos os ecossistemas terrestres e aquáticos. Estas transferências ocorrem através de dois processos: deposição de partículas atmosféricas sobre o dossel florestal e através da liberação de exsudatos pelas plantas. O entendimento da

interação entre os fluxos hidrológicos e o balanço de nutrientes é essencial para verificar a interferência de atividades humanas nos ciclos naturais, principalmente no que diz respeito a fragmentos florestais localizados em áreas urbanas (SOUZA; MELLO; MALDONADO, 2006).

De acordo com Dick (2016), a vegetação influencia na variação da quantidade de compostos químicos na precipitação interna, bem como auxilia no retorno dos nutrientes ao solo. O autor aponta que, a deposição de material particulado (deposição seca) sob a vegetação, é maior durante os períodos de estiagem. Portanto, quando ocorre a precipitação atmosférica após um longo período seco, o material depositado (que pode ser entendido como nutriente) é lixiviado em direção ao piso florestal. Toda essa interação contribui para a ciclagem biogeoquímica, alterando a concentração de íons dissolvidos e do pH.

Os estudos de Marin e Menezes (2008) apontam que a água de escoamento pelos troncos é composta por uma elevada concentração de macronutrientes, sendo estes, 300% maior para nitrogênio quando comparados com a composição de nutrientes presentes na precipitação atmosférica. Esse tipo de deposição ocorre quando a atmosfera é “lavada” pela chuva, removendo partículas, como amônio e nitrato, e gases, como amônia, que agregam-se às gotículas de nuvens e às gotas de precipitação. Isto torna evidente a relevância desse processo para a distribuição de compostos de N e ciclagem biogeoquímica no solo, que contribui para o crescimento e desenvolvimento das espécies arbóreas nos ecossistemas florestais.

De acordo com Dias (2017), os interesses pelo estudo da ciclagem do carbono têm aumentado devido às necessidades locais e globais em busca da redução de emissões de CO₂ e pelo entendimento da importância do balanço deste elemento nas florestas, que exercem estocagem natural. Estes estudos são utilizados como comparativos para verificar a alteração na dinâmica dos fluxos de nutrientes em ambientes modificados antropicamente, como áreas de pastagem e de cultivo agrícola.

Os ciclos de C e N estão intimamente interligados nos ambientes de florestas, uma vez que, para que as plantas possam absorver C no processo

fotossintético, necessitam de N para sintetizar enzimas. Conforme Silva (2018), a ausência de precipitação pluvial pode restringir a disponibilidade de nutrientes abaixo do solo, já que, a chuva funciona como um mecanismo que carrega compostos químicos em direção à superfície do piso florestal.

Neste trabalho foram analisados o C e N, uma vez que estes são indispensáveis para a manutenção das florestas, sendo os principais macronutrientes que atuam no processo fotossintético das plantas. Além disso, de acordo com Figueiredo (2016), o N pode ser um fator limitante na produção primária, visto que muitas vezes não está disponibilizado nas formas que as árvores conseguem absorver. Logo, é de suma importância compreender a contribuição das vias úmidas para o aporte destes nutrientes, principalmente de fragmentos florestais urbanos, onde muitas vezes, a ciclagem de nutrientes pode ser restringida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Hidrologia Florestal

A hidrologia florestal trata-se da área de estudo da interação entre floresta e água, i.e., da influência da vegetação no ciclo hidrológico, compreendendo efeitos de prevenção dos processos erosivos, favorecimento de um microclima com maior umidade relativa do ar e manutenção de uma boa qualidade hídrica (LIMA, 2008).

Os ambientes florestais, integrados pelas árvores e solo, possuem diversas funcionalidades que mantêm a estabilidade sistêmica, como a regulação climática (umidade e temperatura), contenção de processos erosivos, mitigação de poluição atmosférica, absorção de dióxido de carbono (CO₂), produtividade de biomassa, promoção de oxigênio (O₂), melhoria na quantidade e qualidade da água que infiltra e percola no solo, que, por sua vez, contribui para o abastecendo dos rios (LIMA, 2008).

De acordo com Izidio *et al.* (2013), as florestas influenciam diretamente no balanço hídrico do local onde se encontram, podendo alterar a dinâmica de passagem da água e nutrientes para a camada superficial do solo. A vegetação é essencial para a retenção da água da chuva que chega ao solo florestal, sendo que, fatores como a morfologia e tipologia vegetal, índice de área foliar, estruturação da casca do tronco, propriedades do solo, condições climáticas e atmosféricas, são determinantes no processo de captação e armazenagem de água (TONELLO *et al.*, 2013). Dick (2016) aponta que a água da chuva funciona como um sistema de lavagem das copas das árvores, removendo partículas secas atmosféricas e aerossóis depositados na superfície foliar das plantas.

Conforme a circulação das massas de ar pela atmosfera, as nuvens se formam carregadas por vapor de água e por compostos químicos. Quando as nuvens ascendem e encontram uma temperatura mais fria, condensam e precipitam em forma de chuva. A vegetação corresponde a uma das “barreiras” mais significativas para a partição da precipitação, visto que, auxilia na redução do impacto das gotas de chuva que alcançam o chão florestal. Esta parcela de

chuva que atravessa o dossel e chega ao solo refere-se à precipitação interna e ao escoamento de tronco, que juntos, constituem a precipitação efetiva (SARI; PAIVA; PAIVA, 2016).

De acordo com Sari, Paiva e Paiva (2016), o escoamento pelos troncos é representado pela parcela de água retida pelas copas que será translocada pelos troncos, galhos e ramificações até a superfície do solo. Este processo decorre da saturação da copa, ou seja, quando se atinge a capacidade total de contenção de água.

Conforme Gligio (2013), a precipitação interna e o escoamento pelos troncos correspondem aos processos necessários para o deslocamento da água da chuva do dossel até o solo florestal, constituindo a precipitação que efetivamente atinge o solo. Logo, esta precipitação efetiva interfere nos fluxos dos componentes hidrológicos e biogeoquímicos, como por exemplo, translocação de água para o solo, retorno dos elementos químicos dissolvidos na água da PI e ET para o solo, contribuição do controle erosivo, manutenção do fluxo de base que abastece os aquíferos e esta, por sua vez, abastece os corpos hídricos.

2.2 Ciclagem biogeoquímica do Carbono

O carbono é um elemento essencial à vida, sendo o principal componente estrutural das moléculas orgânicas nos seres vivos. Em sua forma de gás, é responsável por regular a manutenção dos ecossistemas terrestres e aquáticos, sendo importante para processos vitais que ocorrem no planeta, como o efeito estufa, os processos de fotossíntese das plantas, e processos de respiração e decomposição (COSTA, 2015).

Há diversos compostos carbônicos relacionados ao ciclo global do carbono, com destaque ao CO₂, CH₄, CO e hidrocarbonetos. O fluxo de carbono está vinculado aos depósitos presentes no planeta, sendo os principais, oceanos, ecossistemas terrestres, incluindo as florestas tropicais, onde o C circula entre o meio biótico (plantas e microrganismos) e abiótico (solo, atmosfera e precipitação pluvial), camada atmosférica e estruturas geológicas que

armazenam carbono mineral e carbono encontrado em fósseis. Visto que o carbono está presente na natureza e nos organismos, este representa o principal componente da matéria viva (COSTA, 2015).

De acordo com Oliveira (2019), a maior reserva de carbono nas florestas tropicais é encontrada na própria estrutura das plantas (caule, folhas, ramos e raízes), sendo altamente influenciada pela disponibilidade e regime hídrico da região.

Nos ecossistemas florestais, a ciclagem do carbono é iniciada a partir do processo fotossintético, onde as plantas absorvem o gás CO₂ na atmosfera e o transformam em compostos orgânicos de C. A fotossíntese representa um mecanismo fundamental no sequestro de CO₂, para sua conversão em glicose. (C₆H₁₂O₆). Essa translocação de C entre a atmosfera e os ambientes naturais é essencial para a produção primária de energia (biomassa) e para o equilíbrio ecológico entre os organismos autótrofos e heterótrofos. No decorrer desses processos, parte do carbono retorna à atmosfera através da perda pela respiração dos seres vivos, incluindo os vegetais (OLIVEIRA, 2019).

Prast e Pinho, 2008 apontam que nos dias atuais há a preocupação mundial quanto ao aumento das taxas de emissões de carbono para a atmosfera, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, ocasionando alterações na ciclagem do carbono, que intensifica o efeito estufa, causando as mudanças climáticas. Além disso, Alves (2014) destaca que regiões costeiras vêm sendo cada vez mais estudadas no que diz respeito à acidificação dos oceanos decorrente do aumento de CO₂, tendo potencial em desequilibrar a dinâmica do ciclo biogeoquímico do carbono orgânico principalmente, e demais nutrientes presentes nestes ecossistemas marinhos.

2.3 Ciclagem Biogeoquímica do Nitrogênio

De acordo com Mello et al., (2018), o nitrogênio representa um componente extremamente importante para a manutenção da vida nos ambientes terrestres e marinhos, sendo um dos macronutrientes minerais indispensáveis para a produção proteica das árvores. Contudo, os vegetais não conseguem absorver

o nitrogênio em sua forma orgânica (N₂), pois o mesmo precisa ser convertido em nitrogênio reativo (Nr) para que seja assimilado. Para que isto ocorra, existem processos físico-químicos e biológicos nos ecossistemas. A entrada de N em suas formas reativas nos ecossistemas decorre da deposição atmosférica seca e úmida, fixação biológica e por relâmpagos. Estes processos interferem significativamente na funcionalidade produtiva das florestas, variando de acordo com o acesso e quantia de N disponível.

Segundo Neto (2008), a porção de N no solo advém do ar, por deposições atmosféricas de formas combinadas de N (amônio, nitrato, dióxido de N). Estes processos de ciclagem biogeoquímica na biosfera integram o meio interno e externo. No fluxo interno, ocorrem processos em que o N é deslocado dentro da interface atmosfera-solo-planta, ou quando sua forma química é transformada a outra. Este ciclo engloba processos de nitrificação, ou seja, a oxidação de amônia em nitrito e posterior conversão do nitrito à nitrato, que são realizados por bactérias, de absorção e ciclagem de N pelos vegetais, mineralização e mobilização, conversão de matéria orgânica em minerais e conversão de minerais em material orgânico, respectivamente. Já o fluxo externo diz respeito aos processos que incorporam ou transferem N nas florestas, como a deposição seca e úmida, desnitrificação, ou seja, transformação de nitrato e outras substâncias em gás nitrogênio, fixação biológica e lixiviação.

Figueiredo (2016) aponta que, apesar da necessidade do nitrogênio nos ambientes florestais, seu ciclo tem sido alterado por atividades antropogênicas, ocasionando instabilidade na movimentação e quantidade de N e seus compostos. Isto ocorre pelo fato do N apresentar alta mobilidade nos compartimentos terrestres, onde ocorrem diversos processos em seu ciclo que modificam a valência química do mesmo. Na atualidade, os desequilíbrios ambientais mais evidentes são a eutrofização, acidificação de solos e ecossistemas aquáticos.

Conforme Souza, Mello e Maldono (2006), os efeitos nas florestas tropicais já são verificados em algumas pesquisas, devido às ações humanas, indicando

que níveis de N em excesso ultrapassam a exigência biológica das comunidades e ocasiona perda do potencial retentivo dos compostos de nitrogênio. Conseqüentemente, esse N começa a ser conduzido para o subsolo, afetando a qualidade das águas subterrâneas e de cursos d'água, com destaque ao nitrato. Ainda, a poluição atmosférica é intensificada em razão das emissões de óxido nitroso (N_2O) e óxido nítrico (NO). Observam-se também distúrbios quanto à acidificação do solo, oriunda das atividades descontroladas de bactérias nitrificantes.

3 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este projeto tem como objetivo geral avaliar a ciclagem biogeoquímica de carbono e nitrogênio através dos fluxos hidrológicos que incidem um fragmento florestal secundário urbano, a partir da quantificação química da água de precipitação total, precipitação interna e escoamento de tronco das árvores. Deste modo, é possível verificar a concentração de espécies químicas de carbono e nitrogênio dissolvidos que contribuem para a movimentação de nutrientes no local de estudo.

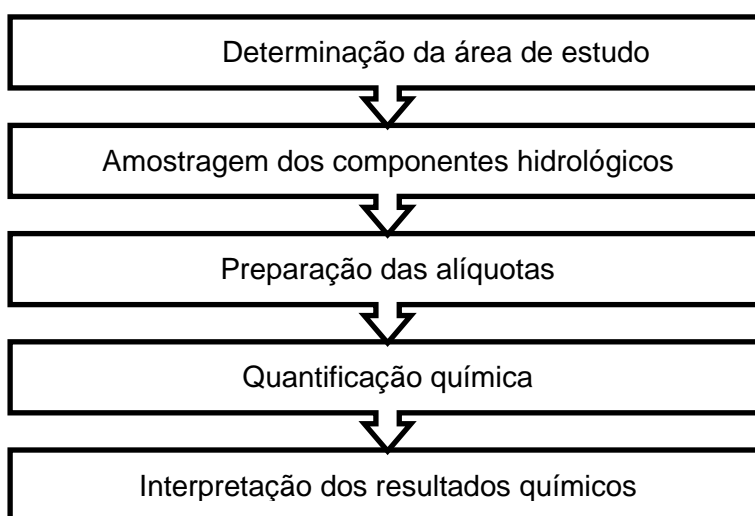
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Analisar e quantificar a composição química da água de precipitação atmosférica, precipitação interna e escoamento pelos troncos das árvores;
- ii. Avaliar a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes carbono e nitrogênio dissolvidos, em suas formas orgânicas e inorgânicas;
- iii. Verificar a importância das vias úmidas para a movimentação dos nutrientes em ambientes florestais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item descreve-se a metodologia empregada, as características da área de estudo e o procedimento experimental, em que estão apresentados os procedimentos utilizados para a amostragem dos componentes hidrológicos florestais, preparo das alíquotas, análises químicas laboratoriais, conforme descrito na figura 2.

Figura 2- Fluxograma descritivo dos procedimentos metodológicos aplicados.



Fonte: Produção da autora.

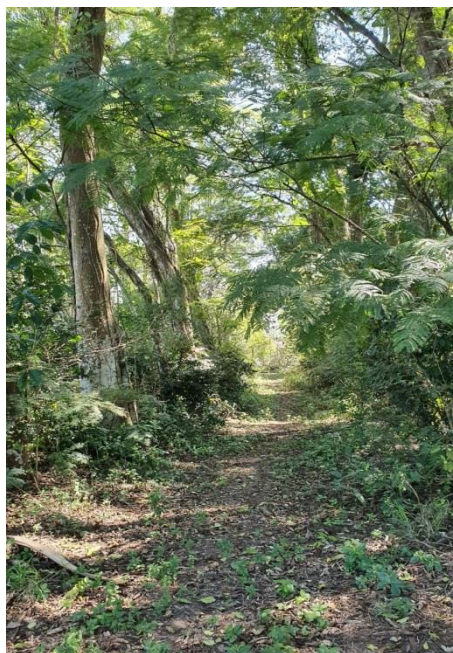
4.1 Caracterização da área de estudo

O fragmento florestal de estudo está inserido no bioma de Mata Atlântica, caracterizado como Floresta Estacional Semidecidual em estágio secundário de sucessão. Localiza-se na área urbana de Jacareí, Vale do Paraíba – São Paulo, nos domínios da Escola Técnica Estadual (ETEC) Cônego José Bento, situada à latitude 45°58'15.1"O e longitude 23°17'37.5"S, com aproximadamente 2,2 hectares de extensão.

O ambiente de estudo, apresentado na Figura 3, é composto por diversas espécies arbóreas nativas de Mata Atlântica. Está inserido na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, apresentando clima tropical úmido, relevo plano e solo classificado com transição entre gleissolo e neossolo flúvico, com

elevada deposição de serapilheira. A formação vegetal na região é identificada como floresta estacional semidecidual, em estágio secundário de sucessão ecológica. Com relação à pluviometria regional, o verão é caracterizado pelo período chuvoso, e o inverno, pela estação de estiagem. (Freitas, 2010).

Figura 3 - Fragmento florestal de estudo- Jacareí, SP.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.2 Procedimento experimental

Neste item descrevem-se os métodos utilizados para a amostragem dos fluxos hidrológicos em campo, frequência amostral, coleta e preparação das alíquotas e posteriores análises químicas das mesmas em laboratório, com a finalidade de determinar os teores de carbono e nitrogênio dissolvidos.

4.2.1 Atividades em campo

Na área de estudo delimitada foram selecionadas quatro espécies arbóreas, sendo estas: *Syagrus romanzoffiana* (Jerivá), *Anadenanthera colubrina* (Angico-vermelho), *Centrolobium tomentosum* (Araribá) e *Pseudobomax*

longiflorum (*Embiruçu*). No total, foram selecionadas cinco árvores, sendo uma de cada espécie acima mencionada e dois *Embiruçu*s de diferentes portes.

Na tabela 1 são apresentadas as descrições das árvores e as informações de Diâmetro à Altura do Peito (DAP), sendo que até o momento foi possível estimar a Área de Projeção da Copa (APC) somente do Jerivá, devido às medidas de proteção no combate à pandemia do Coronavírus.

Tabela 1 – Informações dos coletores de Escoamento pelos Troncos.

Coletor	Árvore	Descrição	APC (cm ²)	APC (m ²)	DAP (cm ²)
ET1	Jerivá	Tronco fino, alto, reto, quase liso, presença de pequenas ramificações	818300	81,83	103,5
ET2	Angico	Tronco reto, com cipós mais grossos e presença de espinhos	-	-	79
ET3	Embiruçu	Tronco com casca áspera e levemente rugoso, apresentando algumas ramificações e cipós finos	-	-	84
ET4	Araribá	Tronco fino, alto, levemente fissurado e levemente inclinado	-	-	58,5
ET5	Embiruçu	Tronco comprido, levemente tortuoso com casca levemente rugosa	-	-	74,5

Fonte: Produção da autora.

Para quantificar a PA, PI e ET, foram realizadas amostragens em campo por eventos de precipitação. Após a quantificação de cada componente hidrológico, procedeu-se à armazenagem das alíquotas, por meio de congelamento, e posterior filtração das mesmas para análise química do material.

A aquisição e instalação dos materiais em campo foram executadas durante os meses de setembro e outubro de 2019. As medições e coletas de PA, PI e ET, foram iniciadas em 11 de novembro de 2019.

4.2.1.1 Coletor de Precipitação Atmosférica

A fim de captar a chuva incidente total no dossel florestal, foi instalado um pluviômetro artesanal (Figura 4), produzido com material plástico, fixado em um suporte de madeira, a 1,5 m do solo em uma área próximo ao fragmento florestal, mas sem interferência do dossel ou qualquer outro interceptador de chuva.

Figura 4 – Coletor de precipitação atmosférica na área externa da floresta.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.2.1.2 Coletores de Precipitação Interna

Para a captação de PI foram instalados dez pluviômetros artesanais (Figura 5), confeccionados com garrafas pet, instalados no solo da área de estudo. Ao longo das amostragens realizadas com frequência de eventos pluviométricos, foi quantificada a água armazenada em todos os coletores. Foram selecionadas, aleatoriamente, amostras de três coletores para compor as alíquotas para análises químicas.

Figura 5 – Coletor de precipitação interna.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.2.1.3 Coletores de escoamento pelos troncos

Os coletores para amostrar a água de ET foram confeccionados com mangueiras de PVC, com diâmetro de 24 mm, cortadas em forma de calha e instaladas ao longo do tronco com o uso de silicone e pregos para a fixação do material. Os coletores foram encaixados em galões de plástico, com capacidade de 20L, fixados ao solo, de forma a armazenar a água do ET. Ao total, instalaram-se cinco coletores de ET, conforme a Figura 6.

Para obter eficiência das amostragens realizadas manualmente, a quantidade de chuva coletada nos coletores produzidos manualmente foi comparada à quantidade registrada em um pluviômetro semiautomático, sob responsabilidade do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações), instalado nos domínios da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Jacareí, São Paulo. A frequência de obtenção dos dados no pluviômetro semiautomático é horária, sendo necessário realizar a conversão dos dados para o passo de tempo diário.

Figura 6 - Coletor de escoamento de tronco instalado na árvore Embiruçu.



Fonte: Arquivo pessoal.

Após a instalação, todo material em campo foi esterilizado com água deionizada. As medições foram realizadas com o uso de uma proveta graduada, confeccionada em material polipropileno, com capacidade de 500 ml. A quantidade de água coletada em campo foi obtida em mililitros (ml) e convertida para milímetros (mm), através da fórmula (1):

$$\text{Vol (mm)} = V \text{ (ml)} \div \text{Área do Coletor} \times 10 \quad (1)$$

Onde, Vol (mm) corresponde ao volume em mm, V(ml) corresponde ao volume amostrado em ml. Para os coletores de PA e PI a área de captação é igual a 7,55 cm². Para calcular a área dos coletores de ET é necessário estimar a área de projeção das copas das árvores, entretanto não foi possível realizar esta atividade devido à chegada da pandemia do covid-19 no Estado de São Paulo.

4.2.2 Amostragem analítica em Laboratório

As análises químicas para a determinação das formas orgânicas e inorgânicas de carbono e nitrogênio dissolvidos foram realizadas no laboratório LAQUATEC (Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias) do CCST (Centro de Ciência do Sistema Terrestre) do INPE.

4.2.3 Preparação das alíquotas

Após a coleta em campo, as amostras foram filtradas no prazo de até 24 horas no laboratório de química da FATEC. São retiradas ao menos três alíquotas de cada componente hidrológico e uma delas é destinada à medição do pH. Para medir o pH foram utilizadas fitas indicadoras de pH, que consiste em uma análise direta por colorimetria. As outras duas amostras foram filtradas, sendo que, uma das alíquotas foi encaminhada para análise de Carbono e Nitrogênio orgânico Totais, e a outra para análise das formas inorgânicas de Nitrogênio: amônio e nitrato).

As amostras de PA, PI e ET foram filtradas em recipientes de plástico com capacidade de 30 ml, conforme demonstrado na Figura 7, utilizando-se membranas filtrantes de fibra de vidro (Gf/f) para as amostras a serem analisadas no equipamento TOC, e membranas filtrantes acetato de celulose para análises no analisador FIA (espectrofotometria). Posteriormente à filtração, as alíquotas foram identificadas e analisadas.

Figura 7 - Filtração das alíquotas para análise.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.2.4 Análises Químicas

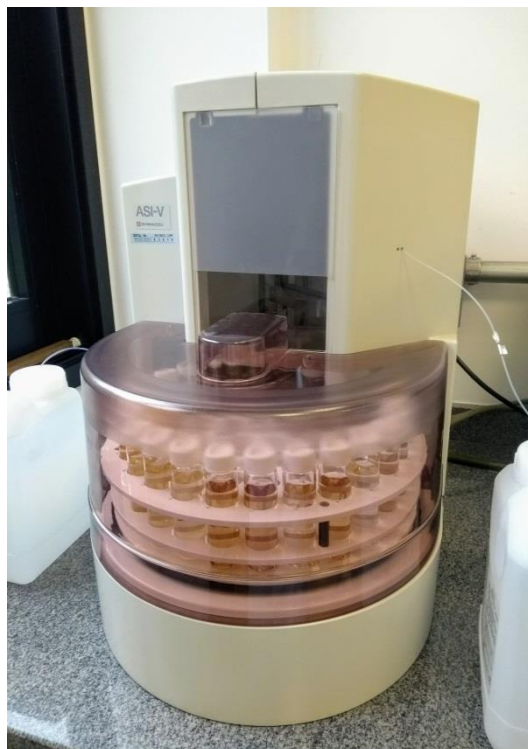
Para a mensuração de C orgânico, C inorgânico e N total foi utilizado um analisador de Carbono Orgânico Total da marca Shimadzu TOC-Vcph/cpn (Figura 8), que quantifica as concentrações de carbono e nitrogênio totais.

Para obter a estimativa de Carbono Total (TC), soma-se os valores de carbono orgânico (NPOC) e carbono inorgânico (IC), de acordo com a fórmula (2):

$$\text{NPOC} + \text{IC} = \text{TC} \quad (2)$$

Com relação ao nitrogênio, foi analisado nitrogênio total (TN), e os íons inorgânicos amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). O nitrogênio total é fornecido pelo analisador TOC, enquanto as formas inorgânicas foram analisadas por espectrofotometria (FIA), ou seja, por análise de injeção de fluxo (Figura 9), que utiliza a detecção no espectro visível para quantificação de nitrato e amônio.

Figura 8 – Amostras no analisador Shimadzu TOC-Vcph/cpn.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 9 – Espectrofotômetro FIA: análise por injeção de fluxo.



Fonte: Universidade de São Paulo (USP), 2014.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 são apresentados os resultados químicos (em mg/l) dos teores de Carbono e Nitrogênio na precipitação atmosférica, a precipitação interna e o escoamento pelos troncos das árvores. É importante ressaltar que esta pesquisa está vinculada ao projeto nº 137152/2019-1 “Estudo da Interceptação de Chuva em um Fragmento Florestal Urbano”, e os resultados relacionados aos fluxos hidrológicos são apresentados no documento supracitado.

Tabela 2 – Estatística dos resultados químicos (mg/l, exceto pH) analisados na precipitação atmosférica, na precipitação interna e no escoamento pelos troncos.

	Precipitação Atmosférica				Precipitação Interna				Escoamento pelos Troncos			
	Med	DP	Max	Min	Med	DP	Max	Min	Med	DP	Max	Min
pH	5,0	0,3	5,5	4,5	5,4	0,4	7,0	5,0	5,3	0,3	6,0	4,5
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	0,01	0,01	0,02	0,00	0,7	0,3	1,2	0,4	b	b	b	b
Amônio (N-NH ₄ ⁺)	0,05	0,04	0,12	0,02	0,4	0,2	0,7	0,2	b	b	b	b
Nitrogênio orgânico	0,3	a	a	a	2,3	a	a	a	b	b	b	b
Nitrogênio Total	0,4	0,3	1,0	0,1	3,4	2,7	11,2	1,0	6,2	0,5	6,7	5,7
Carbono Inorgânico	0,5	0,5	2,0	0,2	1,2	1,9	7,3	0,3	1,9	0,9	2,5	0,9
Carbono Orgânico	2,9	4,9	18,8	0,3	10,0	7,9	32,7	2,3	52,7	7,0	60,0	46,0
Carbono Total	3,5	a	a	a	11,3	a	a	a	54,4	a	a	a

Med: média, DP: desvio padrão, Max: valor máximo e Min: Valor mínimo. ^a indica valores estimados e, portanto, não se aplica estimar desvio padrão e valores máximos e mínimos. ^b indica valores não estimados neste trabalho devido à suspensão das atividades presenciais ocasionados pela política de distanciamento social adotada como enfrentamento ao Coronavírus.

Fonte: Produção da autora.

Para o parâmetro de pH, o valor médio encontrado na precipitação atmosférica foi 5,0, com desvio padrão de 0,3 e os valores máximo e mínimo, 5,5 e 4,5 respectivamente. Para a precipitação interna, a média observada foi de 5,4 com desvio padrão de 0,4 e uma maior amplitude de variação, com valores entre 7,0 e 5,0. Ainda sobre este parâmetro químico, observou-se no escoamento pelos troncos uma média de 5,3 e desvio padrão de 0,3. Já os valores máximo e mínimo foram, respectivamente, 6,0 e 4,5. A partir desses resultados pode-se inferir que a chuva torna-se menos ácida quando entra em contato com a vegetação.

Com relação às formas inorgânicas de nitrogênio, para nitrato, na precipitação atmosférica, foi observado uma média de 0,01 mg/l e valores mínimo e máximo, 0,00 e 0,02 mg/l, respectivamente, enquanto que na precipitação interna, a média deste parâmetro foi de 0,7 mg/l, sendo os valores mínimo e máximo, respectivamente, 0,4 e 1,2 mg/l. Logo, o dossel florestal foi responsável pelo enriquecimento de 0,69 mg/l de nitrogênio na forma de nitrato à medida que a água da chuva o atravessou. No que se refere ao nitrogênio na forma de íon amônio, na precipitação atmosférica, a média encontrada foi de 0,05 mg/l, com desvio padrão de 0,4, enquanto que na precipitação interna, a média observada foi de 0,4 mg/l com desvio padrão de 0,2. O enriquecimento deste componente químico foi de 0,36 mg/l. Para o nitrogênio em sua forma orgânica, na precipitação atmosférica a média verificada foi de 0,3 mg/l e para a precipitação interna houve um acréscimo de 2 mg/l. Com relação ao nitrogênio total, a média observada na precipitação atmosférica foi de 0,4 mg/l, e os valores mínimo e máximo 0,1 e 1,0 mg/l, respectivamente. Para a precipitação interna, foi encontrada a média de 3,4, e os valores mínimo e máximo, foram, respectivamente, 1,0 e 11,2 mg/l. Ainda sobre este elemento químico, observou-se uma média de 6,2 mg/l no escoamento pelos troncos e o desvio padrão foi de 0,5. É importante enfatizar que, devido à chegada da pandemia do covid-19 no estado de São Paulo, não foi possível realizar a quantificação do nitrato e do amônio para o escoamento pelos troncos. Logo, com relação às formas inorgânicas de nitrogênio, o estudo sugere uma maior adição de nitrato do

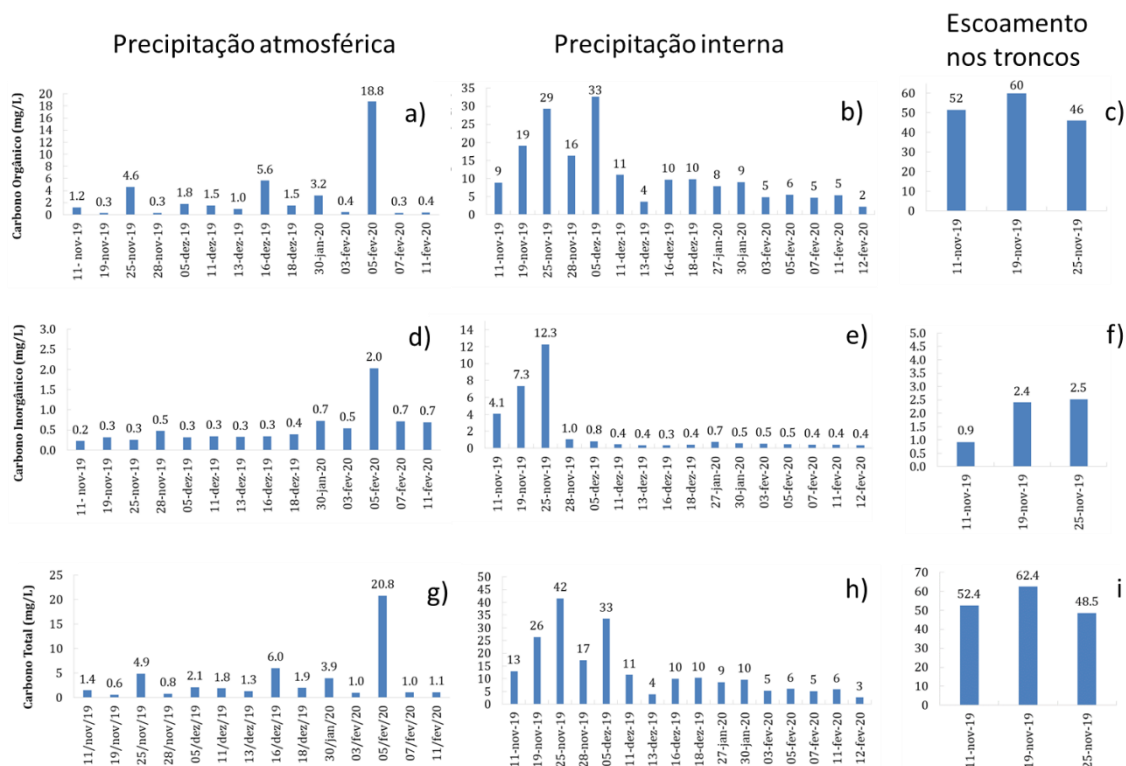
que amônio pelo dossel florestal, fato que pode ser explicado devido à alta mobilidade do nitrato na água, que influencia diretamente na sua lixiviação através das copas. Entretanto, apesar desse enriquecimento pelo íon nitrato, os dados demonstraram que o aumento mais significativo foi para nitrogênio orgânico, o que pode estar relacionado a uma possível contribuição dos exsudatos liberados pelas plantas no processo fotossintético.

No que se refere ao carbono, em sua forma inorgânica, na precipitação atmosférica a média encontrada foi de 0,5 mg/l com valores mínimo e máximo de 0,2 e 2,0, respectivamente. Para a precipitação interna, a média foi de 1,2 mg/l, com valores mínimo e máximo 0,3 e 7,3 mg/l, respectivamente. Para o escoamento pelos troncos a média foi de 1,9 mg/l, sendo que o valor mínimo foi de 0,9 mg/l e o valor máximo, 2,5 mg/l. Portanto, houve um enriquecimento de 0,67 mg/l para este componente químico. Com relação ao carbono orgânico, na precipitação atmosférica a média encontrada foi de 2,9 mg/l, com desvio padrão de 4,9. Na precipitação interna, a média observada foi de 10 mg/l, com desvio padrão de 7,9 mg/l. E por fim, para o escoamento pelos troncos, a média foi de 52,7 mg/l, com desvio padrão de 7,0. Para carbono orgânico, o enriquecimento foi de 7,12 mg/l, o que demonstra uma significativa contribuição do dossel florestal para a transferência deste componente da atmosfera para o solo. Esta adição de carbono orgânico na água da chuva, à medida que esta entra em contato com o dossel florestal, também pode estar relacionada com a lavagem de exsudatos liberados pelas plantas no processo fotossintético, aumentando sua concentração, principalmente quanto aumenta-se o tempo de contato com os troncos, galhos, e ramificações das árvores.

Na figura 10, apresenta-se a distribuição temporal referente aos teores de carbono dissolvido nas águas analisadas neste estudo. Para a precipitação interna, verifica-se que os maiores valores foram observados nos primeiros eventos amostrais, ou seja, ainda no período de início das chuvas. Isto pode estar relacionado à lixiviação do material particulado depositado sob a superfície foliar das árvores. Entretanto, este padrão não foi observado na precipitação atmosférica, em que as concentrações mais altas foram

verificadas em fevereiro, isto é, mais próximo ao período final das chuvas. Isto pode sugerir uma possível contaminação das amostras no processo de preparação das alíquotas.

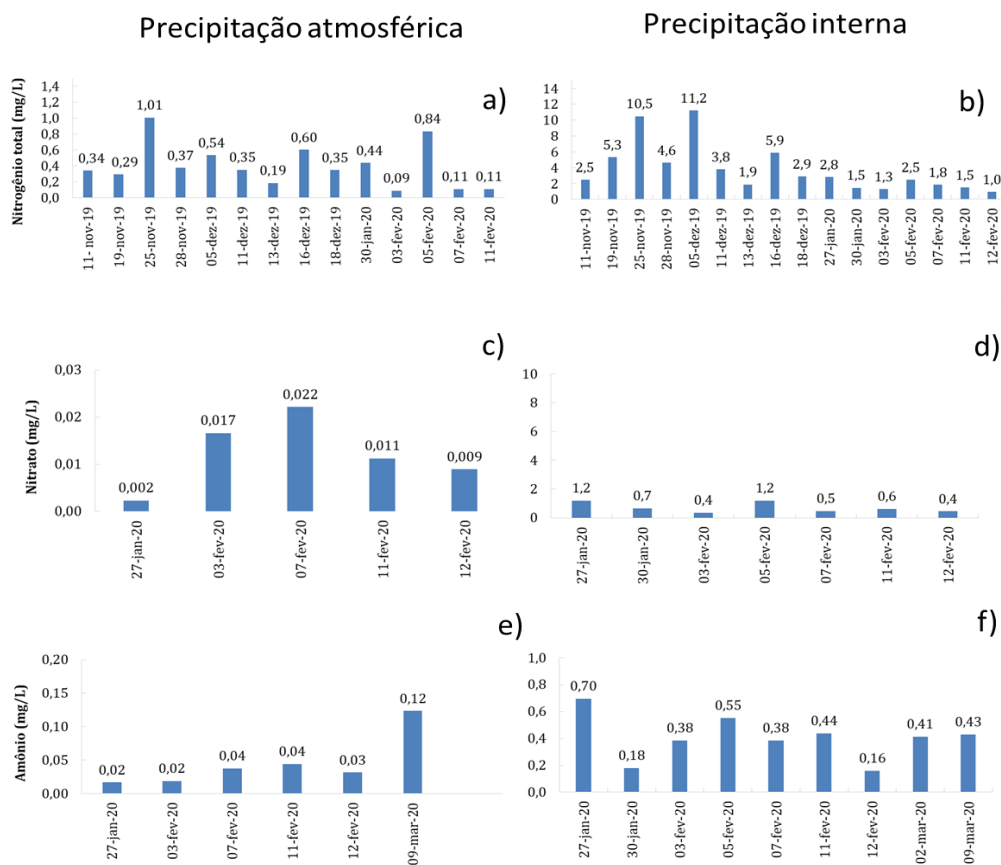
Figura 10 – Distribuição temporal de carbono orgânico (a-c), inorgânico (d-f) e total (g-i) nas amostras de precipitação atmosférica (a, d, g), precipitação interna (b, e, h) e escoamento pelos troncos (c, f, i) coletadas neste estudo.



Fonte: Produção da autora.

Com relação ao nitrogênio dissolvido (Figura 11), destaca-se que na precipitação interna os maiores valores foram verificados nos primeiros eventos amostrais, também no início do período das chuvas. Este fato pode estar associado à lixiviação da deposição seca na superfície das folhas, considerando a alta mobilidade das moléculas de nitrogênio na água. Para a precipitação atmosférica, os maiores valores foram observados em novembro e março, correspondendo ao início e final da estação chuvosa, respectivamente.

Figura 11 – Distribuição temporal de nitrogênio total (a-b), nitrato (c-d) e amônio (e-f) nas amostras de precipitação atmosférica (a, c, e), precipitação interna (b, d, f), coletadas neste estudo.



Fonte: Produção da autora.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou a análise da ciclagem de espécies químicas de carbono e nitrogênio, dissolvidos na água de chuva, de precipitação interna e de escoamento pelos troncos das árvores, em um fragmento florestal de Mata Atlântica, localizado na área urbana de Jacareí, Vale do Paraíba – São Paulo, nos domínios da Escola Técnica Estadual (ETEC) Cônego José Bento. Os resultados acerca dos fluxos hidrológicos podem ser encontrados no relatório do projeto “Estudo da Interceptação de Chuva em um Fragmento Florestal Urbano”, nº 137152/2019-1.

De modo geral, acerca dos dados obtidos neste estudo, foi possível observar que as concentrações de carbono e nitrogênio foram aumentando à medida que a água atravessa o dossel florestal, bem como com o tempo de contato da água com galhos, folhas e ramificações. Os menores valores foram observados para a precipitação atmosférica, seguido de precipitação interna e escoamento pelos troncos. As análises demonstraram que à medida que a água da chuva atingiu e atravessou o dossel florestal, ocorreu uma forte adição de carbono e nitrogênio nas formas orgânicas, sendo que o carbono orgânico foi o elemento químico encontrado de modo mais abundante em todos os componentes hidrológicos analisados.

As maiores contribuições de nitrogênio foram em sua forma orgânica, seguido de sua forma inorgânica pelo íon nitrato, tendo as menores contribuições pelo amônio. A forte contribuição de N orgânico pode estar relacionada com a liberação de seiva elaborada no processo fotossintético, além da lavagem do material particulado depositado na vegetação. Contribuições de nitrato geralmente estão associadas à alta mobilidade e capacidade de lixiviação deste nutriente, dado suas propriedades químicas.

Com relação ao carbono, verificou-se em enriquecimento significativo de carbono orgânico e pouco enriquecimento de carbono inorgânico, também seguindo o mesmo padrão de disponibilidade, tendo as maiores concentrações na água de escoamento pelos troncos, precipitação interna e precipitação atmosférica, respectivamente. Assim como para o nitrogênio,

uma maior concentração de carbono em forma orgânica pode estar associada à liberação deste elemento pelas plantas no processo de fotossíntese e pela lavagem do material seco particulado depositado pela atmosfera.

É importante ressaltar que estes resultados referem-se à concentração dos nutrientes carbono e nitrogênio na água da chuva, entretanto não foi possível realizar uma ponderação pelo volume amostrado, obtendo-se assim valores comparáveis sem a interferência do efeito de diluição. Esta etapa do trabalho não foi realizada demanda a estimativa da área do coletor do escoamento pelo tronco, neste caso, a área de projeção da copa das árvores. Estas atividades foram interrompidas devido às políticas de distanciamento social devido à chegada da pandemia do covid-19 no estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. G. B. **Efeitos da acidificação nos processos biogeoquímicos em sedimentos costeiros: Experimentos in situ em laboratório**. 2014. 136p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21134/tde-01042015-144808/publico/Tese_Betina_Alves_Corrigida.pdf. Acesso em: 14 jun. 2020.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; SILVA, A. M. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 583-595, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v24n3/0103-9954-cflo-24-03-00583.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020.

COSTA, M. K. **O estoque de carbono na vegetação e no solo em fragmentos florestais de paisagens tropicais**. 2015. 66p. Dissertação (Dissertação em Ciências na área de Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-14012016-150942/publico/Karine_Costa_CORRIG.pdf. Acesso em: 24 maio. 2020.

DIAS, V. R. M. **Ciclagem de carbono e nutrientes em florestas sazonalmente inundáveis no Pantanal Mato-Grossense**. 2017. 152p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017. Acesso em: 15 maio. 2020.

DICK, G. et al. Quantificação da biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden estabelecido no Bioma Pampa. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**. v.4, n.1, p.1-9, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315462570_Quantificacao_da_biomassa_e_nutrientes_em_um_povoamento_de_Eucalyptus_dunnii_Maiden_estabelecido_no_Bioma_Pampa/link/58d275dca6fdccefe0a38549/download. Acesso em: 02 maio. 2020.

FIGUEIREDO, S. E. A. **Dinâmica de nitrogênio em solos de florestas secundárias sob diferentes históricos de uso nos municípios de santarém e belterra, amazônia oriental**. 2016. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciências das Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2016. Acesso em: 05 jun. 2020.

FREITAS, S. H. **Caracterização florística e estrutural do componente arbóreo de três fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual da região leste do Vale do Paraíba – SP**. 2010. 224p. Dissertação (Dissertação em Ciências na área de Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde-12062010-175452/publico/Serafim2010Tese.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. FORTI, M. C. Relatório Científico - **Ciclos biogeoquímicos e transferências de espécies químicas nas interfaces de ecossistemas terrestres de mata atlântica: estudo de duas áreas contrastantes**, 2003. Disponível em: <http://marte3.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1905/2005/08.04.10.14/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2020.

GIGLIO, N. J; KOBAYAMA, M. Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.18, n.2, p.297-317. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/305306477 Interceptacao da Chuva Uma Revisao com Enfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras.](https://www.researchgate.net/publication/305306477_Interceptacao_da_Chuva_Uma_Revisao_com_Enfase_no_Monitoramento_em_Florestas_Brasileiras)

Acesso em: 11 abr. 2020.

IZIDIO, C. S. N; PALÁCIO, Q. A. H; ANDRADE, M. E; NETO. A. R. J; BATISTA. A. D. Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Agro@ambiente**, v. 7, n. 1, p.44-52, 2013. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/977/1020>. Acesso em: 04 abr. 2020.

LEAL, K. R. D. **Componentes do ciclo hidrológico e ciclagem de nutrientes na interface atmosfera-planta-solo no semiárido brasileiro**. 2016. 111 p. Tese (doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <http://mtcm21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm21b/2016/05.27.18.08/doc/publicacao.pdf?metadatarpository=&mirror=iconet.com.br/banon/2007/02.23.11.08>.

Acesso em: 02 set. 2020.

SELLE, L. G. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, v.23, n. 4, p. 29-39, 2007. Acesso em: 28 mar. 2020.

LIMA, W de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2ª edição. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Florestais; 2008. 253 p.

OLIVEIRA, P. C. **Biomassa e carbono por meio de inventário convencional e lidar em floresta seca no nordeste do Brasil**. 2019. 106 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em:

http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/cinthia_per_eira_de_oliveira_0.pdf. Acesso em: 13 mar. 2020.

MARIN, P. M. A.; MENEZES, C. S. R. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *gliricidia sepium*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 6, p. 2573-2579, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a34.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2020.

NETO, S. R. E. **Perdas de Nitrogênio pela emissão de óxido nitroso (N₂O) e sua relação com a decomposição da serapilheira e biomassa de raízes na floresta de Mata Atlântica**. 2008. 82p. Dissertação (Dissertação em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Acesso em: 28 jun. 2020.

PRAST, E. A.; PINHO, L. Ciclo do carbono em ecossistemas aquáticos continentais brasileiros. **Oecologia Brasiliensis**, v.12, n. 1, p. 03-05, 2008. Acesso em: 03 mar. 2020.

SARI, V.; PAIVA, D. C. M. E.; PAIVA, D. B. J. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos**, V.21, n.1, p.65-79, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbrh/v21n1/2318-0331-rbrh-21-1-65.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2020.

SILVA, J. J. N.; de MELLO, W. Z.; RODRIGUES, R. A. R.;* ALVES, B. J. R.; de Souza, P. A.; da CONCEIÇÃO, M. C. G. Ciclagem de nitrogênio em florestas tropicais e plantações de eucalipto no Brasil no Antropoceno, **Revista Virtual de Química**, v.10, n.6, p.1792-1808, 2018. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v10n6a09.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2020.

SOUZA, P. A.; MELLO, W. Z.; MALDONADO, J.; Composição química da chuva e aporte atmosférico na ilha grande, RJ. **Química nova**, v. 29, n. 3, p. 471-476, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v29n3/29274.pdf>. Acesso em:

08 jan. 2020.

TONELLO, C. K.; VALENTE, A. O. R.; GASPAROTO, G. A. E; SHINZATO, T. E.; DIAS, T. C. H. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na floresta de ipanema. **Árvore**, v.38, n.2, p.383-390, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n2/20.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.