



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)**

Amanda Marques Molina (FATEC Jacareí– Faculdades de Tecnologia de  
Jacareí, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: amanda.molina@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

Dra. Rita de Cassia Silva von Randow (FATEC, Co-orientadora)  
E-mail: rita.vonrandow@gmail.com



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

Amanda Marques Molina

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

INPE  
São José dos Campos  
2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao meu orientador Dr. Celso von Randow e as minhas coorientadoras Dra. Karinne Deusdará e Dra. Rita von Randow pelo auxílio e sugestões através das reuniões e pela ajuda com a redação científica ao longo desta bolsa.

Agradeço também à minha professora de hidrologia, Rita von Randow, e ao meu amigo, Lucas Soares, pela contribuição para que fosse possível essa pesquisa. Ao INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela oportunidade de realizar esse projeto tão importante para meu crescimento acadêmico. Agradeço a ambos pela concessão da bolsa de iniciação científica e o suporte financeiro. Sou grata aos meus familiares, amigos e namorado, por me incentivarem em toda a minha trajetória acadêmica, dando suporte emocional sempre que precisei.

Obrigada por confiarem em mim e acreditarem no meu potencial!

## RESUMO

Esta pesquisa seguiu os princípios de uma revisão bibliográfica sistemática, utilizando busca de artigos científicos, construção de base de dados e análises para comparação de resultados. O presente estudo tem a finalidade de obter dados médios e outras estatísticas a respeito da ciclagem de nutrientes através da hidrologia florestal (precipitação, precipitação interna e escoamento pelos troncos) no bioma Mata Atlântica. Para este levantamento bibliográfico foram escolhidos artigos publicados no período entre 2005 até o presente, redigido nas línguas Inglês e Português, nas seguintes bases de dados: Scielo, Google Acadêmico, ResearchGate e ScienceDirect. Foram encontrados doze artigos e, após análise criteriosa, foram selecionados apenas quatro, pois os outros não contribuíram com a base de dados necessária para a presente pesquisa. Para a elaboração da base de dados, foram analisados resultados de pH e da deposição química de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Na^+$  na precipitação e na precipitação interna de cada um dos artigos. Os estudos foram realizados em municípios e fragmentos florestais diferentes, contrastantes em relação à ocupação humana. Dentre os quatro artigos analisados, a ordem de deposição de elementos minerais através da precipitação foi  $Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$ , e  $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$  para precipitação interna. O menor valor de pH, 4,3, foi encontrado no estudo realizado em São Paulo capital. O maior valor de pH, também na precipitação, foi encontrado em Pinheiral-RJ (6,3). De forma geral, as deposições foram maiores na precipitação interna do que na precipitação, o que é esperado devido à interação com a vegetação. Os próximos passos desta pesquisa, envolvem as análises estatísticas referentes aos valores de deposição atmosférica e deposição através da precipitação interna, a fim de conhecer padrões de ciclagem para este bioma, assim como a redação de artigo científico para publicação dos resultados. Através dos resultados obtidos até o momento, observa-se que há uma falta de estudos focados na ciclagem biogeoquímica de nutrientes através das vias hidrológicas bioma Mata Atlântica.

**Palavras-chave:** água de chuva, deposição atmosférica, precipitação interna, escoamento pelos troncos, química.

## ABSTRACT

This research followed the principles of a systematic bibliographic review, using a search for scientific articles, construction of a database, and analysis for comparison of results. The present study aims to obtain average data and other statistics regarding nutrient cycling through forest hydrology (rainfall, throughfall, and stemflow) in the Atlantic Forest biome. For this bibliographical survey, articles published in the period between 2005 and the present, written in English and Portuguese, in the following databases were chosen: Scielo, Academic Google, ResearchGate, and ScienceDirect. Twelve articles were found and, after careful analysis, only four were selected, as the others did not contribute to the necessary database for this research. For the preparation of the database, pH, and chemical deposition results of  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , and  $Na^+$  in the throughfall and rainfall of each of the articles were analyzed. The studies take place in different municipalities and forest fragments, which contrast with human occupation. Among the four articles analyzed, the order of deposition of mineral elements through rainfall was  $Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$ , and  $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$  for throughfall. São Paulo, the capital, had the lowest pH value in rainfall, being 4.3. The highest Ph value, also in rainfall, was found in Pinheiral-RJ (6.3). In general, the depositions of  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , and  $Na^+$  were greater in throughfall than in rainfall. The next steps of this research involve statistical analysis regarding atmospheric deposition values and deposition through throughfall, to know cycling patterns for this biome. Through the data obtained so far, it is observed that there is a lack of studies focused on the analysis of biogeochemical cycling of nutrients through the hydrological pathways of the Atlantic Forest biome.

**Key words:** rainwater, atmospheric deposition, rainfall, throughfall, stemflow, chemistry

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da partição da precipitação em interceptação, precipitação interna e escoamento pelos troncos. ....	18
Figura 2 - Distribuição dos artigos selecionados e dos artigos analisados por Giglio & Kobayama, 2013. ....	31
Figura 3 – Valores de pH encontrados nos estudos selecionados. ....	35
Figura 4 - Deposição de Potássio ( $K^+$ ) em Kg/ha/ano ....	35
Figura 5 - Deposição de Sódio ( $Na^+$ ) em Kg/ha/ano.....	36
Figura 6 - Deposição de Cálcio ( $Ca^{2+}$ ) em Kg/ha/ano ....	37
Figura 7 - Deposição de Magnésio ( $Mg^{2+}$ ) em Kg/ha/ano ....	37
Figura 8 – Fator de enriquecimento (FE) das deposições dos nutrientes na PI em relação a PT. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Termos utilizados para a localização de artigos para revisão sistemática, através da combinação dos termos da primeira coluna com os da segunda. ....	28
Tabela 2 – Artigos selecionados, seus autores, revistas em que foram publicados e classificação no Qualis ....	30
Tabela 3 – Localização e Características dos artigos selecionados ....	30
Tabela 4 – Valores de pH e deposição dos nutrientes da água do escoamento pelo tronco em três diferentes estádios de sucessão da Mata Atlântica. .....	39

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Hidrologia florestal e aporte de nutrientes	20
2.2	Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> e Mg <sup>2+</sup>	22
3.	OBJETIVOS DO TRABALHO	25
3.1	Objetivos Específicos	25
4.	INICIAÇÃO CIENTÍFICA	26
5.	METODOLOGIA	27
6.	RESULTADOS	29
6.1	Artigos selecionados	29
6.2	Deposição química	34
6.2.1	Composição química das chuvas	34
6.2.2	Deposição química das chuvas	35
6.2.3	Deposição através da precipitação interna	38
6.2.4	Deposição química através do escoamento pelos troncos	39
7.	DISCUSSÃO	40
7.1	Fator de enriquecimento	42
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

## 1. INTRODUÇÃO

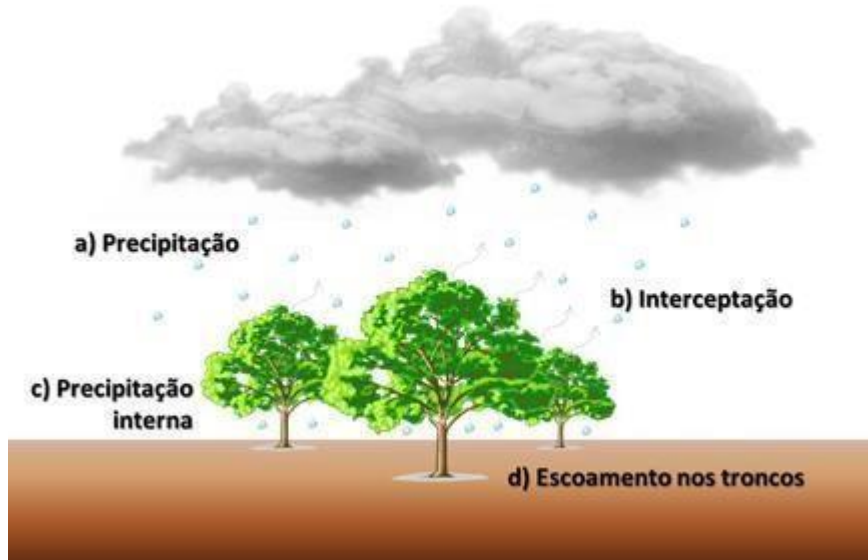
Segundo dados do IBGE (2004), o território brasileiro é dividido em 6 biomas terrestres, representando diferentes agrupamentos florestais e condições climáticas. São eles: Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampas e Pantanal. A chuva é distribuída de forma desigual por todo país, e é influenciada tanto pelo clima quanto pela vegetação.

A Mata Atlântica é certamente um dos mais diversos biomas no mundo. Figueiredo et. al. (2020); aponta que há um alto nível de endemismo nesta floresta brasileira. Os autores exemplificam em torno de 28% sendo mamíferos, 21% sendo pássaros, 24% sendo répteis, e 70% sendo anfíbios. Em toda essa variedade de habitats, o endemismo da Mata Atlântica parece estar concentrado em cinco centros principais: Pernambuco, Centro da Bahia, Litoral da Bahia, Serra do Mar e Paraná. As florestas nativas, dentre os ecossistemas florestais, são as que atuam de forma mais expressiva no balanço hídrico devido à sua biodiversidade, complexidade do sistema e a própria dinâmica das comunidades dos fragmentos.

As florestas influenciam diretamente no sistema atmosfera-solo-plantas, como mostra a Figura 1. Após a condensação da água para formação de nuvens, ocorre a precipitação que poderá ter diferentes caminhos até atingir o solo. A precipitação, ao entrar em contato com a vegetação, é interceptada pelo dossel florestal. Parte dessa água retorna à atmosfera através da evaporação, enquanto o restante dela, fica retida na copa das árvores. Existe uma capacidade de armazenamento de água no dossel e, ao se ultrapassar esse limite, ocorre o processo de precipitação interna, que consiste no gotejamento da maior parte dessa água presente na copa, até o solo. A água da precipitação pode atingir o solo, sem a interferência da vegetação, processo ainda pertencente à precipitação interna. Da copa da árvore, ela pode, também, escorrer pelo tronco (SÁ, 2015; LEAL, 2016).



Figura 1 - Esquema da partição da precipitação em interceptação, precipitação interna e escoamento pelos troncos.



Fonte: Adaptado de LEAL, 2016.

O processo de ciclagem de nutrientes em um ecossistema envolve a entrada de elementos presentes na atmosfera por meio da precipitação. A vegetação retém partículas trazidas pelo vento nas folhas. Posteriormente, os nutrientes contidos nessas partículas ou até mesmo os depositados na superfície da vegetação serão retirados por meio da lixiviação das chuvas (SOUZA et al., 2006). Para a remoção (lixiviação) de poluentes da atmosfera, existem dois mecanismos que podem ser divididos em dois processos: deposição seca e úmida. Na deposição seca, não há a presença da precipitação e os poluentes e/ou nutrientes são removidos por deposição na superfície do solo, água ou vegetação. Já na deposição úmida, conhecida como lavagem, a remoção se dá devido à transferência de massa promovida por gotas e gotículas de chuva, cristais de gelo e neve (PEREIRA et al., 2004). Na deposição úmida os nutrientes atuam como núcleo de condensação da chuva.

A deposição atmosférica é uma importante fonte não pontual de nutrientes e poluentes, sejam eles naturais e/ou antrópicos, para os ecossistemas. Contudo, a

abordagem relacionada ao aporte atmosférico ainda é frequentemente negligenciada nos estudos dos ciclos, fluxos, balanços e vias de entrada de nutrientes (ARAUJO, 2008).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Hidrologia florestal e aporte de nutrientes

A Hidrologia é uma ciência multidisciplinar que estuda a água em todas as suas formas, sobre e sob a superfície da terra, incluindo sua distribuição, circulação, comportamento, propriedades físicas e químicas, e suas reações com o meio. Abrange diversas ramificações do conhecimento como: física, química, biologia, hidráulica, matemática, estatística. A hidrologia florestal trata das relações floresta-água. É o ramo da hidrologia que trata dos efeitos da floresta sobre o ciclo da água, incluindo os efeitos sobre a erosão e a qualidade da água nas bacias hidrográficas (LIMA, 2008).

A precipitação é definida na hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico, em qualquer estado físico, que atinge a superfície terrestre. No Brasil, a maior parte das precipitações ocorrem na forma de chuva, ou seja, no estado líquido. A cobertura florestal age como uma barreira, realizando o processo de interceptação, à medida que a chuva se aproxima da superfície (TONELLO et al., 2013). O processo de interceptação é definido como a precipitação que é barrada pela vegetação e evaporada antes de atingir o solo. Depende principalmente da taxa de evaporação e da capacidade de armazenamento do dossel (KLASSEN et al., 1996). A precipitação interna é aquela que atravessa o dossel florestal, pelas gotas que passam diretamente pelos espaços entre as copas e/ou gotejam das folhas após a quantidade de água ultrapassar a capacidade de armazenamento do dossel. A água pode escoar, também, pelos troncos e galhos até atingir o solo, processo conhecido como escoamento de tronco. A precipitação, a precipitação interna, a interceptação e o escoamento de tronco, assumem importante papel no estudo dos processos de infiltração, percolação, absorção, transpiração e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. A morfologia e tipologia vegetal, o índice de área foliar, a estruturação da casca do tronco, as propriedades do solo, as condições climáticas e atmosféricas são fatores que podem determinar

o processo de armazenamento e captação da água da chuva. (TONELLO et al., 2013; SHINZATO et al., 2011).

Na atmosfera, há uma circulação de massas de ar que carregam consigo vapor e compostos químicos provenientes de fontes naturais como atividades vulcânicas, queima natural de biomassa ou intemperismo de rochas. Porém, a ação antrópica é responsável pelo maior aporte de substâncias para a atmosfera devido ao grande crescimento populacional, crescente industrialização o que leva a um aumento no consumo de combustíveis para a geração de energia e transporte de produtos. Assim como a emissão de substâncias poluentes por meio de chaminés ou disposição incorreta dos resíduos gerados (MEDEIROS, 2009).

Desta forma, devido à grande circulação de poluentes atmosféricos, a composição química da água da chuva é uma combinação da composição química dos núcleos de condensação que formaram as nuvens e dos nutrientes que se incorporam às gotas de chuva durante a condensação, processo conhecido como lavagem da atmosfera (SOUZA et al., 2006).

As folhas das árvores são locais de deposição de vários componentes atmosféricos; elas retêm partículas trazidas pelos ventos. Quando a chuva cai, tem sua velocidade reduzida pela vegetação. Ela interage com a vegetação, lixiviando os componentes presentes no dossel e nos troncos, para formar soluções de precipitação (FORTI et al., 2005). Essas partículas contêm nutrientes, de constituição mineral ou orgânica encontrados suspensos na atmosfera (DINIZ et al., 2013). Sendo assim, as florestas podem alterar a composição química da água da chuva na sua passagem através do dossel até atingir a camada superficial do solo.

De acordo com Campos et al. (1998), o aporte atmosférico de nutrientes pode ser classificado por três tipos de deposição: deposição atmosférica apenas seca, deposição atmosférica apenas úmida e/ou deposição atmosférica total. A deposição seca é caracterizada por partículas, aerossóis e gases. Os aerossóis podem ser marinhos, que contêm sais, ou terrestres, caracterizados por poeiras e sais provenientes da evapotranspiração de plantas acumulados na superfície, dispersados posteriormente pela ação dos ventos. A coleta de amostras para esse

tipo de deposição é realizada com o auxílio de coletores que ficam expostos apenas durante períodos de estiagem (DE MELLO, 2002).

Na deposição úmida, as amostras são coletadas exclusivamente durante o período chuvoso por coletores expostos a precipitação, neste processo, ocorre a remoção de gases e material particulado pela sua interceptação por gotas de chuva, gelo e neve. A amostragem da deposição total, é realizada por meio de coletores expostos permanentemente, durante eventos chuvosos e períodos secos. Refere-se à coleta dos componentes atmosféricos da deposição úmida, pelas precipitações, e seca por gases dispersos, aerossóis e partículas em suspensão (CAMPOS et al., 1998).

A movimentação dos elementos químicos dentro das florestas ocorre por meio dos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, que são essenciais as plantas. Esse nome se deve pelo fato de constituírem um sistema composto por duas partes: uma viva (bio) e outra sem (geo). Parte destes elementos químicos são reconhecidos como nutrientes e circulam na natureza através dos ciclos gasoso e sedimentar (POGGIANI, 1992).

## **2.2 Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{K}^+$ e $\text{Mg}^{2+}$**

Cátions de origem marinha, tais como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , e  $\text{K}^+$  podem ser transportados pelas tempestades oceânicas na forma de “spray”. Os sais de sódio ( $\text{Na}^+$ ) estão amplamente espalhados na natureza. Muitos processos dos organismos de seres vivos que envolvem membranas são controlados pelo equilíbrio relativo dos íons de sódio. Um desses mecanismos, é o controle que o elemento tem na pressão osmótica nas células das plantas; o que resulta em uma utilização mais eficiente da água. Partículas de sódio são lançadas para a atmosfera pela influência de correntes marinhas de ar que seguem do litoral para o interior do país. Uma vez na atmosfera, estas partículas podem se depositar sobre as folhas das árvores ou podem servir de núcleo de condensação de nuvens e ser adsorvida nas gotículas de chuva. O  $\text{Na}^+$  desempenha um papel

fundamental ao capacitar as plantas para lidar com as condições ambientais presentes no ecossistema (PEIXOTO, 1999). Ele é responsável pelo controle da pressão osmótica nas células da planta, o que resulta em uma utilização mais eficiente da água, apesar do sódio não satisfazer os critérios de essencialidade nas plantas, pois elas podem completar seu ciclo de vida sem sua presença. O sódio é absorvido na forma iônica  $\text{Na}^+$  e possui alta mobilidade nos tecidos vegetais. Na nutrição mineral de plantas, é classificado como elemento benéfico, pois, quando presente no solo promove o aumento da produtividade de algumas plantas (INOCÊNCIO et al., 2013).

O  $\text{Ca}^{2+}$  está presente na estrutura celular das plantas. Ele é um dos componentes da parede celular, agindo também na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico. É considerado um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois atua como cofator por algumas enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de fosfolipídios. Além disso, atua como mensageiro secundário na regulação metabólica (LABORSOLO, 2013; TAIZ et al., 2017). O cálcio é um elemento pouco móvel na planta, por isso os sintomas de deficiência aparecem mais nas folhas jovens (AGEITEC). O teor médio de cálcio (Ca) encontrado na planta varia de 0,3 a 3%, sendo que é considerado o teor médio geral de 0,5%. Visto que, está presente principalmente nas partes estruturais da vegetação, a lixiviação do  $\text{Ca}^{2+}$  é mais vulnerável durante a senescência. Esse processo é um conjunto de fatores que levam a planta ao seu envelhecimento e morte. É um processo natural, que não pode ser evitado e ocorre em todos os vegetais, quando a planta chega em um certo ponto, onde a fotossíntese produzida não consegue satisfazer as necessidades da planta (PES & ARENHARDT, 2015).

O potássio não forma compostos orgânicos no interior das plantas, predominando na forma iônica de  $\text{K}^+$ . Na vegetação é encontrado no tecido foliar e é facilmente lixiviado pela chuva. É o elemento mais móvel no sistema solo-planta e o cátion mais abundante no interior das plantas. Auxilia no transporte e armazenamento de carboidratos, além de atuar em funções com relações osmóticas, na dinâmica de abertura e fechamento dos estômatos e ser um

ativador enzimático (GOMES et al., 2000). Há cinco possíveis fontes para o  $K^+$  não marinho sendo elas: a dissolução das partículas do solo; fertilizantes com o elemento na fórmula; pólen e sementes; aerossóis biogênicos; queima de biomassa (BERNER; BERNER, 1996).

O magnésio ( $Mg^{2+}$ ), é essencial na constituição da clorofila, responsável pela captação dos raios solares e para transformá-los em energia química, sendo assim a base da fotossíntese. Sua função principal é otimizar a absorção de luz e transferir para os centros de reação da fotossíntese. Esse nutriente é responsável pela fixação de  $CO_2$ , uma vez que todos os organismos são compostos por Carbono (C), sem essa fixação seria o fim da vida da planta. De acordo com Pes & Arenhardt, 2015, o teor de  $Mg^{2+}$  varia de 0,1 a 0,3% nos tecidos vegetais.

### **3. OBJETIVOS DO TRABALHO**

Este estudo tem como objetivo geral avaliar, no bioma Mata Atlântica, a deposição de macronutrientes essenciais para a manutenção da saúde da vegetação através dos seguintes fluxos hidrológicos: precipitação total, precipitação interna e escoamento de tronco.

#### **3.1 Objetivos Específicos**

- Identificação dos artigos sobre a composição química de água da precipitação, precipitação interna e escoamento pelos troncos em ambientes de mata atlântica;
- Comparar a deposição atmosférica, nos diferentes artigos selecionados;
- Comparar a deposição de nutrientes através da precipitação interna nos diferentes artigos selecionados;
- Estimar dados de deposição para o bioma verificando a importância das vias úmidas para a movimentação dos nutrientes em ambientes florestais.



#### 4. INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Esse projeto é uma continuidade dos já publicados em anos anteriores, feitos por ex-alunos da Fatec Jacareí, nos quais puderam ser executados na prática, com a coleta das amostras e análises em laboratórios.

Devido a pandemia do novo vírus que causa a doença COVID-19, foi necessário, adaptar a iniciação científica, de modo a respeitar os protocolos exigidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Com isso, a solução encontrada foi a realização de uma revisão bibliográfica, onde não seria necessária a parte prática para a coleta de dados.

Este estudo foi iniciado em agosto de 2020 e, a partir desta data, foram realizadas reuniões semanais, com meus orientadores e meu colega Lucas Soares, de forma síncrona, por meio de plataformas de vídeo chamadas. A fim de discutir conceitos e aprimorar a pesquisa, os orientadores apresentavam conteúdos e sugestões de pesquisa como: conceitos sobre hidrologia florestal; exposição do cenário científico na atualidade; pesquisadores renomados na área, como realizar um bom método de busca e leitura de artigos; o que é e onde verificar a classificação Qualis dos artigos científicos; modo de utilizar o software Mendeley para organização de artigos científicos; modos de construção de uma pesquisa científica e a linguagem científica.

## 5. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada no período de agosto de 2020 até julho de 2021, seguindo os princípios de uma revisão bibliográfica sistemática, ou seja, que avalia um conjunto de artigos com o propósito de criar um embasamento teórico científico sobre um determinado assunto, utilizando dados e análises para comparação de resultados. Neste mesmo período de tempo, foi-se escrito um artigo científico com participação escrita do meu colega de bolsa Lucas Soares, com a intenção de submetê-lo para uma revista.

Em Giglio e Kobiyama (2013), os autores analisaram trabalhos realizados em quatro biomas brasileiros, além de florestas plantadas. Nesta pesquisa, o foco foi no bioma Mata Atlântica, sendo ela uma atualização mais detalhada dos dados de ciclos biogeoquímicos de nutrientes através da interceptação que os autores fizeram em 2013.

As buscas foram realizadas em quatro bases de dados bibliográficos – Scielo, Google Acadêmico, ResearchGate e ScienceDirect. As palavras-chaves utilizadas para a busca dos artigos estão descritas na Tabela 1, na qual foram descritas as combinações para a identificação dos artigos. Para a busca dos artigos, os termos da coluna esquerda da Tabela 1 foram combinados com todos os termos da coluna direita. Ao finalizar as pesquisas em cada base, as referências duplicadas foram excluídas. Dos artigos decorrentes dessas buscas, foram aplicados filtros para a seleção dos trabalhos com relação ao tema escolhido para a pesquisa.

Foram encontrados artigos entre os anos de 2005 e 2013, escritos em português e inglês, que satisfizeram os requisitos da pesquisa, tendo como área de estudo o bioma Mata Atlântica.

**Tabela 1** - Termos utilizados para a localização de artigos para revisão sistemática, através da combinação dos termos da primeira coluna com os da segunda.

Coluna 1	Coluna 2		
<i>Atlantic forest Atlantic rainforest</i>	<i>Rainfall, mineral elements, water chemistry,</i>	<i>Throughfall, chemical composition, biogeochemical analysis.</i>	<i>Stemflow, nutrient cycles,</i>

**Fonte:** Elaboração própria

A metodologia consistiu na análise e comparação dos valores médios de deposição atmosférica e deposição através da PI e do Esc dos seguintes nutrientes: potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e sódio (Na<sup>+</sup>), entre os estudos analisados.

A deposição do H<sup>+</sup> foi calculada a partir da medição do pH. Os autores dos artigos selecionados reportaram valores de deposição em (Kg/ha/ano); que se dá pela multiplicação da concentração (mg/L) pela quantidade precipitada naquela parcela (L/m<sup>2</sup>). Essa multiplicação se dá em mg/m<sup>2</sup> e é convertida para kg/ha resultando no total do nutriente depositado sobre aquela vegetação.

Para calcular a quantidade de nutrientes lavados e lixiviados do dossel, usou-se o fator de enriquecimento (FE), que consiste no cálculo dos valores de deposição química da PI em relação à deposição química dos nutrientes da precipitação (PT).

$$FE = \frac{\text{Deposição química da PI}}{\text{Deposição química da PT}}$$

Desta forma, valores maiores que 1, indicam que houve um enriquecimento dos nutrientes na água da chuva após a passagem pelo dossel, valores menores que 1, indicam que houve uma absorção dos nutrientes pela vegetação diretamente pela copa das árvores. Valores iguais a 1, indicam que toda a deposição de nutrientes encontrada na PT foi transportada para a PI.

## 6. RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se os artigos selecionados para o presente estudo, assim como resultados a respeito do pH e a deposição atmosférica e deposição dos nutrientes  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Na^+$  na precipitação interna, na precipitação e no escoamento de tronco de cada um deles.

### 6.1 Artigos selecionados

Dentre os 12 artigos encontrados apenas 4 foram escolhidos para a elaboração dos resultados. Os demais 8 estudos, foram descartados da seleção por não fazerem a análise química da precipitação interna e do escoamento nos troncos e um deles possuía gráficos em forma de box plot<sup>1</sup>, o que levaria a uma estimativa dos valores e poderia implicar em possíveis erros.

Na Tabela 2, estão expostos os artigos finais escolhidos para a elaboração dessa pesquisa, seus autores, a revista em que foram publicados, assim como sua classificação no Qualis CAPES, considerando ciências agrárias como área de avaliação. O Qualis CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) é um sistema brasileiro que classifica a produção científica de artigos publicados em diversos periódicos, revistas e livros científicos. O Qualis Periódicos possui 8 classificações: A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5 e C, com A1 sendo a classificação mais elevada que um periódico pode receber, e C, tendo a menor pontuação.

**Tabela 2** – Artigos selecionados, seus autores, revistas em que foram publicados e classificação no Qualis

---

<sup>1</sup> gráfico utilizado para representar a variação de dados observados de uma variável numérica por meio de quartis

Nome do Artigo	Autor(es)	Revista	Qualis
Rainfall and throughfall chemistry in the Atlantic Forest: A comparison between urban and natural areas (São Paulo State, Brazil)	FORTI, C. M. et al., 2005	Hydrology and Earth System Sciences	A1
Fluxo de nutrientes em Floresta Ombrófila densa das terras baixas no litoral do Paraná	SOUZA, L. C. et al, 2010	Floresta	B2
Mineral nutrient fluxes in rainfall and throughfall in a lowland Atlantic rainforest in southern Brazil	SCHEER, M. B., 2011	Journal of Forest Research	B1
Precipitação e Aporte de Nutrientes em diferentes estádios sucessionais de floresta Atlântica, Pinheiral - Rj	DINIZ, A. R. et al., 2013	Ciência Florestal	B1

Fonte: Elaboração própria

As quatro publicações selecionadas estavam dentre os três maiores níveis classificações CAPES e tiveram suas amostragens realizadas em diferentes municípios e fragmentos florestais, conforme apresenta-se na Tabela 3.

**Tabela 3** – Localização dos artigos de deposição química selecionados e suas características quanto ao fragmento florestal, altitude (em m) e precipitação anual (em mm)

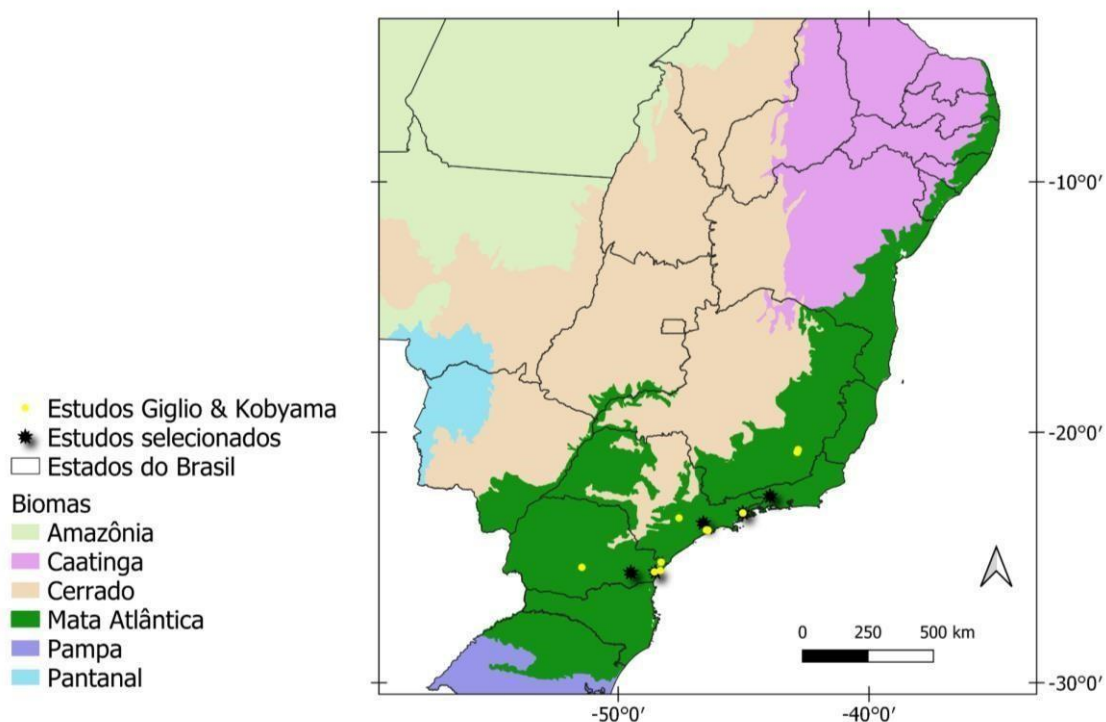
Autores	Cidade	UF	Fragmento Florestal	Altitude (m)	Precipitação anual (mm)
FORTI, C. M. et al., 2005	São Paulo	SP	Floresta Ombrófila Densa de encosta Atlântica	798	1368
FORTI, C. M. et al., 2005	Cunha	SP	Floresta Ombrófila Densa de Montana	1050	1982
SOUZA, L. C. et al, 2010	Paranaguá	PR	Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	5	2240

SCHEER, M. B., 2010	Guaraguaçu	PR	Floresta de várzea secundária	10	2000
DINIZ, A. R. et al., 2013	Pinheiral	RJ	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	420	1300

**Fonte:** Elaboração própria

A Figura 2 apresenta a distribuição, pelo território do bioma Mata Atlântica, dos artigos selecionados para a revisão bibliográfica desta pesquisa (pontos pretos), assim como os artigos analisados no trabalho de Giglio & Kobayama, 2013 (pontos amarelos), baseando-se nas coordenadas geográficas fornecidas pelos autores ou proximidade da área de estudo.

Figura 2 - Localização geográfica dos trabalhos selecionados no presente estudo em relação aos trabalhos mencionados por Giglio e Kobiyama (2013), distribuídos nas regiões de predomínio da Mata Atlântica.



Fonte: Elaboração própria

Com relação aos artigos selecionados, FORTI, C. M. et al. (2005), realizaram amostragens de precipitação e precipitação interna entre 1999 até 2001 em duas áreas do Bioma Mata Atlântica, contrastantes em relação à ocupação humana. Uma das áreas é o Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, na cidade de São Paulo. A outra área fica localizada na cidade de Cunha, também dentro de um parque, mas rodeada por pequenas vilas, na área rural. A metodologia do estudo consistiu na instalação de 10 coletores de precipitação interna e dois coletores para a precipitação total e na coleta de 70 em São Paulo e 75 amostras em Cunha. Os resultados obtidos no estudo, revelaram que a área localizada em Cunha obteve precipitação total, ou seja, de todo o período estudado, de 3.722 mm e média anual de 1982 mm, enquanto em São Paulo, esses valores foram de 3.143 mm e 1.368 mm, respectivamente. O pH foi mais ácido no estudo realizado em São Paulo, com valor de 4,3 na precipitação e 5,3 na precipitação interna. Enquanto o estudo realizado em Cunha mostrou valores de 5,4 na precipitação e 6,4 na precipitação interna. Os autores concluíram que a deposição de solutos através da precipitação interna em uma floresta remanescente com grande influência de poluição atmosférica foi maior do que em uma floresta afastada de grandes centros urbanos.

Souza & Marques (2010) estudaram três tipologias florestais, na cidade de Paranaguá no Paraná durante o período de julho de 2000 a dezembro de 2004. As tipologias foram caracterizadas por diferentes idades e estruturas fitossociológicas, denominadas de Tipologia Florestal Inicial (22 anos), Tipologia Florestal Média (35 anos) e Tipologia Florestal Avançada (60 anos). Os autores instalaram 5 coletores de precipitação interna em cada tipologia florestal e 1 coletor de precipitação total em uma clareira próxima às parcelas de estudo. A coleta das amostras foi a cada 21 dias. Para calcular a precipitação total, foi instalado um pluviômetro em clareira próxima às três parcelas florestais. O ano com maior volume precipitado foi o de 2004, com 3.102,4 mm de chuva, e o ano que apresentou menores valores de precipitação foi o de 2003, com 1.824 mm. Neste estudo não foi analisado pH em nenhuma das tipologias. A pesquisa mostrou altos teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  dissolvidos,

caracterizando uma forte influência marítima na composição química das precipitações. A quantidade de chuva teve influência sobre a lavagens dos sais, de forma que uma maior precipitação refletiu em maiores deposições dos sais.

Scheer (2011) realizou sua pesquisa na Estação Ecológica de Guaraguaçu, localizada no município do Estado do Paraná, no espaço temporal de outubro de 2001 até agosto de 2003. O autor utilizou em sua metodologia 15 coletores de precipitação interna e 6 para precipitação total, realizando a coleta das amostras a cada duas semanas. A quantidade da precipitação total foi de 2.235mm enquanto da precipitação interna foi de 1.848mm. O autor não analisou pH em sua pesquisa. Os resultados mostraram que 80% da deposição do cálcio e do sódio e 57% da deposição do magnésio foram provenientes da precipitação, enquanto o potássio teve sua fonte principal a precipitação interna, cerca de 78%. A deposição de Na através da precipitação interna foi mais alta, enquanto os de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram mais baixas comparados a outros estudos selecionados.

DINIZ, A. R. et al. (2013) publicaram um estudo conduzido em Pinheiral - RJ durante o período de abril de 2009 a março de 2010. Os autores escolheram três áreas com diferentes estádios sucessionais: floresta secundária em estágio inicial (FSEI), floresta secundária em estágio médio (FSEM) e floresta secundária em estágio avançado (FSEA), respectivamente 20, 30 e 60 anos de regeneração. Para a coleta de dados foram instalados 45 coletores de precipitação interna e 2 para precipitação total. A precipitação total (PT) foi medida por meio de dois pluviômetros instalados fora das áreas experimentais. Fora da área de FSEA foi instalado um dos pluviômetros e o outro foi utilizado para as áreas FSEI e FSEM devido à proximidade destas de 300 m. Durante o período de estudo, a precipitação média total foi de 1553 mm. O pH da PT e da PI obtiveram valores parecidos em todas as tipologias de floresta. A pesquisa mostrou que a precipitação interna e o escoamento pelo tronco são uma fonte de adição de nutrientes em ecossistemas florestais. A área FSEA apresentou maiores valores de  $Mg^{2+}$  na adição de nutrientes via precipitação interna em relação às demais áreas avaliadas, além da tendência de maior adição de nutrientes via precipitação interna.



## 6.2 Deposição química

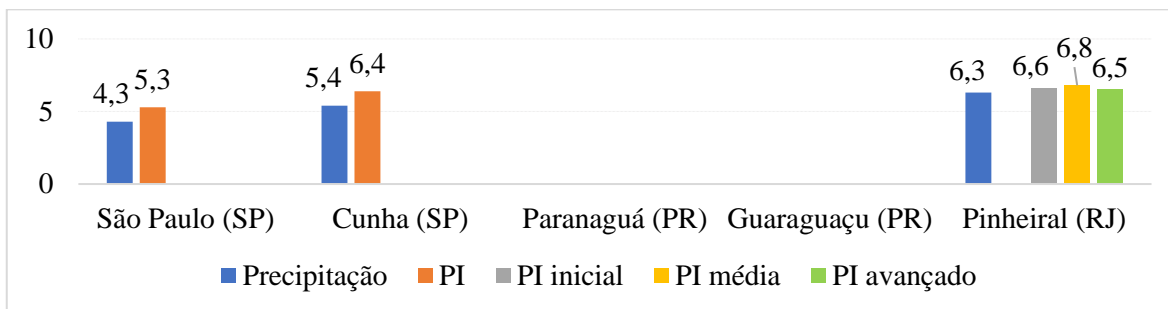
Nos tópicos abaixo, apresentam-se os dados referentes à deposição química atmosférica e a deposição química através da precipitação interna e escoamento de tronco, de cada estudo selecionado, assim como características da composição química da água, tais como pH e deposição química de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Na^+$ .

### 6.2.1 Composição química das chuvas

Com relação à composição química da água da chuva, dentre os estudos analisados, aquele realizado em São Paulo (Capital) apresentou o menor valor de pH (4,3) (Figura 3). Tal parcela localiza-se em um parque urbano de reserva biológica dentro da maior região metropolitana da América Latina. Este menor valor de pH pode ser explicado pelo fato de que em áreas poluídas como esta, há uma influência antrópica elevada e os processos naturais de formação e composição química das precipitações são alterados devido ao excesso de aerossóis (material particulado) presentes na atmosfera.

O outro estudo realizado por DINIZ, A. R. et al., 2013, optou por fazer uma análise em três diferentes estágios de regeneração: inicial, médio e avançado em uma região com pouca interferência antrópica no município de Pinheiral (RJ). Os autores obtiveram um valor maior de pH (6,3) na PT do que aquele encontrado em São Paulo. Este valor mais alto pode ser explicado pela adição de nutrientes diretamente pelos núcleos de condensação presentes na atmosfera (Figura 3).

Figura 3 – Valores de pH encontrados nos estudos selecionados, em que: PI = precipitação interna; inicial = vegetação em estágio inicial de regeneração; média = vegetação em estágio médio de regeneração; avançado = vegetação em estágio avançado de regeneração.

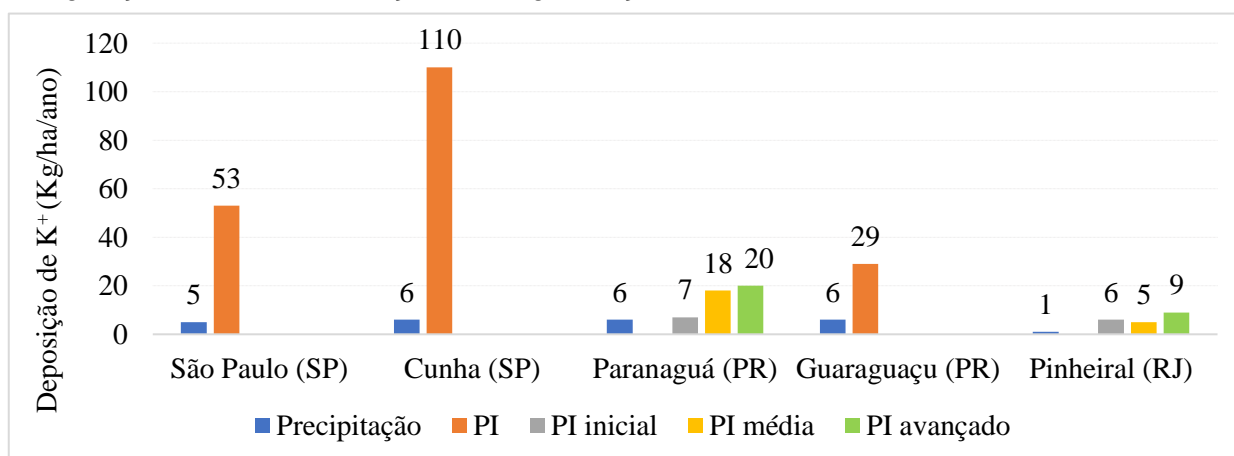


Fonte: Elaboração própria

## 6.2.2 Deposição química das chuvas

A deposição de  $K^+$  na água da PT reportou valores semelhantes nos estudos realizados nas cidades de Cunha, Paranaguá e Guaraguaçu, sendo em torno de 6 Kg/ha/ano. Enquanto isso, o estudo realizado na cidade de Pinheiral reportou o menor valor de deposição sendo de 1 Kg/ha/ano (Figura 4).

Figura 4 - Valores de deposição de Potássio ( $K^+$ ) em Kg/ha/ano encontrados nos estudos selecionados, em que: PI = precipitação interna; inicial = vegetação em estágio inicial de regeneração; média = vegetação em estágio médio de regeneração; avançado = vegetação em estágio avançado de regeneração

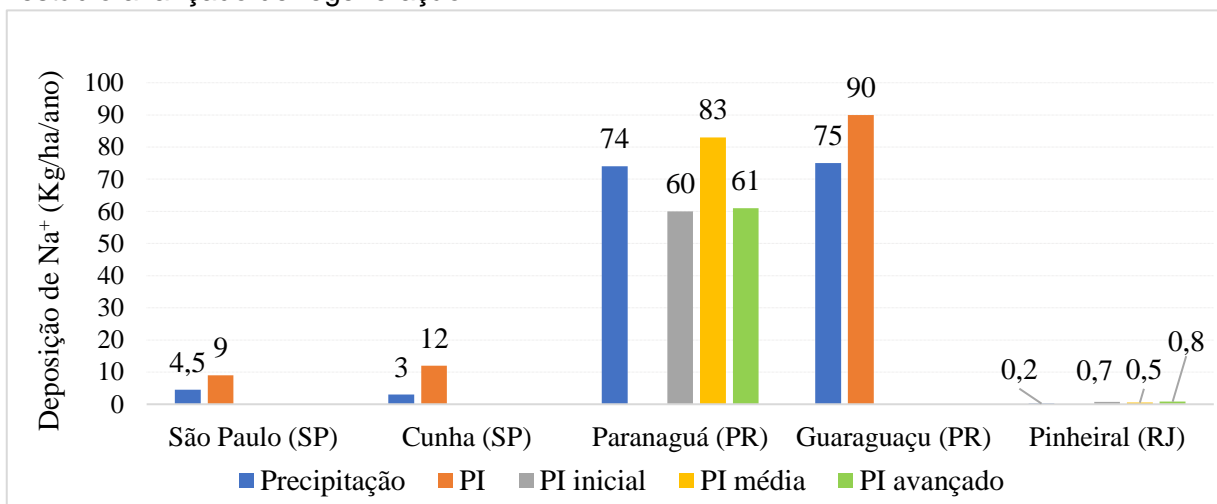


Fonte: Elaboração própria.

O valor encontrado de  $Na^+$  na PT de Paranaguá (74 Kg/ha/ano) e Guaraguaçu (75 Kg/ha/ano), reportou um alto valor de  $Na^+$  na água da chuva, o que pode ser

explicado pela proximidade do litoral, sendo ambos os estudos os mais próximos. (Figura 5). Os valores menores nas outras cidades Pinheiral (0,2), Cunha (3) e São Paulo (4,5) são explicados pela geografia mais afastada do litoral.

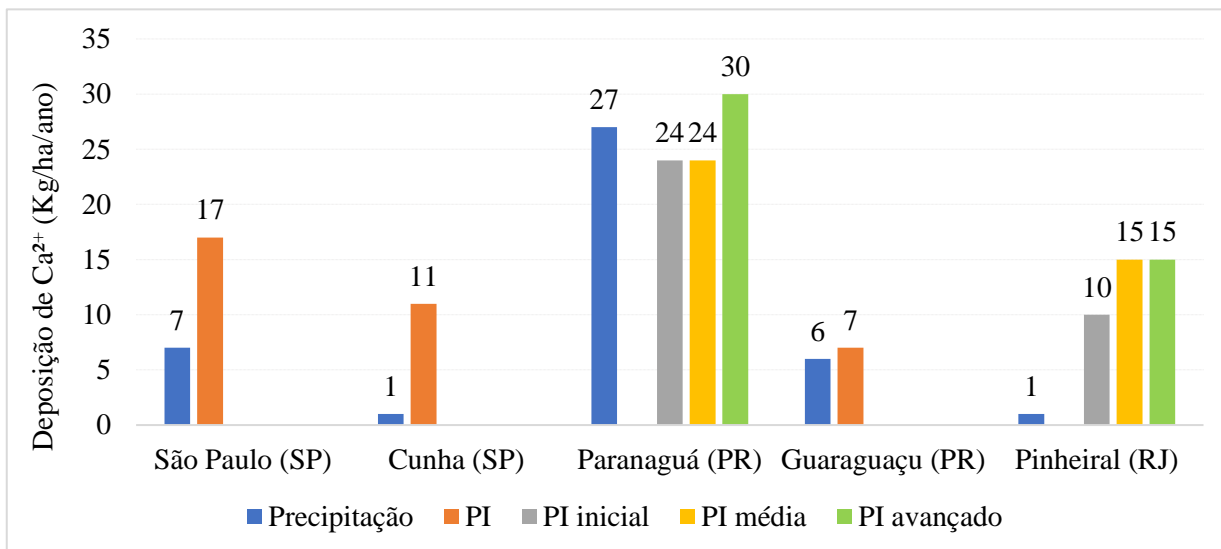
Figura 5 - Valores de deposição de Sódio ( $\text{Na}^+$ ) em Kg/ha/ano encontrados nos estudos selecionados, em que: PI = precipitação interna; inicial = vegetação em estágio inicial de regeneração; média = vegetação em estágio médio de regeneração; avançado = vegetação em estágio avançado de regeneração



Fonte: Elaboração própria

Com relação ao nutriente  $\text{Ca}^{2+}$ , o valor mais alto foi encontrado no estudo realizado na cidade de Paranaguá (27 Kg/ha/ano) e o menor valor foi encontrado nos estudos realizados nas cidades de Pinheiral e Cunha (1 Kg/ha/ano em ambas) (Figura 6).

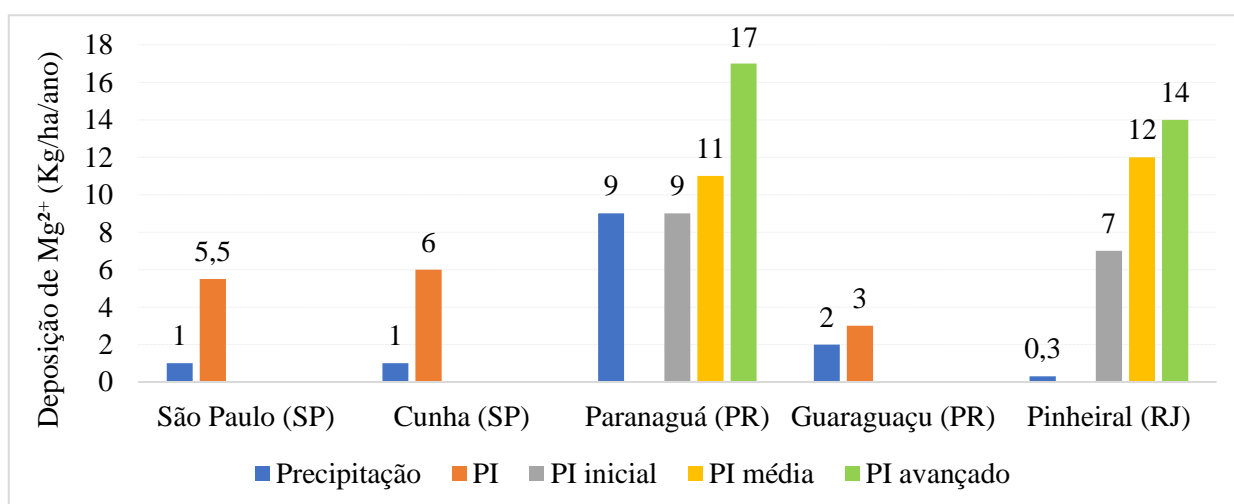
Figura 6 - Valores de deposição de Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) em Kg/ha/ano encontrados nos estudos selecionados, em que: PI = precipitação interna; inicial = vegetação em estágio inicial de regeneração; média = vegetação em estágio médio de regeneração; avançado = vegetação em estágio avançado de regeneração



Fonte: Elaboração própria

Em Paranaguá, o resultado de deposição de  $Mg^{2+}$  (9 Kg/ha/ano), na precipitação, foi o maior entre todos os outros estudos, como mostra a Figura 7. A cidade de Guaraguaçu, Cunha, São Paulo e Pinheiral obtiveram valores baixos de deposição, sendo eles respectivamente 2; 1; 1; 0,3 (Kg/ha/ano).

Figura 7 - Valores de deposição de Magnésio ( $Mg^{2+}$ ) em Kg/ha/ano encontrados nos estudos selecionados, em que: PI = precipitação interna; inicial = vegetação em estágio inicial de regeneração; média = vegetação em estágio médio de regeneração; avançado = vegetação em estágio avançado de regeneração



Fonte: Elaboração própria

### 6.2.3 Deposição através da precipitação interna

O pH da PI foi mais alto no município de Pinheiral (RJ) que nos municípios de São Paulo e Cunha (Figura 3), variando pouco de acordo com o estágio de regeneração da vegetação. Os valores do pH da precipitação interna foram 6,8 para vegetação em estágio médio de regeneração, 6,6 para estágio inicial e 6,5 para estágio avançado, mostrando uma alcalinização da água da precipitação interna ao entrar em contato com as copas das árvores.

Com relação ao  $K^+$  (Figura 4), a deposição através da PI em Cunha (110 Kg/ha/ano) foi o dobro do encontrado no município de São Paulo (53 Kg/ha/ano). Os valores mais baixos de  $K^+$  foram encontrados no estudo realizado em Pinheiral, que reportaram 6; 5 e 9 (Kg/ha/ano), respectivamente, para vegetação em estádios inicial, média, e avançado de regeneração.

Os maiores valores de deposição de  $Na^+$  na PI foram encontrados em Guaraguaçu com 90 (Kg/ha/ano) e na PI média com 83 (Kg/ha/ano). No estudo realizado em Pinheiral, o mesmo elemento apresentou menor deposição em relação aos demais estudos, 0,2 (Kg/ha/ano); 0,7 (Kg/ha/ano) e 0,8 (Kg/ha/ano) para regeneração inicial, média e avançada, respectivamente (Figura 5). Os valores mais altos de deposição de  $Na^+$  através da precipitação interna encontrados nos estudos realizados em Guaraguaçu e Paranaguá sugerem uma forte influência marinha.

Os maiores valores de  $Ca^{2+}$  na deposição da água da PI foram nas cidades de Paranaguá (30 Kg/ha/ano) e São Paulo (17 Kg/ha/ano). Já os menores valores, foram encontrados nas cidades de Guaraguaçu (7 Kg/ha/ano) e Cunha (11 Kg/ha/ano) mostradas na Figura 6.

Valores altos de  $Mg^{2+}$  na PI foram encontrados em Paranaguá, com 17 Kg/ha/ano e Pinheiral, com 14 Kg/ha/ano. Já Cunha e São Paulo apresentaram, praticamente, os mesmos valores de deposição na PI para  $Mg^{2+}$ , sendo eles 6 e 5,5 Kg/ha/ano (Figura 7).

#### 6.2.4 Deposição química através do escoamento pelos troncos

Com relação à deposição dos elementos químicos através do Esc, apenas o estudo realizado por DINIZ et al., 2013, na cidade de Pinheiral (RJ) apresentou estes dados (Tabela 4). Os autores coletaram as amostras de deposição nos três estádios de regeneração: inicial, média e avançada.

O pH da água através do Esc foi 6,6, 6,8 e 6,5 para os três estágios de regeneração, sugerindo que esse componente hidrológico não afetou diretamente na alcalinidade na água. Os autores coletaram as amostras de deposição nos três estádios de regeneração: inicial, média e avançada.

**Tabela 5** - Valores de pH e deposição dos nutrientes (Kg/ha/ano) da água do escoamento pelos troncos em três diferentes estádios de sucessão da Mata Atlântica (Pinheiral, RJ)

	pH	K <sup>+</sup> (Kg/ha/ano)	Na <sup>+</sup> (Kg/ha/ano)	Ca <sup>2+</sup> (Kg/ha/ano)	Mg <sup>2+</sup> (Kg/ha/ano)
Vegetação em estágio de regeneração inicial	6,6	0,27	0,04	0,49	0,37
Vegetação em estágio médio de regeneração	6,8	0,23	0,03	0,36	0,38
Vegetação em estágio avançado de regeneração	6,5	0,23	0,02	0,39	0,32

**Fonte:** Adaptação de DINIZ, et al., 2013

## 7. DISCUSSÃO

O pH da PI foi mais alto no município de Pinheiral (RJ) que nos municípios de São Paulo e Cunha (Figura 3), variando pouco de acordo com o estágio de regeneração da vegetação. Os valores do pH da PI foram 6,8 para vegetação em estágio médio de regeneração, 6,6 para estágio inicial e 6,5 para estágio avançado, mostrando uma alcalinização da água da PI ao entrar em contato com as copas das árvores.

De forma geral, os valores de pH na PI mostraram valores mais alcalinos (valores numericamente mais altos) em comparação aos da PT. Como dito anteriormente, (provavelmente) isso deve-se ao fato de que a chuva se torna menos ácida quando entra em contato com a vegetação que contém nutrientes.

Com relação ao  $K^+$  (Figura 4), a deposição através da PI em Cunha (110 Kg/ha/ano) foi o dobro do encontrado no município de São Paulo (53 Kg/ha/ano). A deposição mais baixa na capital paulista pode ser atribuída por uma deficiência deste elemento na vegetação, ou a deficiência dele na composição química do solo. Os valores mais elevados em Cunha, podem ser explicados pela área de estudo estar localizada em uma das áreas mais preservadas de Mata Atlântica, o Parque Estadual da Serra do Mar. Com isso, nota-se que onde há mais vegetação preservada, maiores serão as concentrações de  $K^+$ . Outro fator para ser considerado, é que as florestas tropicais, por serem ambientes de alta umidade, favorecem a reciclagem interna do  $K^+$ , bem como a lixiviação da vegetação.

Os teores de  $K^+$  pelo Esc, podem ser explicados pela fácil lixiviação deste nutriente pela água da chuva, já que é altamente solúvel em água e, portanto, muito susceptível à lixiviação (LUIZÃO, 2007).

Segundo LEAL, 2016, maiores valores dissolvidos na água do escoamento pelos troncos, podem ser associados ao fato de que é o componente hidrológico onde há a maior interação com a vegetação, permitindo assim, uma maior lixiviação pela água e uma adição elevada de nutrientes.

Os valores mais altos de deposição de  $\text{Na}^+$  através da PI encontrados nos estudos realizados em Guaraguaçu e Paranaguá sugerem uma forte influência marinha. Estes municípios estão localizados a 8 km e 23 km, respectivamente, do litoral. Ainda sobre Paranaguá, o estudo mostrou menores quantidades na deposição atmosférica através da PI nos estádios de regeneração inicial e avançada se comparadas com a deposição na PT. Esta observação sugere que este elemento esteja sendo absorvido através do dossel. Por outro lado, os valores mais baixos encontrados em Pinheiral podem ser explicados pela distância da região de estudo em relação ao litoral, que é de 70 km (Figura 5).

O fluxo de  $\text{Ca}^{2+}$  na cidade de São Paulo, possivelmente é originado da construção de edifícios e em poeira ressuspensa pelo tráfego de veículos que ocorre próximo a área de estudo. Na PI avançada Paranaguá (30 Kg/ha/ano), as quantidades de cálcio foram superiores às observadas em PT (27 Kg/ha/ano), mostradas na Figura 7. Segundo Souza e Marques (2009); nesta tipologia, ocorrem muitos indivíduos da espécie *Tapirira guianensis*, árvore que apresenta elevados teores desse elemento em seus tecidos, e estaria liberando-os por lixiviação. Já os menores valores, foram encontrados nas cidades de Guaraguaçu (7 Kg/ha/ano) e Cunha (11 Kg/ha/ano).

O  $\text{Ca}^{2+}$  foi o nutriente mais enriquecido na água do Esc, por ser decorrente da morte de tecidos vegetais, seguido pelo  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ . Os valores próximos de deposição na PI para  $\text{Mg}^{2+}$  em São Paulo (5,5) e Cunha (6), conforme explícito na Figura 8, sugere que ambas as vegetações são deficientes nesse ciclo, ou que há uma alta deposição de ânions que levam consigo os cátions básicos. Valores altos de  $\text{Mg}^{2+}$  na PI foram encontrados em Paranaguá, com 17 Kg/ha/ano e Pinheiral, com 14 Kg/ha/ano, o que pode indicar características químicas do solo com altos valores do elemento, uma vez que ele é originado ressuspensão de solo seco, que posteriormente podem ser depositados nas copas das árvores e nas folhas. TURNER & LAMBERT (1983), na Austrália, analisaram em seu estudo que o  $\text{Ca}^{2+}$  foi o elemento mais lixiviado das árvores por causa do seu grande acúmulo na casca. Sobre o  $\text{Mg}^{2+}$ , MELO & SÁ (2002), relatam que a adição deste nutriente na

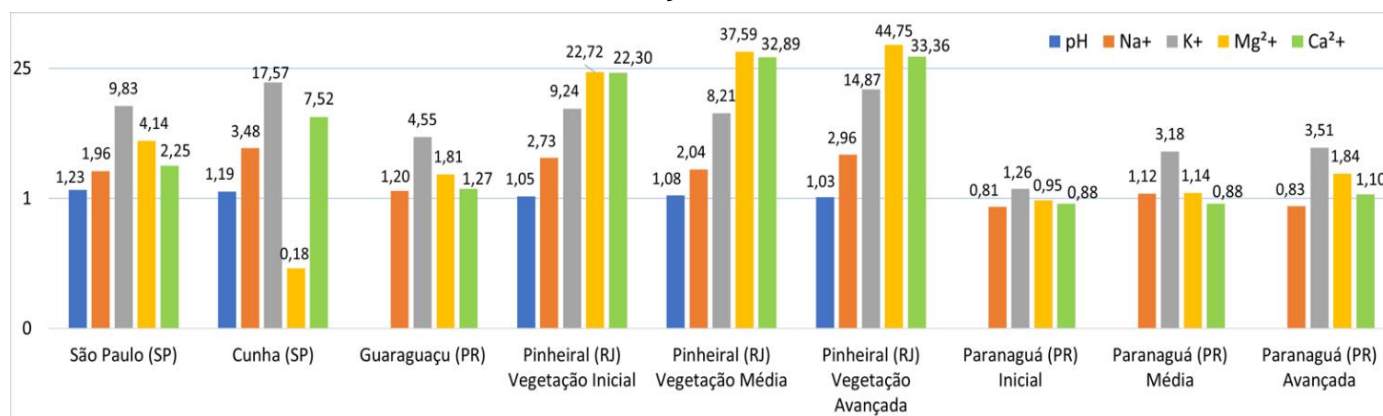


água de escoamento pode ter origem da deposição de solo seco nas copas das árvores e nos troncos.

## 7.1 Fator de enriquecimento

Os fatores de enriquecimento da deposição dos nutrientes da PI em relação a PT são apresentados na Figura 8. Para analisar estatisticamente este enriquecimento, as deposições da PI foram comparadas às deposições da PT.

**Figura 8** – Fator de enriquecimento (FE) das deposições dos nutrientes na PI em relação a PT.



onde: FE > 1 indica enriquecimento; FE < 1 indica absorção; FE = 1 indica semelhança entre as deposições das vias hidrológicas.

Inicial = vegetação em estágio inicial de regeneração; média = vegetação em estágio médio de regeneração; avançada = vegetação em estágio avançado de regeneração

**Fonte:** Elaboração própria

A pesquisa mostra que o  $K^+$  e o pH, foram os únicos que não obtiveram valores menores que 1 em nenhum dos estudos selecionados. A lavagem destes e dos demais elementos que obtiveram resultados maiores que 1, contribuíram enriquecendo em nutrientes a solução que chega ao solo.

Nas cidades de São Paulo e Cunha, a PI foi mais enriquecida pelo nutriente  $K^+$  com resultados de 9,83 e 17,57, respectivamente. Em São Paulo, o menor valor de enriquecimento foi do  $Na^+$  com 1,96, provavelmente devido à distância da cidade do litoral. Em Cunha, o menor valor de enriquecimento foi do  $Mg^{2+}$  com 0,18. O fato do valor ser menor que 1, indica que houve uma absorção do nutriente diretamente pelas copas das árvores.

Pinheiral foi a cidade que obteve maior enriquecimento total da PI em relação à PT, sendo o  $Mg^{2+}$  o nutriente que mais colaborou para esse enriquecimento. O estudo mostrou os maiores valores de enriquecimento pela vegetação avançada, sendo 1,03 para pH, 2,96 para  $Na^+$ , 14,87 para  $K^+$ , 33,36 para  $Ca^{2+}$ , 44,75 para  $Mg^{2+}$ .

Apesar do  $Mg^{2+}$  apresentar os maiores valores de FE na PI, na parcela de Paranaguá em estágio inicial de regeneração, mostrou-se com valor de 0,95 e na parcela de Cunha, valor de 0,18. Esses resultados indicam que a PT, a deposição desse nutriente foi maior comparada com a deposição avaliada após a passagem pelo dossel (PI).

O mesmo ocorre com o  $Ca^{2+}$  na parcela de Paranaguá Inicial (0,88) e Média (0,88) e com o  $Na^+$  na parcela de Paranaguá Avançada (0,83). Souza & Marques (2010), explicam que essa interação com a vegetação resultou em uma retenção dos nutrientes citados no dossel florestal, seja por uma absorção foliar ou pela captura realizadas pelas epífitas. Ainda sobre Paranaguá (PR), os autores encontraram deposições de  $Ca^+$  e  $Na^+$  maiores na PT, do que na PI das outras tipologias florestais da mesma parcela. Esse fato, pode sugerir uma absorção dos nutrientes pela vegetação, diretamente pelo dossel, via foliar, ou retida pelas epífitas.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho realizou uma comparação de dados de ciclagem de espécies químicas de sódio, cálcio, magnésio e potássio, além das análises de pH, depositados na água da precipitação, precipitação interna e escoamento de tronco, em estudos publicados em diferentes domínios do bioma Mata Atlântica. Foram encontrados doze estudos publicados na Mata Atlântica e que se referiam à deposição dos nutrientes. Entretanto, após análise criteriosa de acordo com o tema abordado, foram selecionados apenas quatro estudos. Isto evidencia uma ausência de pesquisas de fluxos biogeoquímicos no bioma Mata Atlântica, assim como análises relacionadas às vias hidrológicas de interceptação e escoamento de tronco.

Apesar de apenas um estudo selecionado ter calculado a quantidade de nutrientes encontrados na água do escoamento pelo tronco, os resultados revelam a grande importância do escoamento pelo tronco na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais.

Existe uma adição do nutriente  $Mg^{2+}$  na PI que acompanhou o grau de regeneração da vegetação nos estudos realizados em Paranaguá e Pinheiral, onde os autores avaliaram três áreas com regeneração inicial, média e avançada. Uma possível explicação para essa tendência, pode ser em função do grau de recuperação nas áreas com vegetação avançada apresentarem uma melhor ciclagem de nutrientes, e conseqüentemente, uma melhor contribuição para o ecossistema.

Exceto pelo nutriente  $Na^+$ , todos os outros nutrientes na tipologia avançada de regeneração, apresentaram maiores valores na PI, do que na tipologia média e inicial. Como a vegetação nessa tipologia é mais complexa e diversa, a captura dos elementos da atmosfera deve ser superior e resulta numa maior liberação deles durante os eventos de precipitação.

Dentre os quatro artigos analisados, a ordem de deposição de elementos minerais através da precipitação foi  $Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$ , e  $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$  para precipitação interna. O menor valor de pH, 4,3, foi encontrado no estudo

realizado em São Paulo capital. O maior valor de pH, também na precipitação, foi encontrado em Pinheiral-RJ (6,3).

De forma geral, as deposições de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Na^+$  foram maiores na Precipitação Interna do que na Precipitação.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEITEC. Nutrientes. Embrapa

ARAÚJO, T. G. Deposição atmosférica total de nutrientes inorgânicos na baía de Paranaguá - Paraná, Brasil. Universidade Federal do Paraná, p. 76, 2008.

BERNER E.K. & BERNER R.A. Global environment. Water, air and geochemical cycles. **Prentice hall**, p. 367, 1996.

CAMPOS, V. P.; COSTA, A. C.; TAVARES, T. M. (1998). Comparação de dois tipos de amostragem de chuva: deposição total e deposição apenas úmida em área costeira tropical. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 418-423.

DINIZ, Anderson R.; PEREIRA, Marcos G.; BALIEIRO, Fabiano C.; MACHADO, Deivid L.; MENEZES, Carlos Eduardo G. Precipitação e aporte de nutrientes em diferentes estádios sucessionais de Floresta Atlântica, Pinheiral – RJ. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 389-399, 2013

FIGUEIREDO MSL, WEBER MM, Brasileiro CA et al (2021) Tetrapod diversity in the Atlantic Forest: maps and gaps. In: Marques MCM, Grelle CEV (eds) The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats, and opportunities of the megadiverse forest. Springer, Switzerland.

FORTI, M.C.; BICUDO, D.C.; BOUROTTE, C.; CICCIO, V.; ARCOVA, F.C.S. Rainfall and throughfall chemistry in the Atlantic Forest: a comparison between urban and natural areas (São Paulo State, Brazil). **Hydrol. Earth Syst. Sc.**, v.6, n.6, p.570—585, 2005.

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.

IBGE. Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

INOCENCIO, M. F; CARVALHO, J. G; NETO, A. E. F. Potássio, Sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de Potássio por Sódio. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, p.113-123, 2014.

KLASSEN, W.; LANKREIJER, H. J. M.; VEEN, A. W. L. Rainfall interception near a forest edge. **Journal of Hydrology**, n.185, p.349-361, 1996.

LABORSOLO. Análise química de Solo. Análise de Tecido Foliar – Macronutrientes: conhecendo o cálcio. **Laborsolo**, 2013.

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.

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.

MEDEIROS, P.H.A.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v.40, n.2, p.165—174, 2009.

MELO, G. W. B. Nutrientes. **Empraba**, Argeitec.

MELLO, V. S.; SÁ, T. D. A. Variação temporal de nutrientes na água escorrida pelo caule em floresta primária explorada no Nordeste do Pará. **Acta Amazônica**, v. 32, n. 4 p. 605-612. 2002.

PEIXOTO, E. M. A. Sódio. Elemento Químico. **Química Nova Na Escola**. N° 10, NOVEMBRO 1999

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. Fisiologia Vegetal. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, **Rede e-Tec Brasil**, p. 81, 2015.

POGGIANI, F. Alterações dos Ciclos Biogeoquímicos em florestas. Anais - 2º **Congresso Nacional sobre Essências Nativas** – p. 6, 29/3/92-3/4/92

SÁ, J. H. M.; CHAFFE, P. L. B.; OLIVEIRA, D. Y. Análise comparativa dos modelos de Gash e de Rutter para a estimativa da interceptação por Floresta Ombrófila Mista. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 1008-1018, 2015. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p1008-1018>.

SCHEER, M. B. Mineral nutrient fluxes in rainfall and throughfall in a lowland Atlantic rainforest in southern Brazil. **Journal of Forest Research**, v. 16, n. 1, p. 7681, 2011

SHINZATO, E. T; TONELLO, K. C; GASPAROTO, E. A. G; VALENTE, R.O A. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 395-402, 2011.

SOUZA, L.C.; MARQUES, R. Fluxo de nutrientes em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v.40, n.1, p.125-136, 2010.

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.

TAIZ, L. et al. FISILOGIA E DESENVOLVIMENTO VEGETAL. Porto Alegre, ed. 6, 2017.

PEREIRA, F. N; WIEGAND, F. SANTANA, E; Estudo de processos de remoção de poluentes por precipitação atmosférica na região de Candiota – RS. **Engenharias**, 2004.

TURNER, J. & LAMBERT, M. J., 1983. Nutrient cycling within a 27 years old Eucalyptus grandis plantations in New South Wales. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 6(2):155-68.