UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Dione Richer Momolli

MONITORAMENTO AMBIENTAL FLORESTAL: FLUXO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTO DE *Eucalyptus dunnii*, NO SUL DO BRASIL

Santa Maria, RS

2018

Dione Richer Momolli

MONITORAMENTO AMBIENTAL FLORESTAL: FLUXO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTO DE *Eucalyptus dunnii*, NO SUL DO BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do Título de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

Santa Maria, RS
2018

Momolli, Dione Richer
MONITORAMENTO AMBIENTAL FLORESTAL: FLUXO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTO DE Eucalyptus dunnii, NO SUL DO BRASIL / Dione Richer Momolli.- 2018.
58 p.; 30 cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher
Coorientador: Maristela Machado Araújo
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2018

1. Nutrição florestal 2. Silvicultura 3. Sustentabilidade I. Schumacher, Mauro Valdir II. Araújo, Maristela Machado III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Dione Richer Momolli

MONITORAMENTO AMBIENTAL FLORESTAL: FLUXO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTO DE *Eucalyptus dunnii*, **NO SUL DO BRASIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do Título de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Aprovado em 27 de julho de 2018

_____

Mauro Valdir Schumacher, Dr. nat. techn. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____

Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)

_____

Márcio Viera, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

DEDICATÓRIA

A meu esposo por estar ao meu lado apoiando-me e acreditando em minhas capacidades, não medindo esforços para que juntos alcalcemos nossos objetivos. A meus pais, por estarem sempre presentes aconselhando-me nos momentos difíceis e por fim ao meu irmão, motivo pelo qual me enche de orgulho e deixa meus dias mais alegres.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi realizado graças ao apoio de pessoas e entidades que se dispuseram a oferecer suporte de cunho tanto prático quanto teórico.

- Ao Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher pela excelente orientação. Por meio de conversas, reuniões, viagens técnicas e afins, tive a oportunidade de aperfeiçoar e aprofundar meus conhecimentos. Suas dicas e orientações foram e continuarão sendo de grande valia;
- a minha colega de trabalho e amiga, Grasiele Dick, pela sua experiência que me foi passada, amizade e momentos de descontração, contribuindo em todos os aspectos para minha formação;
- ao Dr. Rudi Witschoreck, pelo excelente trabalho e competência no LABEFLO (Laboratório de Ecologia Florestal), prezando sempre pela qualidade do serviço prestado;
- a toda equipe LABEFLO, pelas dicas, trocas de experiências e pelo companheirismo, não medindo esforços para que o trabalho fosse concretizado;
- à Universidade Federal de Santa Maria, instituição acolhedora, que me ofereceu a oportunidade de aqui estudar;
- à CAPES pelo financiamento da bolsa de estudo, o que sem a mesma as atividades teriam sido demasiadamente árduas.
- E por fim á Deus, ser unipotente, responsável por toda a criação e pela capacidade de discernirmos até onde a ciência rompe as barreiras do conhecimento.

Para cada mil homens dedicados a cortar as folhas do mal, há apenas um atacando as raízes.

(Henry David Thoreau)

RESUMO

MONITORAMENTO AMBIENTAL FLORESTAL: FLUXO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTO DE *Eucalyptus dunnii*, NO SUL DO BRASIL

AUTOR: Dione Richer Momolli
ORIENTADOR: Mauro Valdir Schumacher

A ciclagem biogeoquímica dos nutrientes é um processo dinâmico e consiste na transferência de nutrientes entre os meios solo-planta-solo. Essa transferência pode ocorrer de várias formas, dentre as quais, a deposição de serapilheira que é a forma mais significativa de aporte de matéria orgânica e nutrientes ao solo. Por meio da deposição atmosférica temos o aporte de íons que pode ser tanto por poeiras e aerossóis quanto pela precipitação pluviométrica. Uma parte da precipitação pluviométrica é interceptada pela copa das árvores e é devolvida à atmosfera por meio da evapotranspiração, a parcela que atravessa o dossel florestal precipita internamente ou escorre pelo tronco. O objetivo do estudo foi quantificar a serapilheira produzida, a partição da precipitação pluviométrica e seus nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii,* no sul do Brasil. O experimento consistiu na demarcação de 4 parcelas de 20 m x 21 m. Em cada uma delas foram dispostos 4 coletores, com área de 0,5 m^2, nas posições linha, entrelinha, diagonal e árvore. Foram ainda demarcadas 4 áreas úteis das árvores de diâmetro à altura do peito médio para a coleta de galhos grossos > 0,5 cm de diâmetro. Para avaliar a precipitação pluviométrica, foram instalados 3 coletores. A precipitação interna consistiu na instalação de 3 coletores por parcela dispostos na linha, entrelinha e diagonal das árvores. O escoamento pelo tronco deu-se com a instalação de uma mangueira circundando o tronco da árvore em forma de espiral, conduzindo a água até um reservatório junto a base da mesma. A produção total de serapilheira foi de 8,48 Mg ha^{-1}, sendo 59 % composta pela fração foliar. O retorno de macro e micronutrientes, via serapilheira produzida, foi de 215 kg ha^{-1} e 8 kg ha^{-1} respectivamente. A precipitação pluviométrica anual foi de 1903 mm, com uma interceptação média pela copa das árvores de 8,9 %. Através da precipitação pluviométrica, foram aportados 28 kg ha^{-1} de nutrientes. Quando consideramos a soma da precipitação interna e escoamento pelo tronco, a quantidade de nutrientes foi de 76,6 kg ha^{-1}. As variáveis climáticas temperatura, radiação solar e evapotranspiração possuem forte influência no padrão de deposição de serapilheira, mostrando que a mesma possui caráter sazonal. A interação com o dossel das árvores de *Eucalyptus dunnii*, enriquece com nutrientes a água da precipitação pluviométrica.

Palavras-chave: Nutrição Florestal. Silvicultura. Sustentabilidade.

ABSTRACT

FOREST ENVIRONMENTAL MONITORING: NUTRIENT FLOWS IN *Eucalyptus dunnii* STAND**, SOUTH OF BRAZIL**

AUTHOR: Dione Richer Momolli
ADVISOR: Mauro Valdir Schumacher

The biogeochemical cycling of nutrients is a dynamic process and consists of the transfer of nutrients between the soil-plant-soil. This transfer can occur in several ways, the deposition of litter is the most significant and consists in the return to the soil of leaves, twigs and thick branches, bark and miscellaneous, representing source of organic matter and nutrients. Through the atmospheric deposition we have the contribution of ions that can be as much by dust and aerosols as by the rain. Part of the precipitation is intercepted by the tree canopy and returned to the atmosphere by evapotranspiration, the portion that crosses the forest canopy is called throughfall and the one that descends through the trunk is called stemflown. The objective of the study was to quantify the litterfall, the partition of rainfall and its nutrients in *Eucalyptus dunnii* stands in southern Brazil. The experiment consisted of the delimitation of 4 plots of 20 m x 21 m. In each one of them 4 litter collectors were arranged in line, between line, diagonal and tree positions, with an area of 0.5 m². Four useful areas of the trees were also demarcated for collecting thick branches> 0.5 cm in diameter. For rainfall, 3 collectors were installed in an open area. The throughfall consisted in the installation of 3 collectors in each plot, in the line, interlining and diagonal positions of the trees. The stemflow through the trunk occurred with the installation of a hose around the trunk of the tree in the form of a spiral, leading the water to a reservoir near the base of the same The total litter production was 8,48 Mg ha^{-1}, 59% composed of the leaf fraction. The return of macro and micronutrients via litter was 215 kg ha^{-1} and 8 kg ha^{-1} respectively. The rainfall during the 12 months was 1903 mm, with an average interception by the canopy of 8,9%. In the rainfall, 28 kg ha^{-1} of nutrients were supplied. When we considered the sum of throughfall and stemflow, the amount of nutrients contributed was 76.6 kg ha^{-1}. The climatic variables of temperature, solar radiation and evapotranspiration have a strong influence on the pattern of litter deposition, showing that it has a seasonal character. In addition, it is an important source of organic matter and nutrients to the soil, with the most representative leaf fraction in terms of amount of biomass and nutrients to the soil. The interaction with the canopy of the *Eucalyptus dunnii* trees enriches the net precipitation with nutrients.

Key-words: Forest nutrition, Silviculture, Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área experimental na microbacia em Alegrete - RS. 32
Figura 2 - Diagrama climático da estação meteorológica de Alegrete - RS. (Valores médios entre os anos de 1963-1995). EVT = evapotranspiração.....33
Figura 3 - Serapilheira em (kg ha^{-1}) nas diferentes frações: folhas (F), galhos finos (Gf), galhos grossos (Gg) e miscelânea (M) em *Eucalyptus dunnii* no ano de 2015. 40
Figura 4 - Relação da precipitação interna (A); escoamento pelo tronco (C); e interceptação pela copa (E), em função da precipitação pluviométrica. Relação do coeficiente de variação (%) em função da quantidade de precipitação pluviométrica (B); precipitação interna (D) e escoamento pelo tronco (F). 50
Figura 5 - Concentração dos Íons (mg L^{-1}) e pH, para precipitação incidente (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et). 53
Figura 6 - Quantidade de nutrientes (kg ha^{-1}) para precipitação pluviométrica incidente (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e precipitação líquida (Pl). 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos do solo em povoamento de *Eucalyptus dunnii* em Alegrete-RS aos 2 anos de idade. 34
Tabela 2 - Produção de serapilheira em *Eucalyptus dunnii* nas diferentes frações no ano de 2015. 39
Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as variáveis climáticas e a deposição de folha, galho fino, galho grosso, miscelânea e serapilheira total no ano de 2015 em povoamento de *Eucalyptus dunnii*. 41
Tabela 4 - Concentração média de macronutrientes (g kg^{-1}) nas diferentes frações da serapilheira de *Eucalyptus dunnii*. 42
Tabela 5 - Concentração média de micronutrientes (mg kg^{-1}) nas diferentes frações da serapilheira produzida de *Eucalyptus dunnii*. 44
Tabela 6 - Quantidade de macronutrientes nas frações da serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*, no ano de 2015. 46
Tabela 7 - Quantidade de micronutrientes nas frações da serapilheira em povoamento de *Eucalyptus dunnii* no ano de 2015. 47
Tabela 8 – Valores da precipitação incidente (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), interceptação pela copa (Ic) em (%), para um povoamento de *Eucalyptus dunnii* no ano de 2015 em Alegrete-RS.. 49
Tabela 9 - Análise de correlação de Pearson entre os íons na precipitação incidente (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et) em povoamento de *Eucalyptus dunnii*. 54
Tabela 10 - Percentual dos elementos químicos na precipitação incidente (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e enriquecimento. 56
Tabela 11 - Relação das concentrações da precipitação incidente com a precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et) com outros estudos. 57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 28
2.1 Eucalyptus dunnii 28
2.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES 29
2.2.1 Produção de serapilheira 29
2.2.2 Deposição atmosférica 30
3 MATERIAIS E MÉTODOS 32
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 32
3.1.1 Localização 32
3.1.2 O clima 33
3.1.3 O solo 33
3.2 METODOLOGIA DE COLETA 34
3.2.1 Coleta de serapilheira 34
3.2.2 Amostragem da precipitação pluviométrica incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco 35
3.2.3 Análise química das amostras 36
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA 37
3.3.1 Serapilheira produzida 37
3.3.2 Precipitação pluviométrica incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco 37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 39
4.1 SERAPILHEIRA PRODUZIDA 39
4.1.1 Quantidade de serapilheira produzida 39
4.1.2 Concentração dos nutrientes 42
4.1.3 Quantidade de nutrientes 45
4.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA 47
4.2.1 Distribuição da precipitação pluviométrica incidente 47
4.2.2 Concentração dos íons 52
4.2.3 Fluxo de nutrientes 55
5 CONCLUSÕES 59
6 RECOMENDAÇÕES 60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial, aliado ao aumento do consumo de produtos oriundos das florestas, as áreas com plantios de espécies arbóreas de rápido crescimento tem sido uma alternativa para o suprimento dessas demandas. A área mundial ocupada por plantações de árvores cresceu 5 milhões de hectares na década compreendida entre os anos 2000 – 2010, (FAO, 2015).

No Brasil, entre os anos de 2005 e 2016, verificou-se uma grande expansão na área com plantios de árvores. Para o gênero *Eucalyptus* o aumento foi de 39,9 %, representando um crescimento médio anual de 3,6 % (ABRAF, 2006; IBÁ, 2017). O destino principal da matéria prima é a produção de papel e celulose, 34 %, sendo que 69 % da mesma está destinada à exportação. O mercado consumidor internacional exige a certificação florestal, na qual é responsável por uma maior sustentabilidade da cadeia produtiva. Durante o mesmo período no qual a área ocupada por eucalipto cresceu 39,9 %, a área com certificação florestal apresentou um aumento de 348 % (ABRAF, 2006; IBÁ, 2017).

No estado do Rio Grande Sul uma série de condicionantes foram impostas para que o plantio das áreas fossem aprovadas. O órgão responsável pelo licenciamento no estado (FEPAM, 2008) exigia no documento que houvesse o monitoramento das águas subterrâneas e superficiais. Além disso, os solos da metade sul do estado são predominantemente arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e baixa fertilidade natural, dessa forma, os estudos voltados a ciclagem de nutrientes nessas plantações preconizam a sustentabilidade florestal inferindo sobre as técnicas de manejo e fertilização ao longo das futuras rotações.

Diante desse contexto, a avaliação da ciclagem de nutrientes torna-se essencial para compreensão do seu fluxo, seja ele em florestas naturais ou plantações comerciais (GONÇALVES et al., 2000), e por meio dele, podemos inferir sobre o balanço nutricional ao longo das fases do ciclo, especialmente quando tratamos de espécies arbóreas de rápido crescimento (SCHUMACHER e VIERA 2015), implantadas em solos com baixa fertilidade natural (VIERA e SCHUMACHER 2010a).

Para Reis e Barros (1990), a entrada de nutrientes ao sistema se dá através da deposição atmosférica, intemperismo, fixação simbiótica ou assimbiótica de nitrogênio e fertilização. Já a saída se dá pela erosão, lixiviação, volatilização e pela

exportação de nutrientes através da colheita florestal e/ou remoção da camada orgânica do solo.

Quanto aos estoques dos nutrientes, Borman e Likens (1970) dividem 4 compartimentos básicos onde os mesmo são encontrados: compartimento orgânico (biomassa de fauna e flora, abaixo e acima do solo); nutrientes disponíveis na solução do solo; minerais primários não disponibilizados; e no componente atmosférico (gases e partículas suspensas).

Conforme Switzer e Nelson (1972), a ciclagem dos nutrientes pode ser de três maneiras: O ciclo geoquímico, que remete às entradas via intemperismo da rocha, fertilização e deposições atmosféricas, com saídas vinculadas a erosão, lixiviação, colheita, queima de vegetação e volatilização. O ciclo biogeoquímico, que representa a absorção dos nutrientes pelas raízes, acúmulo na sua biomassa, posterior deposição e decomposição, liberando os nutrientes novamente ao solo. E por fim, o ciclo bioquímico, que consiste na retranslocação dos nutrientes dentro da própria planta, que se dá através da mobilização de nutrientes dos tecidos maduros ou em senescência, para tecidos mais jovens.

O objetivo geral do estudo, foi avaliar os aspectos da ciclagem dos nutrientes do *Eucalyptus dunnii*, com sete anos de idade no bioma Pampa em Alegrete – RS. Como objetivos específicos podemos destacar:

- Avaliar a produção e a sazonalidade da deposição de serapilheira;
- Determinar a concentração e os estoques de macro e de micronutrientes na serapilheira;
- Quantificar a precipitação pluviométrica incidente, a precipitação interna, escoamento pelo tronco e a taxa de interceptação pela copa das árvores;
- Determinar o valor de pH, os teores e as quantidades dos íons aportadas pela precipitação pluviométrica incidente, pela precipitação interna e pelo escoamento pelo tronco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eucalyptus dunnii

A espécie, pertencente á família Myrtaceae (BROOKER e KLEINIG, 1994), foi trazida ao Brasil em 1904 por conta da iniciativa de Edmundo Navarro de Andrade, afim de subsidiar matéria prima à Companhia Paulista de Estradas de Ferro (FERREIRA, 2015).

Originalmente a espécie ocorria naturalmente de forma descontínua no sudeste e nordeste da Austrália, estabelecida em solos úmidos e férteis podendo atingir até 50 metros de altura (SMITH e HENSON, 2007; BOLAND et al., 1984; Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2015). Possui tronco ereto e cilíndrico, copa alongada e relativamente densa. Quanto a sua floração, possui umbela simples com 3 a 8 flores. Seus frutos são capsulas lenhosas deiscentes, com sementes pretas (SOUSA e HIGA, 1991).

A propagação sexuada torna o povoamento bastante heterogêneo (MORA e GARCIA, 2000), no entanto essa heterogeneidade permite ainda ganhos volumétricos para 2 gerações da espécie na China (SHI et al., 2016). Como característica, a espécie apresenta baixa produção de sementes (MALYSZ et al., 2011), e protocolos de clonagem encontravam-se ainda em estudo (BRONDANI, et al., 2010). Bons resultados foram obtidos com mini-estacas provenientes de material seminal, sem necessidade de regulador de crescimento para enraizamento, dessa forma, a produção de mudas em larga escala torna-se tecnicamente viável (JUNIOR e WENDLING, 2003). Navroski et al., (2014) avaliaram o alongamento *in vitro* de 6 diferentes genótipos sob concentrações de ácido giberélico (GA_3), e concluíram que GA_3 aumenta o número de calos e diminui o número de brotações e de alongamento das mesmas.

Entre os motivos para sua escolha, a espécie *Eucalyptus dunnii* vem sendo implantada na região sul principalmente por sua capacidade de resistir a injurias causadas por geadas, podendo tolerar até -5 ºC (MORA e GARCIA, 2000; PALUDZYSZYN; SANTOS. et al., 2005; HIGA et al., 2000). A tolerância a geadas é o único mecanismo eficiente da espécie (LARCHER, 1983). De acordo com Flores et al. (2016), a espécie foi classificada com aptidão climática alta para o município de Alegrete-RS.

A espécie possui madeira de cor clara e dentre as finalidades, a madeira serve de matéria prima á produção de polpa e celulose, que apresenta bom rendimento no processo industrial, carvão vegetal, chapas de partículas e fibras (GLENCROSS, 2011 THOMAS et al., 2007; HIGA 1998; GLENCROSS et al., 2014), escoras na construção civil e fabricação de móveis (GUTIERREZ, 1976).

De acordo com Iwakiri e Prata (2008), no estado de Santa Catarina a matéria prima é utilizada em serrados e aplicações como laminados. Possui grande potencial ainda na produção de parquetes, carrocerias, assinalando boas características tecnológicas para fins estruturais.

2.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES

2.2.1 Produção de serapilheira

O ciclo biogeoquímico consiste na transferência de nutrientes entre os sistemas solo – planta - solo. As raízes absorvem nutrientes necessários á produção de biomassa, que por sua vez, serão devolvidos aos solo por meio da deposição e decomposição de serapilheira e raízes (SCHUMACHER e VIERA 2015).

A produção e decomposição da serapilheira representa a principal via de transferência de nutrientes ao solo (LOPES et al., 2009). Esses estudos admitem inferir sobre técnicas de fertilização á longo prazo, quantificação da entrada e saída de nutrientes e as interações que os fatores bióticos e abióticos têm sobre a mesma (GONÇALVES et al., 2005), a dinâmica ciclagem de nutrientes (SILVA *et al*., 2013).

A regulação da produção de serapilheira se dá por diversos fatores: temperatura, luminosidade, disponibilidade hídrica e nutricional, maturidade do povoamento, espécie e número de indivíduos por unidade de área (VIERA et al., 2014; BELLOTE, DEDECEK, SILVA, 2008; FIGUEIREDO-FILHO et al., 2003). Zhang et al., (2014) reuniram dados de produção de serapilheira em diferentes ecossistemas mundiais e constataram que entre 64 e 73% da serapilheira era constituída pela fração folhas.

Estudando a produção de serapilheira com a espécie *Eucalyptus dunnii* em diferentes idades, Correa et al., (2013) e Ludvichak et al., (2016) encontraram uma produção total de 4,08 Mg ha^{-1} em povoamento jovem, contra 6,99 Mg ha^{-1} em

povoamento recém maduro. A participação da fração foliar foi respectivamente de 93 e 60% do total produzido.

A concentração de nutrientes na serapilheira pode variar de acordo com a época do ano, com as características morfofisiológicas e capacidade de translocação dos nutrientes dentro da planta (KÖNIG et al., 2002). Para Viera et al., (2014) e Schumacher et al., (2013), as folhas representam a maior quantidade de matéria orgânica e de nutrientes via deposição de serapilheira.

Embora muitos estudos avaliem a produção de serapilheira e o retorno de nutrientes nos ecossistemas (CORREIA *et al*., 2016, ZHANG *et al*., 2014), poucos trabalhos reportam aos micronutrientes nas formações florestais (OKU *et al*., 2012), e a relação existente entre a concentração de macro e micronutrientes em espécies florestais (SOBRADO, 2014).

De acordo com Sobrado (2014) a deficiência de micronutrientes pode ofuscar o desempenho dos macronutrientes, contudo, a maior preocupação esteja relacionada ao seu excesso que pode levar a toxidez, especialmente de B, Mn e Fe (LOPES et al., 2007), causando problemas relacionados a produção, desenvolvimento e crescimento (MARSCHNER, 2012).

2.2.2 Deposição atmosférica

A compreensão da partição da água da chuva, é importante para o balanço hidrológico, especialmente quando se tratam de vastas áreas cobertas com vegetação (RODRIGUEZ SUAREZ et al., 2014). A disponibilidade de água e nutrientes são os fatores mais limitantes ao desenvolvimento dos ecossistemas, especialmente àqueles que possuem baixa pluviosidade e/ou baixa fertilidade natural (GEBAUER e EHLERINGER, 2000; MCCLAIN et al., 2003).

A movimentação dos nutrientes é dinâmica, sendo continuamente transferidos entre os meios bióticos e abióticos. Um dos caminhos dessa transferência pode se dar pelo ciclo geoquímico, no qual caracteriza-se pelas entradas que são provenientes da precipitação seca e úmida (VIERA e SCHUMACHER, 2010a), que ao atravessar o dossel florestal, além de carrear aerossóis depositados no tecido vegetal, lixivia os componentes da biomassa aérea para o piso florestal (EATON et al., 1973; SCHRUMPF et al., 2006), representando um importante fluxo interno dos nutrientes nas florestas (PARKER, 1983; BHAT et al., 2011; LEVIA et al., 2011).

Parte da água da chuva que atinge a copa das árvores é interceptada e posteriormente será devolvida a atmosfera (LLORENS e DOMINGO, 2007). A interceptação da água é influenciada tanto por características bióticas como morfofisiológica, altura, superfície de contato das diferentes espécies vegetais (KEIM et al., 2006) e abióticas tais como intensidade, quantidade, duração e tamanho da gota de chuva (CALDER 1999; SULÍNSKI et al., 2001).

A água que atravessa o dossel florestal e atinge diretamente a serapilheira é denominada de precipitação interna (NAVAR, 2011). Outra parte desce através de folhas, galhos e escoa pelo tronco suprindo com água e nutrientes as raízes (ZHANG et al., 2016; JOHNSON e LEHMANN, 2006).

A composição química da água do escoamento pelo tronco e da precipitação interna é resultado da interação de fatores meteorológicos, distância do mar, deposições secas e lixiviação das copas (ANDRÉ et al., 2008; NAVAR et al., 2009), sendo essa importante para o suprimento de nutrientes às raízes das plantas e à manutenção do balanço hídrico do solo (WANG et al., 2011; WANG et al., 2013; ZHANG et al., 2013; KANGHO et al., 2011).

Muitos fatores interferem na avaliação da interceptação, entre eles, cobertura vegetal, densidade de plantas, umidade relativa, temperatura, radiação solar, intensidade da precipitação, direção e velocidade do vento (GERRITS AND SAVENIJE, 2011 BULCOCK e JEWITT, 2012; LEVIA e FROST, 2006; HÖRMANN et al., 1996.), além da variação sazonal (SALEHI et al., 2016). A medida em que aumenta a precipitação pluviométrica e o grau de fechamento e estrutura das copas, há diminuição do coeficiente de variação para a precipitação interna (CARLYLE-MOSES et al. 2014; ZIMMERMANN e ZIMMERMANN, 2014; THOMAZ e ANTONELLI, 2015).

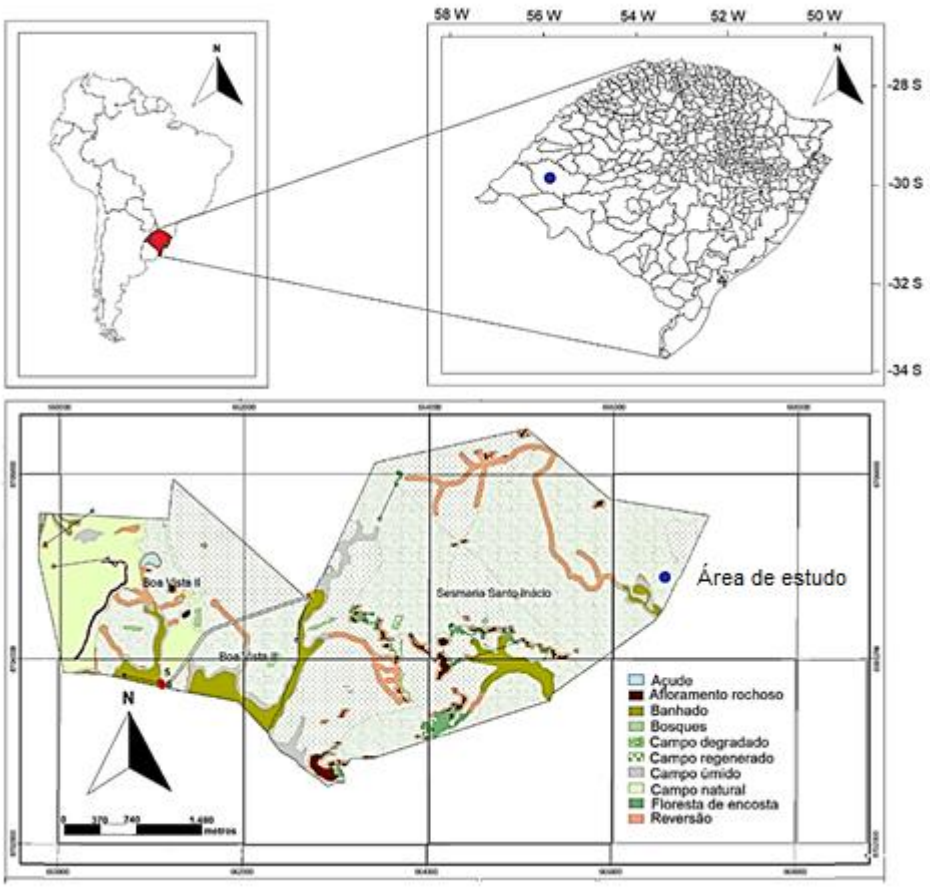
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1 Localização

O estudo foi conduzido em Alegrete, estado do Rio Grande do Sul, sul do Brasil, sob as coordenadas geográficas centrais de 29º 47’ 10” S e 55º 17’ 30” O. O experimento encontra-se em uma microbacia hidrográfica com área total de 340,7 ha (FIGURA 1). Em torno de 31 % da área é destinada a conservação, o restante, 69 %, é ocupada por povoamentos de *Eucalyptus* sp., sendo, 23,4 % da área total coberta pela espécie *Eucalyptus dunnii.* O povoamento de origem seminal, foi implantado com espaçamento 2,5 m x 3,0 m, com uma densidade inicial de 1427 árvores por hectare. Por ocasião do estudo, as árvores encontravam-se entre 84 e 96 meses de idade (7 para 8 anos respectivamente).

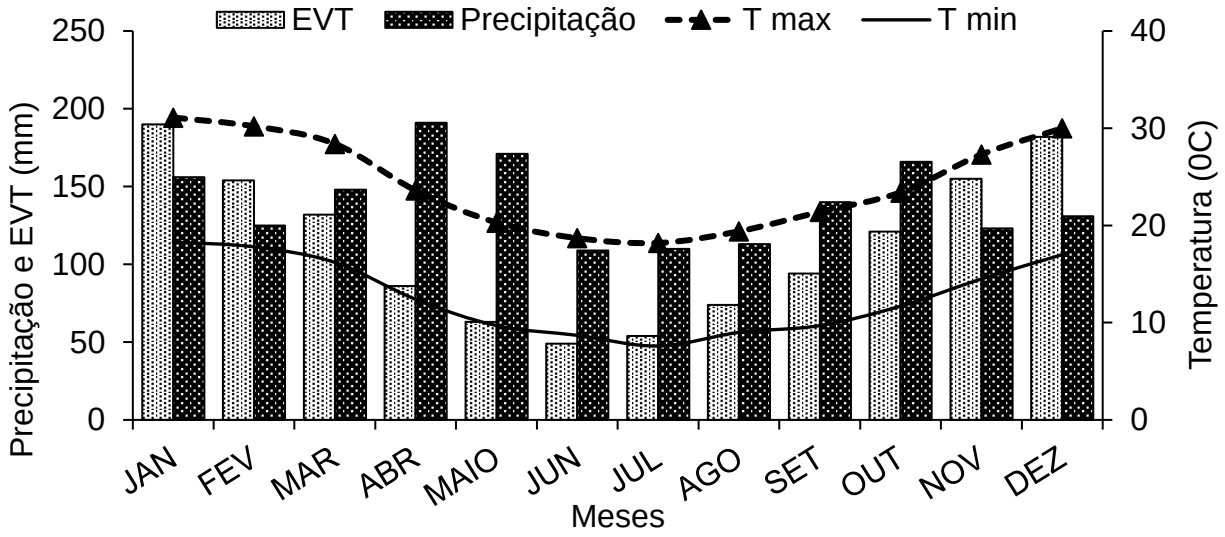
Figura 1 - Localização da área experimental na microbacia em Alegrete - RS.



3.1.2 O clima

O clima da região é do tipo subtemperado úmido Cfa. A variedade “Cfa” se caracteriza por apresentar chuvas durante todos os meses do ano e possuir a temperatura do mês mais quente superior a 22°C, e a do mês mais frio superior a 3°C. Os verões podem apresentar período de seca, com temperatura média anual de 18,6 ºC e a precipitação média anual de 1747 mm (ALVARES et al. 2014). Na Figura 2 observa-se o diagrama climático com base na estação meteorológica de Alegrete-RS. A espécie *Eucalyptus dunnii,* ainda é classificada com uma aptidão climática média para a região de Alegrete (FLORES et al., 2016).

Figura 2 - Diagrama climático da estação meteorológica de Alegrete - RS. (Valores médios entre os anos de 1963-1995). EVT = evapotranspiração.



3.1.3 O solo

O povoamento foi estabelecido em solo do tipo ARGISSOLO VERMELHO distrófico típico, característico por apresentar saturação por bases baixa (V < 50 %), avançado grau de intemperização, com textura variando entre franco-arenosa e franco-argilo-arenosa. Na Tabela 1, são apresentados os atributos químicos e físicos do solo aos 2 anos de idade (DICK et al., 2016). Os valores são considerados baixos para MO, Ca e Mg, muito baixos para o pH, K, P e saturação por bases (V%), altos teores nas camadas 20-40 e 80-100 e médios teores de S

nas demais camadas. Os teores para B foram considerados altos (SBCS-CQFS,2016).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos do solo em povoamento de *Eucalyptus dunnii* em Alegrete-RS aos 2 anos de idade.

Atributo	Unidade	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
		Profundidade (cm)				
DS	g cm^{-3}	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4
AG	%	33,0	31,0	29,0	28,0	27,0
AF		46,0	46,0	43,0	41,0	37,0
Silte		7,0	6,0	7,0	8,0	10,0
Argila		15,0	17,0	21,0	23,0	26,0
MO		1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
pH	(1:2,5água)	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0
Al	$cmol_c$ dm^{-3}	2,0	1,9	1,9	2,0	1,7
Ca		0,5	0,8	1,2	1,8	1,9
Mg		0,3	0,2	0,3	0,3	0,4
P	mg dm^{-3}	1,9	1,6	1,5	1,5	1,5
K		20,3	12,0	9,7	8,3	8,3
t	$cmol_c$ dm^{-3}	2,8	3,0	3,4	4,2	4,0
T		9,0	9,6	10,1	10,8	10,9
V	%	9,1	11,0	15,1	20,5	21,2
m		71,3	65,0	55,7	48,4	43,2
S	mg dm^{-3}	2,7	5,1	3,4	4,2	6,1
B		0,3	0,4	0,5	0,4	0,4
Cu		2,3	2,1	2,2	2,2	2,0
Zn		0,6	0,3	0,2	0,2	0,3

Em que: DS = densidade do solo; AG = areia grossa; AF = areia fina; MO = matéria orgânica; T = CTC pH7; t = CTC efetiva; V% = saturação por bases; m = saturação por alumínio. Fonte: Dick et al., 2016.

Realizou-se subsolagem a 60 cm de profundidade, com aplicação de (300 kg ha^{-1} de Fosfato Natural Gafsa em linha) e após o plantio, aos 15 dias pela aplicação de 140 kg ha^{-1} de NPK 06-30-06 (covetas laterais) + 0,3% B incorporados ao solo. Aos 40 e 90 dias foram aplicados 120 kg ha^{-1}de NPK 22-01-18 + 0,3% B + 0,2% Cu (a lanço) na entrelinha.

3.2 METODOLOGIA DE COLETA

3.2.1 Coleta de serapilheira

Demarcou-se 4 parcelas de 20 m x 21 m, contendo em cada uma delas 4 coletores de serapilheira com área de 0,5 m² e dispostos nas posições: linha,

entrelinha, diagonal e árvore, totalizando 16 coletores. A coleta da serapilheira com diâmetro superior a 0,5 cm (galhos grossos), deu-se, com a demarcação de 4 parcelas de 7 m², (área útil de árvores de diâmetro médio).

As coletas foram realizadas quinzenalmente e transportadas até o Laboratório de Ecologia Florestal. As amostras foram separadas nas frações folhas, galhos finos, galhos grossos e miscelânea e secas em estufa de renovação e circulação de ar forçada a 70 ºC até atingirem peso constante. Na sequência as mesmas foram pesadas em balança de precisão 0,01 g para determinação do peso seco. A quantidade total de serapilheira produzida (kg ha^{-1}) foi estimada utilizando-se a equação a seguir:

$$PMS = \frac{((\sum PS) \times 10000)}{AC}$$

Em que: PMS = produção mensal de serapilheira em kg ha^{-1}; PS = produção de serapilheira em cada coletor em (kg); AC = área do coletor em (m²);

Após secas, cada fração foi moída em moinho de facas tipo *Wiley*, e encaminhadas para análise química.

3.2.2 Amostragem da precipitação pluviométrica incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco

O monitoramento da precipitação pluviométrica (P), deu-se com a instalação de 3 coletores com diâmetro de 20 cm á 1,5 m do nível do solo. Os mesmos foram alocados em área de campo, distante cerca de 50 m das parcelas do povoamento de eucalipto. Cintas de *neoprene* com arames de aço galvanizado foram colocadas afim de evitar com que os mesmos sejam utilizados como poleiros pelos pássaros.

Para a precipitação interna (Pi), foram demarcadas 4 parcelas no interior do povoamento com dimensões de 20 m x 21 m. Em seguida, 3 coletores de diâmetro de 20 cm e altura de captação de 1 m do nível do solo foram distribuídos nas posições linha, entrelinha e diagonal das árvores em cada uma das parcelas.

A determinação da quantidade de chuva da precipitação incidente (P) e precipitação interna (Pi) em (mm) foi obtida pela seguinte equação:

$$P \text{ ou } Pi = x / 0{,}0314,$$

Em que, a quantidade de chuva P ou Pi em (mm) é função de x (litros) acumulado, dividido pela área de captação em (m^2).

A quantificação do escoamento pelo tronco deu-se com a instalação de reservatórios com capacidade de 60 litros em 3 árvores de DAP médio por parcela. Uma mangueira de diâmetro de 1 polegada, cortada longitudinalmente, instalada em forma espiral junto ao tronco da árvore, permitiu que a água que escoasse pelo tronco fosse armazenada nos reservatórios.

Para o cálculo do escoamento pelo tronco adotou-se a expressão utilizada por Preuhsler et al., (2006):

$$Et = (V / g) \times (G / A),$$

Sendo: Et = precipitação (mm), V = volume coletado (litros), g = área basal da árvore (m^2), G = área basal das árvores na parcela (m^2), A = área da parcela (m^2).

A interceptação pela copa foi determinada pela equação utilizada por Lima (1976):

$$Ic = P – (Pi + Et),$$

Sendo: Ic (interceptação pela copa) em mm é função da diferença entre a precipitação pluviométrica em área aberta (P), pelo somatório da precipitação interna (Pi) com o escoamento pelo tronco (Et).

Os coletores da precipitação pluviométrica e interna para análise química eram compostos por frascos de capacidade de 2 litros, resistentes ás intempéries (temperaturas elevadas, exposição solar) não contaminando as amostras. Quinzenalmente, após aferição do volume de chuva e coleta das amostras para determinação química, os frascos e reservatórios eram cuidadosamente escovados e enxaguados com água destilada afim de se evitar contaminação, eliminando resíduos de partículas solidas depositados no fundo dos recipientes.

3.2.3 Análise química das amostras

Para a determinação dos nutrientes na serapilheira, seguiu-se a metodologia de Miyazawa et al. (1999). Para determinação do nitrogênio, realizou-se digestão com H_2SO_4 + H_2O_2 e análise em aparelho Kjeldahl. Para determinação dos elementos P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, as amostras sofreram digestão nítrica-perclórica (HNO_3 + $HClO_4$). As análises de Ca e Mg foram realizadas por

meio de espectrometria de absorção atômica, K por meio de fotometria de chama, P através de espectrofotometria e S por turbidimetria. A determinação de Cu, Fe, Zn e Mn deu-se através de espectrometria de absorção atômica em equipamento *Perkin Elmer, Analist 200.* Boro foi determinado por meio da digestão seca e leitura em Espectrofotometria com comprimento de onda de 460 mm.

As amostras de precipitação pluviométrica incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco foram encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM as quais foram determinados o pH, com pHmetro contendo eletrodo de vidro (Metrohm 827 pH LAB), pré-tratamento com filtração simples de poros de 0,45 µm para determinação dos íons NO_2^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^-, Cl^-, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}, através de cromatografia iônica (Metrohm 861 Advanced Compac IC), todos segundo a metodologia proposta por APHA (1998).

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.3.1 Serapilheira produzida

A análise estatística deu-se por meio do *software* SISVAR 5.6. A análise de variância foi realizada nos dados, assumindo um delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos (as frações de serapilheira) e doze repetições (meses). Teste de Tukey foi realizado para comparar as médias ($\alpha = 0,05$). Realizou-se ainda correlação de Pearson entre a deposição de serapilheira e as variáveis climáticas. Precipitação e interceptação foram mensuradas no presente estudo e as demais variáveis foram obtidas por meio de Agritempo (2018), estação climática de Alegrete distante cerca de 24 km do experimento.

3.3.2 Precipitação pluviométrica incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco

A análise estatística deu-se por meio do *software* SISVAR 5.6. A análise de variância foi realizada nos dados, assumindo um delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos (partições da chuva) e doze repetições (meses), e o teste de Tukey foi realizado para comparação entre as médias ($\alpha = 0,05$).

O coeficiente de variação (CV) é um parâmetro estatístico bastante aceito (ZIMMERMANN et al., 2007), e foi utilizado para quantificar a variabilidade dos

índices pluviométricos mensais, bem como, a influência da quantidade de chuva no CV obtido.

$$CV = \partial / \Phi$$

Em que: ∂ é o desvio padrão do volume coletado e Φ é a média do volume.

Realizou-se ainda correlação de *Pearson* afim de obter a relação entre o volume e as concentrações de íons nas soluções aquosas com auxílio do *software* SAS 9.3.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SERAPILHEIRA PRODUZIDA

4.1.1 Quantidade de serapilheira produzida

A produção total de serapilheira ao longo do ano foi de 8,48 Mg ha^{-1}, sendo que as folhas constituíram a fração de maior representatividade. A ordem de deposição foi a seguinte: folhas > galhos grossos > galhos finos > miscelânea (TABELA 2). Dentre os meses avaliados, as temperaturas mais elevadas coincidiram com os meses de maior deposição, dezembro com 1138 kg ha^{-1}, enquanto que julho com uma deposição de apenas 158 kg ha^{-1}.

Tabela 2 - Produção de serapilheira em *Eucalyptus dunnii* nas diferentes frações no ano de 2015.

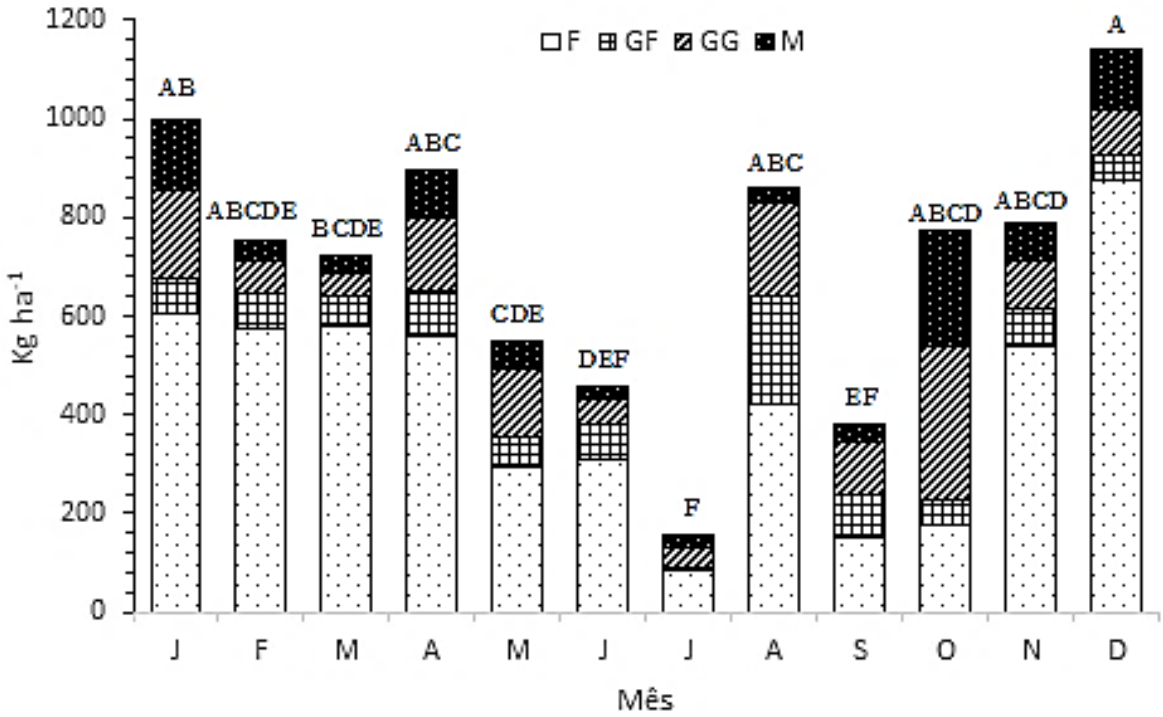
Fração	(Mg ha^{-1})	(%)	Média mensal
Folha	5,17a ± 232,77	59,30	430,63
Galho fino	0,92b ± 50,89	11,12	76,72
Galho grosso	1,46b ± 77,38	18,59	122,15
Miscelânea	0,92b ± 63,54	11,02	76,92
Total	8,48 ± 275,79	100,00	706,42

Valores na vertical, seguidos pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro. ± Desvio padrão em kg ha^{-1}.

Houve diferença significativa a 5 % de probabilidade de erro com base no teste de *Tukey.* O mês de dezembro (maior deposição), diferiu estatisticamente dos meses de maio, junho, julho e setembro (menores deposições) (FIGURA 3).

Viera et al. (2014), avaliando a produção de serapilheira média em um povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla x E. globulus* dos 5,5 aos 9,5 anos de idade, encontrou uma produção média de 7,54 Mg ha^{-1}. Em seu estudo, as frações seguiram a seguinte ordem: folhas > galhos finos > miscelânea > galhos grossos, representando 66,9; 14,7; 10,5 e 7,9 % respectivamente.

Figura 3 - Serapilheira em (kg ha^{-1}) nas diferentes frações: folhas (F), galhos finos (Gf), galhos grossos (Gg) e miscelânea (M) em *Eucalyptus dunnii* no ano de 2015.



Médias seguidas de mesmas letras, não diferem estatisticamente a pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Corrêa et al. (2016), na mesma área e com a mesma espécie, avaliando a deposição de serapilheira aos 18 meses encontrou a seguinte ordem: folhas > miscelânea > galhos grossos, correspondendo a 93; 6 e 1% respectivamente. Já Ludvichak et al. (2016) com a mesma espécie, porém aos 60 meses, quantificaram 6,99 Mg ha^{-1} e encontraram a seguinte ordem: folhas > galhos finos > galhos grossos e miscelânea, 61,6; 17,3; 13,8 e 7,2% respectivamente. No presente estudo, o componente galho grosso contribuiu para a maior quantidade de serapilheira. A medida em que o povoamento envelhece, folhas e galhos inseridos nos terços inferiores sofrem com o sombreamento, o que por sua vez, ocasiona na deposição desse material aumentando a quantidade de galhos grossos e diminuindo os percentuais de folhas.

Zhang et al. (2014) avaliando a serapilheira em diversos ecossistemas florestais pelo mundo, relatam que entre 64 e 73% da serapilheira provém da fração foliar. Outros autores em seus estudos corroboram de que as folhas representam o componente majoritário, aos quais, os percentuais variam de 60 a 93%, ficando apenas a variação intrínseca à maturidade, à espécie e ao sítio em que o

povoamento se estabelece (LUDVICHAK et al., 2016). Schumacher et al. (2013), em um híbrido de *Eucalyptus urophylla x E. globulus* com 7 e 8 anos, encontrou uma produção de 7,44 Mg ha^{-1} em Eldorado do Sul, desses, 60% constituinte da fração folhas, 16% galhos finos, 13% galhos grossos e 10% miscelânea.

De acordo com Viera et al., (2014), o aumento da temperatura pode acelerar a taxa de transpiração e por consequência o aumento de sais nas folhas, isso faz com que estrategicamente, haja uma maior senescência de folhas maduras. Outros autores relatam embora, picos de deposição no outono ou no inverno, causado principalmente pela queda das temperaturas (CORRÊA et al., 2016), por um período marcado por estresse hídrico ou por coincidir a queda de folhas maduras por ocasião da emissão de novas folhas, devido os períodos de radiação mais abundantes (BIANCHIN et al., 2016), como pode ser observado no estudo o pico para o mês de agosto.

Na Tabela 3, são apresentadas correlações entre algumas variáveis climáticas e a deposição de serapilheira. Podemos observar correlação significativa para as variáveis temperatura máxima, mínima, média, evapotranspiração potencial, radiação solar e umidade relativa máxima.

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as variáveis climáticas e a deposição de folha, galho fino, galho grosso, miscelânea e serapilheira total no ano de 2015 em povoamento de *Eucalyptus dunnii.*

Variáveis	Serapilheira	Folha	Galho fino	Galho grosso	Miscelânea
Precipitação (mm)	ns	ns	ns	ns	ns
Precip. Interna (mm)	ns	ns	ns	ns	ns
Escoam. Tronco (mm)	ns	ns	ns	ns	ns
Intercep. pela copa (%)	ns	ns	ns	ns	ns
T. mínima (ºC)	0,80**	0,82**	ns	ns	ns
T. média (ºC)	0,79**	0,82**	ns	ns	ns
T. máxima (ºC)	0,78**	0,80**	ns	ns	ns
Sem chuva (dia)	ns	ns	ns	ns	ns
Umid. mín. (%)	ns	ns	ns	ns	ns
Umid. máx. (%)	ns	ns	0,68*	ns	ns
Evapotranspiração	0,76**	0,79**	ns	ns	ns
Radiação solar	0,65*	0,67*	ns	ns	ns
Vento (m/s)	ns	ns	ns	ns	ns

Significativo: * ($p \leq 0,05$); ** ($p \leq 0,01$); ns: não significativo. Obs.: os dados das quatro primeiras variáveis foram obtidos no presente estudo, as demais variáveis são fonte de Agritempo (2018).

Assim como Viera et al., (2014), as variáveis temperatura do ar média, mínima e máxima, evapotranspiração e radiação solar, influenciaram significativamente ($p \leq 0,01$ e 0,05) na deposição de serapilheira total e de folhas.

A variável climática temperatura foi a que melhor explicou a deposição de serapilheira, com correlações médias de 80 %. Muitos trabalhos mostram correlação negativa para a deposição da fração folhas com os índices pluviométricos (VIERA e SCHUMACHER, 2010c; FERREIRA et al., 2007), contudo, o mesmo comportamento não pode ser observado no presente estudo, possivelmente devido aos volumes de chuva serem mais constantes, sem significativa redução ou déficit hídrico durante o período de avaliação.

Para Viera e Schumacher (2010a; 2010c), durante os períodos de menores precipitações, há uma maior deposição de serapilheira especialmente de folhas. Isso ocorre como estratégia da planta evitando com que haja perdas excessivas por evapotranspiração durante esses períodos mais críticos (MARTINS e RODRIGUES 1999).

4.1.2 Concentração dos nutrientes

No que se refere aos teores dos nutrientes, as folhas apresentaram os maiores valores conforme a Tabela 4. Os teores de macronutrientes nos galhos grossos e finos não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 4 - Concentração média de macronutrientes (g kg^{-1}) nas diferentes frações da serapilheira de *Eucalyptus dunnii*.

Fração	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg^{-1})					
Folha	9,02a	0,69a	5,42a	13,46a	2,04b	0,69a
Galho fino	2,72c	0,16c	3,66b	9,66b	2,14ab	0,33bc
Galho grosso	1,89c	0,12c	3,28bc	9,31b	2,14ab	0,27c
Miscelânea	5,84b	0,39b	2,25c	5,29c	2,51a	0,43b

* Os valores na vertical seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

O fósforo é um elemento de elevada translocação interna na planta, e encontrado com elevada atividade metabólica principalmente nos tecidos mais jovens como nas folhas. Por esse motivo os teores encontrados em ordem decrescente nas frações foram: folhas > miscelânea > galho fino > galho grosso. Para o presente estudo, a fração foliar apresentou um teor médio de P foi de 0,69 g kg^{-1}.

Para Santana (2005), o motivo pelo qual o P é encontrado em baixas concentrações nas frações galhos finos e grossos, se deve por ser constituinte de compostos ricos em energia que é retranslocado para os tecidos mais jovens e ativos fotossinteticamente na planta.

A concentração média de Ca foi a maior dentre os nutrientes avaliados para todas as frações, exceto galhos grossos. O elemento é considerado imóvel na planta e constituinte da parede celular, isso faz com que seja armazenado na forma de cristais que permanecem no tecido mesmo em sua senescência (DIAS et al., 2002; KÖNIG et al., 2002).

Para Viera et al., (2010), a elevada concentração na fração foliar é atribuída a atividade celular mais ativa nesses tecidos. Ludvichak et al., (2016) em estudo desenvolvido com a espécie *Eucalyptus dunnii* aos 5 anos, observou que a fração folhas diferiu estatisticamente na concentração de todos nutrientes em comparação as demais frações.

Lima et al., (2010) estudando os teores médios na serapilheira foliar acumulada em diferentes sistemas entre eles: agroflorestais, ecológicos, agricultura de corte e floresta nativa, encontraram teores médios de nitrogênio bastante superiores, destacando-se principalmente os sistemas agroflorestais de 6 e 10 anos com concentrações de N de 19,2 e 22,2 g kg^{-1} respectivamente durante a estação chuvosa e de 13,7 e 18,2 g kg^{-1} respectivamente durante a estação seca. Se comparado ao presente estudo, 9,02 g kg^{-1}, os maiores teores desse elemento para os autores acima, são decorrentes do consórcio de espécies agrícolas entre elas leguminosas com espécies florestais. Outro fator para o aumento considerável desses teores se deve á fixação biológica promovida pela biota mais diversificada ou pelas características do solo.

Com relação às concentrações de micronutrientes nas diferentes frações da serapilheira, podemos observar que B e Mn apresentaram maiores teores ($p \leq 0,05$) no componente folhas, Cu nos galhos finos e Fe na miscelânea. O elemento Zn não

diferiu estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre as diferentes frações (Tabela 5). A ordem de concentração de micronutrientes nas diferentes frações foi igual a todos elementos (Mn > Fe > B > Zn > Cu) exceto para galhos grossos (Mn > Fe > Zn > B > Cu).

Tabela 5 - Concentração média de micronutrientes (mg kg^{-1}) nas diferentes frações da serapilheira produzida de *Eucalyptus dunnii.*

Fração	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg^{-1}				
Folha	34,74a	5,44b	125,77b	940,62a	7,78a
Galho fino	11,38c	8,02a	68,43b	434,02b	10,46a
Galho grosso	8,24c	4,85b	71,68b	496,22b	8,78a
Miscelânea	18,44b	4,88b	296,34a	457,92b	7,74a

*Os valores na vertical seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente por *Tukey* a 5 % de probabilidade de erro.

Viera et al. (2014) em estudo avaliando a produção de serapilheira e nutrientes ao longo de 4 anos em um híbrido de *Eucalyptus urophylla x E. globulus* com 5,5 anos de idade, encontraram também maiores teores de B e Mn nas folhas e de Fe na miscelânea. No entanto, o Cu e Zn não diferiram entre as frações, para os autores ainda a ordem de concentração foi a seguinte: Mn > Fe > B > Zn > Cu. Ludvichak et al. (2016) avaliando os teores de micronutrientes na serapilheira de *E. dunnii* em mesma área, porém aos 5 anos de idade, também observaram que Cu e Zn não diferiram estatisticamente entres as frações.

Geralmente, o teor de micronutrientes tende a aumentar com o avanço da idade do povoamento. Gonçalves et al., (1997), mostrou que em *E. grandis,* a translocação média dos micronutrientes das folhas verdes para as senescentes foi de apenas 18; 79; 37; 28 e 14 % para B, Zn, Cu, Fe e Mn respectivamente.

Para o presente estudo, os teores médios de Mn nas folhas, 941 mg kg^{-1}, foram inferiores aos relatados por outros autores estudando a mesma espécie. Para Corrêa et al., (2016) foi de 1854 mg kg^{-1} aos 18 meses e de 1253 mg kg^{-1} aos 60 meses para Ludvichak et al., (2016).

Segundo Jiménez e Navarro (2015), essa tendência também foi observada em uma plantação de *Pinus halepensis* Mill, 5 anos após o desbaste em clima semiárido. Para o autor ainda, o declínio da concentração de Mn nas acículas se deve á maturidade do povoamento em que o elemento acaba sendo parcialmente

retranslocado. Os valores encontrados de Mn nas folhas da serapilheira poderiam representar ainda toxicidade á planta. No entanto, Reissmann et al. (1994), avaliando plantas nativas de *Ilex paraguarienses* encontraram teores que variaram de 350 a 3250 mg kg^{-1}. A disponibilidade de Mn á planta aumenta a medida em que o pH decresce (MOTTA et al., 2007), e no presente estudo, o pH do solo foi de 4,7.

Com relação a concentração de Mn nos galhos grossos, o elemento apresentou comportamento inverso ao visto na fração foliar. Corrêa et al., (2016) aos 1,5 anos relatou 317 mg kg^{-1}, Ludvichak et al., (2016) aos 5 anos encontrou 472 mg kg^{-1} e no presente estudo, aos 7 anos foi de 721 mg kg^{-1}. A função do Mn é a participação no transporte de elétrons da fotossíntese, o que justifica seus menores teores nos galhos grossos, sendo que a deficiência do mesmo, de maneira geral, causa clorose nas folhas jovens, tendo em vista sua baixa mobilidade na planta (PRADO, 2008). Dick et al., (2017) avaliando o estoque de micronutrientes na biomassa de *Eucalyptus dunnii* constatam que o gênero *Eucalyptus* sp. possui alta propensão em acumular Mn.

De acordo com Prado (2008), o Fe é pouco retranslocado dentro da planta. Para Moretti et al., (2011) avaliando a espécie *Toona ciliata* sob deficiência de micronutrientes na Austrália, concluíram que devido ao suprimento de Fe pelo solo, as variáveis altura e diâmetro das plantas não foram comprometidas. Richardson et al., (2017) explicam que embora haja redução dos estoques de macro e micronutrientes no solo por conta da colheita florestal, a serapilheira atua como importante fonte de nutrientes de liberação lenta (RICHARDSON et al., 2017).

Fatores tais como o encharcamento do solo, pH elevado e excesso de P, são os reguladores dos teores do Fe no solo (PRADO, 2008). De acordo com o autor ainda, a maior parte desse nutriente está presente nos cloroplastos, participando da fotossíntese, sendo pouco redistribuído na planta.

4.1.3 Quantidade de nutrientes

Na Tabela 6, verificam-se os valores das quantidades dos macronutrientes acumulados nas diferentes frações da serapilheira em um povoamento de *E. dunnii.* As quantidades totais devolvidas foram de 215,22 kg ha^{-1}, nas quais verificou-se a seguinte ordem de deposição de macronutrientes: Ca > N > K > Mg > S > P.

Tabela 6 - Quantidade de macronutrientes nas frações da serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus dunnii,* no ano de 2015.

Fração	N	P	K	Ca	Mg	S	Total
	(kg ha^{-1})						
Folha	45,22	3,40	26,10	67,77	10,59	3,56	156,65
	(21,01)*	(1,58)	(12,13)	(31,49)	(4,92)	(1,65)	(72,79)
Galho fino	2,46	0,15	3,56	9,81	2,09	0,30	18,36
	(1,14)	(0,07)	(1,65)	(4,56)	(0,97)	(0,14)	(8,53)
Galho grosso	2,77	0,16	4,66	14,40	3,07	0,38	25,44
	(1,29)	(0,08)	(2,16)	(6,69)	(1,43)	(0,18)	(11,82)
Miscelânea	5,08	0,33	1,73	4,71	2,54	0,37	14,77
	(2,36)	(0,16)	(0,81)	(2,19)	(1,18)	(0,17)	(6,86)
Total	55,52	4,05	36,05	96,69	18,29	4,61	215,22
	(25,80)	(1,88)	(16,75)	(44,93)	(8,50)	(2,14)	(100,00)

***** Valores entre parênteses*,* referem-se aos percentuais de macronutrientes em cada compartimento da serapilheira produzida.

González-Rodriguez et al., (2011) avaliando o aporte de nutrientes via serapilheira foliar em 4 sítios diferentes no nordeste do México, encontraram a mesma ordem de nutrientes: Ca > N > K > Mg > P.

No entanto, quando comparamos com estudo desenvolvido por Freitas et al., (2013) em sistema agrossilvipastoril eucalipto-acácia, observamos a seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > S > P, sendo o N, responsável pelo retorno de 52 % dos macronutrientes ao solo. Para o presente estudo, o N correspondeu a cerca de 26 %. Essa diferença se deve ao fato da Acácia ser uma espécie leguminosa com potencial de fixação biológica de nitrogênio.

Em consequência das elevadas concentrações de cálcio no tecido vegetal, o elemento foi o que mais contribuiu ao fornecimento em quantidade ao piso florestal 44,9%. Quando consideramos a devolução apenas de Ca + N, 70,7 % referem-se a esses elementos. Viera et al., (2014) encontraram valores semelhantes 71,5 %. Corrêa et al., 2013 estudando *Eucalyptus dunnii* aos 2 anos de idade encontraram 71,9 % e Freitas et al., (2013) com sistema agrossilvipastoril eucalipto + acácia 79,5 %.

O retorno dos micronutrientes ao solo seguiu a seguinte ordem: Mn > Fe > B > Zn > Cu, com uma quantidade de 6658; 1051; 217; 68 e 46 g ha^{-1} respectivamente, totalizando 8,04 kg ha^{-1}. As quantidades totais de Mn foram de 6,66 kg ha^{-1}, correspondendo a 82,8% do total dos micronutrientes. A ordem de deposição de micronutrientes entre as frações avaliadas foram: folhas > galhos grossos > miscelânea > galhos finos, representado 75; 11; 8 e 6% respectivamente (TABELA 7).

Tabela 7 - Quantidade de micronutrientes nas frações da serapilheira em povoamento de *Eucalyptus dunnii* no ano de 2015.

Fração	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Total
			(g ha^{-1})			
Folha	179,03 (2,23)*	27,92 (0,35)	672,47 (8,36)	5094,94 (63,36)	39,01 (0,49)	6013,37 (74,78)
Galho fino	10,59 (0,13)	7,27 (0,09)	63,93 (0,80)	418,91 (5,21)	10,07 (0,13)	510,77 (6,35)
Galho grosso	12,44 (0,15)	6,31 (0,08)	114,46 (1,42)	721,15 (8,97)	12,25 (0,15)	866,60 (10,78)
Miscelânea	15,74 (0,20)	4,13 (0,05)	200,56 (2,49)	423,27 (5,26)	6,60 (0,08)	650,30 (8,09)
Total	217,79 (2,71)	45,63 (0,57)	1051,42 (13,08)	6658,27 (82,80)	67,93 (0,84)	8041,04 (100,00)

* Valores entre parênteses referem-se aos percentuais de micronutrientes em cada fração.

Corrêa et al., (2016) encontrou aos 18 meses de idade em povoamento de *E. dunnii*, 8,63 kg ha^{-1}. Embora as quantidades de serapilheira nesse estágio de maturação sejam inferiores, o elevado teor dos micronutrientes influíram para essa maior quantidade. Ludvichak et al., (2016), avaliando o retorno dos micronutrientes ao solo para a mesma espécie quantificou um total de 7,55 kg ha^{-1}.

4.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

4.2.1 Distribuição da precipitação pluviométrica incidente

A precipitação pluviométrica anual foi de 1903 mm, com uma média mensal de 159 mm. O mês de setembro registrou o maior volume, 258 mm ($p \leq 0,05$). Os meses de abril e agosto registraram os menores volumes, 54 e 67 mm respectivamente, não havendo diferença estatística entre si (Tabela 8).

O valor da precipitação interna registrada foi de 1718 mm, ou seja, 90,3 % da chuva incidente atravessou o dossel e chegou ao piso florestal. O mês de setembro da mesma forma diferiu estatisticamente dos demais, e registrou o maior volume, 255 mm. Os meses de abril e agosto não diferiram estatisticamente entre si e acumularam os menores índices, 46 e 59 mm respectivamente.

O escoamento pelo tronco registrou volumes bastante inferiores, sendo o total acumulado de 14,5 mm, o que representa apenas 0,8 % da chuva incidente. Diferentemente das outras partições da chuva, os maiores índices foram para os meses de março, setembro, outubro e dezembro, não diferindo estatisticamente entre si.

A interceptação média pela copa das árvores foi de 8,9 %. Nos meses que vão de setembro a fevereiro, a interceptação pelas copas (Ic) foi de 11 %, já nos meses de março a agosto, a Ic foi de 6,8 %. A explicação para essa variação se deve possivelmente ao grau de fechamento das copas. Antes de iniciar a estação com temperaturas mais amenas ocorre a abscisão de parte das folhas, devido ao maior sombreamento e menor radiação solar, interceptando menor quantidade da precipitação pluviométrica incidente.

Balieiro et al., (2007) ao estudarem o comportamento da água da chuva após interação com a copa de *E. grandis,* encontraram ajustes bastante semelhantes, R = 0,99 e 0,89 para a precipitação interna escoamento pelo tronco respectivamente. 78,5 % da precipitação atingiu o piso florestal e 15,6 % da chuva foi interceptada pela copa. Os maiores volumes interceptados quando comparados a este estudo estão atrelados principalmente a densidade do plantio, sendo cerca de 3.333 do *E. grandis* contra 1.430 plantas ha^{-1} do *E. dunnii* respectivamente.

Supangat et al. (2012) estudaram a partição da água da chuva em *E. pellita* do segundo ao sexto ano e encontraram taxas de 3,8, 80,7 e 15,4 % e coeficientes de determinação (R^2) de 0,77; 0,99 e 0,29 para escoamento pelo tronco, precipitação interna e interceptação pela copa, respectivamente. Possivelmente os valores encontrados estão relacionados ao maior número de árvores por hectare, consequentemente, diminuindo a precipitação interna e aumentando a taxa de

interceptação pela copa. Outros estudos também encontraram ajuste linear na regressão para precipitação interna em função da precipitação incidente, sendo de 0,9 para Gasparoto et al., (2014) e 1,0 para Li et al., (2015).

Tabela 8 – Valores da precipitação incidente (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), interceptação pela copa (Ic) em (%), para um povoamento de *Eucalyptus dunnii* no ano de 2015 em Alegrete-RS.

MÊS	P	Pi (mm)	Et	Ic (%)
JAN	121,0 e* *(±1,4)***	102,5 g *(±1,0)*	0,5 ef *(±0,0)*	11,9
FEV	188,7 c *(±5,3)*	162,2 e *(±9,3)*	1,3 cd *(±0,2)*	10,4
MAR	241,0 b *(±0,9)*	226,2 b *(±3,3)*	1,7 abc *(±0,2)*	4,2
ABR	53,6 f *(±0,7)*	46,0 h *(±0,7)*	0,2 f *(±0,1)*	6,9
MAI	190,7 c *(±0,0)*	179,4 d *(±1,7)*	1,4 bcd *(±0,6)*	5,2
JUN	135,1 de *(±7,9)*	108,1 g *(±6,4)*	1,0 de *(±0,3)*	9,2
JUL	119,0 d *(±0,0)*	104,5 g *(±3,0)*	1,0 de *(±0,2)*	6,1
AGO	66,8 f *(±0,0)*	58,7 h *(±1,3)*	0,0 f *(±0)*	9,2
SET	285,8 a *(±5,4)*	254,5 a *(±10,1)*	2,2 a *(±0,2)*	7,9
OUT	181,9 c *(±3,8)*	155,1 e *(±5,3)*	2,0 ab *(±0,3)*	13,4
NOV	140,1 d *(±0,5)*	124,7 f *(±2,5)*	1,2 cd *(±0,2)*	8,6
DEZ	223,5 b *(±10,4)*	195,1 c *(±13,8)*	1,7 abc *(±0,2)*	14,1
TOTAL	1903,1	1718,1	14,5	8,9

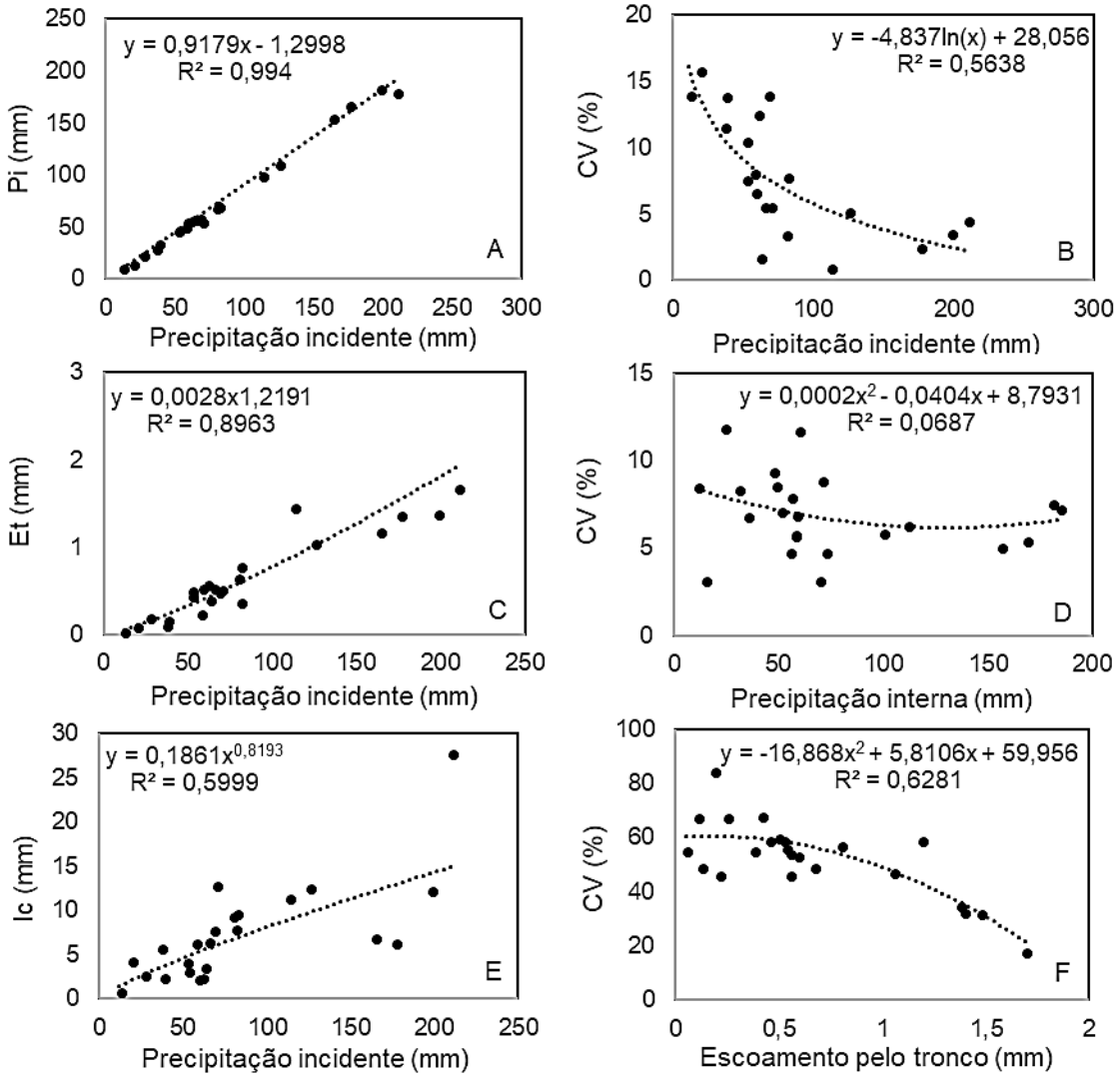
(*) Letras iguais para a mesma coluna, não diferem ao nível de significância (p<0,05) por meio do teste de *Tukey.*
(**) Valores entre parênteses e em *itálico*, representam o desvio padrão da amostra.

As análises de regressão para precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação em função da precipitação incidente apontaram um ajuste R = 0,99; 0,89 e 0,59, respectivamente (FIGURA 4).

Os coeficientes de variação tiveram os seguintes ajustes: R = 0,56 e 0,62 para precipitação incidente e escoamento pelo tronco, ou seja, o aumento do volume diminui o desvio padrão e, consequentemente, o coeficiente de variação. A

precipitação interna não mostrou ajuste com aumento do volume de chuva, e o CV (%), manteve-se constante e com baixo ajuste, R = 0,06.

Figura 4 - Relação da precipitação interna (A); escoamento pelo tronco (C); e interceptação pela copa (E), em função da precipitação pluviométrica. Relação do coeficiente de variação (%) em função da quantidade de precipitação pluviométrica (B); precipitação interna (D) e escoamento pelo tronco (F).



Os resultados encontrados no presente estudo reforçam ainda que a medida em que o volume aumenta, o coeficiente de variação diminui, principalmente quando nos referimos ao escoamento pelo tronco. O dossel florestal é bastante heterogêneo e varia de acordo com a distribuição espacial dos coletores, grau de fechamento das copas, espaçamento das árvores, falhas e quando nos referimos ao escoamento pelo tronco, o diâmetro altura do peito e a presença de ramos e galhos, influem diretamente na quantificação da água (XIAO e MCPHERSON, 2011).

De acordo com Anna e Jaroslaw, (2014), a casca é um fator importante no desenvolvimento do coeficiente de interceptação. Os autores concluíram que há distinção do coeficiente de interceptação da casca para diferentes espécies e idades. Esses coeficientes podem ser utilizados em modelos para estimar os processos hidrológicos.

Soto-Schönherr e Iroumé (2016) estudaram a interceptação da copa de florestas nativas e plantações exóticas com coníferas e eucaliptos no Chile e mostraram que florestas nativas interceptam cerca de 50 % mais água da chuva que as espécies exóticas para o mesmo DAP e área basal. A quantidade de chuva que atravessa o dossel das plantações com exóticas e chega até a camada de serapilheira é maior se comparado à floresta nativa. A razão pela qual as florestas nativas interceptem mais água que as plantações de árvores é resultado do grau de fechamento das copas. A copa das plantações comerciais são menos densas, além disso, elas são homogêneas e encontram-se basicamente um único estrato.

Para Li et al. (2015), a interceptação pela copa em floresta de *Pinus sylvestris* var. *mongólica,* foi de 22,1%. Tais achados devem-se ao índice de área foliar. A floresta apresenta pouca sazonalidade de deposição de serapilheira, o contrário do presente estudo que durante os meses de março a setembro, as temperaturas amenas e o menor fotoperíodo causa maior senescência das folhas do terço inferior da copa diminuindo a interceptação da chuva.

Siegert et al. (2016) avaliaram os fatores que causam variabilidade da precipitação interna e interceptação pela copa em floresta decidual temperada instaladas em diferentes faces topográficas e mostraram que quando as folhas estavam presentes, a precipitação interna foi reduzida em 13,2 e 12,1 % nas faces norte e leste da topografia, apresentando diferenças estatísticas, no entanto, na área plana a redução foi de apenas 4,3 %.

Dunkerley (2014) em estudo desenvolvido em laboratório mostrou que um conjunto de fatores influem na quantidade de água que escoa pelo tronco, entre eles, a intensidade da pluviosidade e sua variação no tempo. Além disso, o escoamento pelo tronco tende a ser maior quando os picos ocorrem no início da chuva. Outro aspecto é quanto a estação do ano, os autores explicam ainda, que durante o período de senescência, a água escoa mais facilmente, no entanto, durante eventos mais intensos, há o desprendimento da água, principalmente quando os ramos são mais longos.

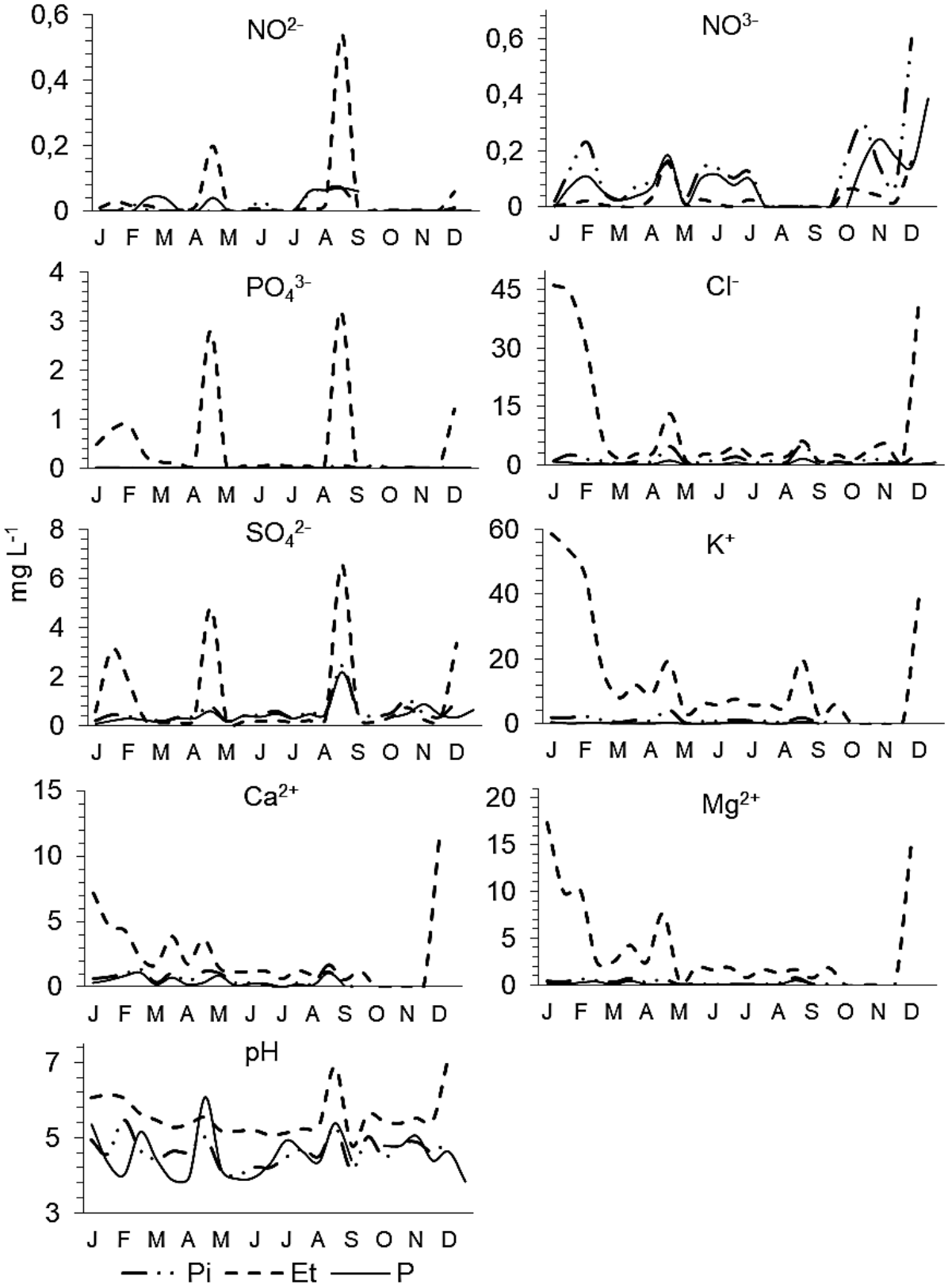
4.2.2 Concentração dos íons

O pH médio foi de 4,57; 4,64 e 5,54 para precipitação incidente, interna e escoamento pelo tronco (Figura 5). De acordo com Charlson and Rodhe (1982), valores inferiores a 5,6 podem ser considerados ácidos. Nota-se ainda que a medida em que a água escorre por entre as folhas, galhos, tronco e casca, carrega consigo cátions básicos, aumentando por consequência o pH da solução aquosa.

Os resultados mostram a capacidade de neutralizar o pH da água da precipitação pluviométrica a medida em que a mesma interage com o dossel do povoamento. Crockford, Richardson e Sageman (1996) encontraram pH de 5,66 e 5,30 para precipitação interna e incidente respectivamente. Segundo Miller (1984) esses resultados sugerem a absorção de íons de hidrogênio pela superfície da vegetação.

A ordem dos teores dos íons na precipitação pluviométrica incidente foi: SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Cl^- > K^+ > Mg^{2+} > NO_3^- > NO_2^- > PO_4^{3-}. Na precipitação interna: Cl^- > K^+ > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > Mg^{2+} > NO_3^- > NO_2^- > PO_4^{3-}. Escoamento pelo tronco: K^+ > Cl^- > Mg^{2+} > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > PO_4^{3-} > NO_2^- > NO_3^- .

Figura 5 - Concentração dos Íons (mg L^{-1}) e pH, para precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et).



Os íons Mg^{2+} e Ca^{2+}, tiveram correlação de *Pearson* de: 0.91; 0.89 e 0.57 para precipitação incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco respectivamente. Salve et al., 2008 avaliando a composição química da água da chuva em Maharashtra na Índia encontraram r = 0,95. Os autores sugerem que essa elevada correlação se deve a ocorrência de origem crostal.

Tabela 9 - Análise de correlação de Pearson entre os íons na precipitação incidente (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et) em povoamento de *Eucalyptus dunnii.*

	$P_{(mm)}$	pH	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
$P_{(mm)}$	1									
pH	-0,27	1								
NO_2^-	-0,31	0,98***	1							
NO_3^-	-0,36	-0,17	-0,01	1						
PO_4^{3-}	-0,28	-0,11	0,06	0,95***	1					
Cl^-	-0,42	-0,18	-0,03	0,89***	0,91***	1				
SO_4^{2-}	-0,27	-0,08	-0,12	-0,23	-0,21	0,09	1			
K^+	0,00	-0,04	-0,06	0,08	-0,05	-0,07	0,05	1		
Mg^{2+}	-0,28	1,00***	0,99***	-0,11	-0,05	-0,14	-0,11	-0,03	1	
Ca^{2+}	-0,26	0,91***	0,90***	-0,14	-0,05	-0,07	0,03	-0,15	0,91***	1
	$Pi_{(mm)}$	pH	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	C^{l-}	SO_4^{2-}	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
$Pi_{(mm)}$	1									
pH	-0,26	1								
NO_2^-	-0,35	0,92***	1							
NO_3^-	-0,36	-0,19	0,19	1						
PO_4^{3-}	-0,27	-0,12	0,27	0,95***	1					
Cl^-	-0,54*	-0,26	-0,06	0,52*	0,50*	1				
SO_4^{2-}	-0,32	0,03	-0,06	-0,28	-0,24	0,52*	1			
K^+	-0,04	-0,05	-0,08	0,05	-0,06	-0,11	0,02	1		
Mg^{2+}	-0,27	1,00***	0,95***	-0,12	-0,05	-0,24	0,01	-0,03	1	
Ca^{2+}	-0,34	0,89***	0,89***	0,01	0,08	0,08	0,18	-0,18	0,89***	1
	$Et_{(mm)}$	pH	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	C^{l-}	SO_4^{2-}	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
$Et_{(mm)}$	1									
pH	0,15	1								
NO_2^-	-0,30	-0,91***	1							
NO_3^-	-0,32	-0,67***	0,51*	1						
PO_4^{3-}	-0,47*	0,26	-0,01	0,13	1					
Cl^-	-0,34	0,29	-0,15	-0,04	0,26	1				
SO_4^{2-}	-0,48*	0,29	0,03	-0,04	0,95***	0,31	1			
K^+	-0,31	0,44*	-0,25	-0,18	0,34	0,97***	0,39	1		
Mg^{2+}	-0,30	0,35	-0,21	-0,14	0,24	0,91	0,25	0,90***	1	
Ca^{2+}	-0,42	-0,45*	0,60**	0,31	0,14	0,59**	0,15	0,53*	0,57**	1

Nível de significância: * – $p<0.05$; ** – $p<0.01$; *** – $p<0.001$.

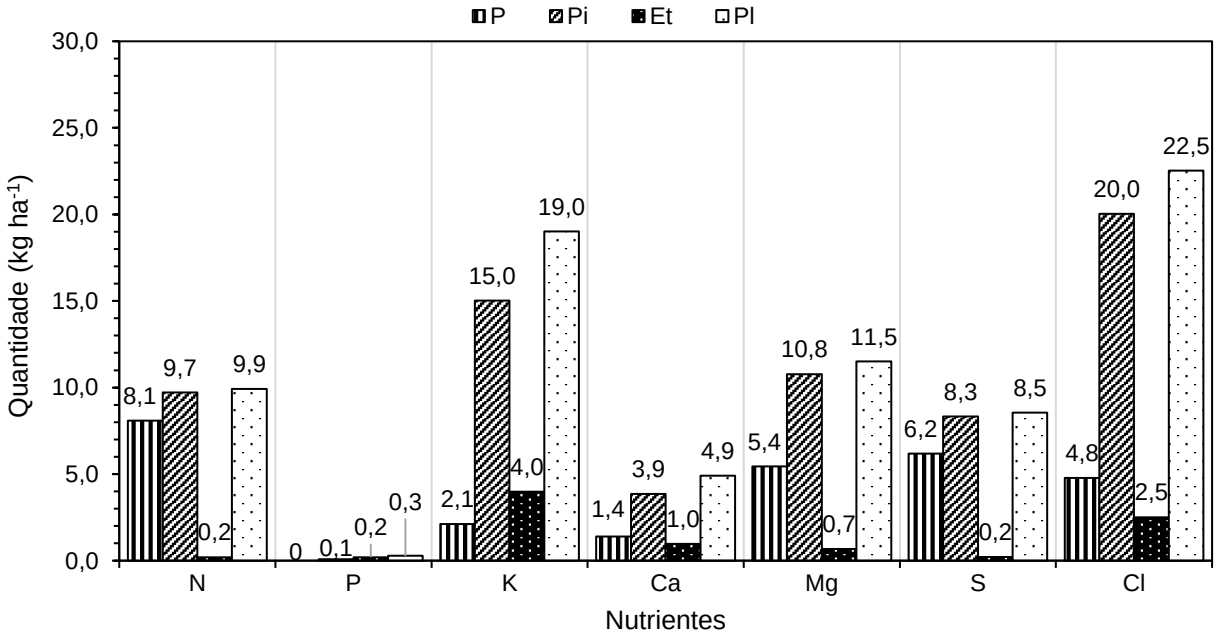
O pH teve correlação 1,00 e 0,89 com os íons Mg^{2+} e Ca^{2+} na precipitação interna. Esses achados sugerem que a lixiviação dos tecidos vegetais, ao carrear cátions básicos, tornam-se responsáveis por neutralizar o pH proveniente da precipitação incidente.

4.2.3 Fluxo de nutrientes

A quantidade total dos íons foram de 28; 67,8 e 8,8 kg ha^{-1} para precipitação incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco respectivamente. A diferença entre a precipitação líquida pela precipitação incidente ((Pi + Et) – P) é de 48,6 kg ha^{-1}, que representa por sua vez um enriquecimento de 173,6 % do total de íons aportados após interação com o povoamento.

A quantidade total aportada na precipitação líquida foi de 76,6 kg ha^{-1}, desses, 54,2 % são de Cl^- + K^+ (FIGURA 6). A diferença de K^+ que entra pela precipitação líquida pela precipitação incidente, mostra um aumento de 16,9 kg ha^{-1}, ou seja, 805 % de enriquecimento. O mesmo comportamento foi observado para Mg^{2+} e Cl^-, no qual a interação com a copa foi responsável pelo enriquecimento em 113 e 369 % respectivamente.

Figura 6 - Quantidade de nutrientes (kg ha^{-1}) para precipitação pluviométrica incidente (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e precipitação líquida (Pl).



Em média, 46,7 % dos nutrientes provém da precipitação incidente e 53,3% pela interação com a biomassa (Tabela 10). Observa-se ainda que 79,9 e 74,6 % de Ca^{2+} e SO^{2-}_4, são oriundos da precipitação incidente. Quando analisamos isoladamente a precipitação liquida, constatamos que 88% dos nutrientes são oriundos da precipitação interna e de apenas 12% pelo escoamento pelo tronco.

Calil et al., (2010) encontraram uma entrada de nutrientes pela precipitação incidente de 102,1 kg ha^{-1}, desses, cerca de 40 % de SO^{2-}_4. No presente estudo, o total foi de apenas 44,2 kg ha^{-1}, desses, 30 % de SO^{2-}_4. O maior aporte de SO^{2-}_4 por Calil et al., (2010) se deve a existência de emissões de poluentes por meio da queima de carvão mineral na termoelétrica de Candiota. De acordo com Rótulo, (2003), a usina não possuía sistema de filtros adequados, o que ocasionou a elevada emissão de SO_4.

Tabela 10 - Percentual dos elementos químicos na precipitação incidente (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e enriquecimento.

Partição	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	Média
			(%)			
P	16,3	79,9	29,6	74,6	32,9	46,7
Pi	81,3	92,7	82,5	98,1	85,4	88,0
Et	18,7	7,3	17,5	1,9	14,6	12,0
Enriquecimento = (Pi + Et) - P	83,7	20,1	70,4	25,4	67,1	53,3

Migliavacca et al., (2005) em estudo desenvolvido na região de Candiota encontraram índices de pH levemente ácidos 4,0 - 5,6. A análise fatorial apresentou ainda possível contribuição de sais marinhos influindo nos teores de Cl^- e Mg^{2+}. A análise apontou ainda influências antropogênicas principalmente para os íons SO_4^{2-} e K^+. Em nosso estudo, o pH médio foi de 4,5; 4,7 e 5,6 para precipitação incidente, interna e escoamento pelo tronco, indicando leve acidez.

Um modelo de previsão foi apresentado durante CLRTAP, o Protocolo de Gothenburg (FAGERLI et al., 2006), mostrou que em 1990 diversas áreas da Europa apresentavam deposição de S superior a 30 kg ha^{-1}. Em 2004, apenas parte da Europa possuía deposição superior a 10 kg ha^{-1}. Esses resultados são pertinentes á redução das emissões de particulados pela melhor eficiência dos filtros, portanto, para o estudo desenvolvido por Calil et al., (2010), as quantidades estavam acima da média.

A água da chuva ao interagir com o dossel é enriquecida principalmente com K^+, Mg^{2+} e Cl^-. Na Tabela 11 está sendo comparada a relação P/Pi (precipitação/precipitação interna) e P/Et (precipitação/escoamento pelo tronco) para as concentrações de íons encontrados no presente estudo com o de outros trabalhos. Relações < 1, indicam que há aumento dos teores após passagem pela copa. Apenas SO_4^{2-} apresentou relação > 1, (1,11) para o escoamento pelo tronco. Sulfato (SO_4^{2-}) é formado após a absorção de SO^2 pelas nuvens ou gotas de chuva, seguido de oxidação em fase aquosa (VUJOVIĆ e MILIĆ-PETROVIĆ, 2016), isso explica os maiores teores. Para Laclau et al., (2003) e Laclau et al., (2010) valores > 1 foram observados para Ca^{2+} na precipitação interna que foi de 1,01 e 1,39 respectivamente.

Tabela 11 - Relação das concentrações da precipitação incidente com a precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et) com outros estudos.

	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	Autor
Pi	0,18	0,78	0,32	0,69	0,34	1
Et	0,02	0,30	0,04	1,11	0,06	
Pi	0,35	1,01	0,30	0,81	0,73	2
Et	0,09	0,48	0,05	0,30	0,16	
Pi	0,24	0,66	0,40	-	-	3
Et	0,04	0,05	0,05	-	-	
Pi	0,04	0,09	0,17	-	-	4
Et	0,02	0,06	0,19	-	-	
Pi	0,16	0,77	0,64	0,70	0,84	5
Et	0,12	0,37	0,35	0,30	0,54	
Pi	0,23	0,47	0,43	0,39	0,68	6
Et	0,11	0,18	0,19	0,12	0,43	

1- Autor (*E. dunnii*)
2- Laclau et al., 2003 (*Eucalyptus* sp.);
3- Balieiro et al., 2007 (*E. grandis*);
4- Dezzeo e Chacón, 2006. (Floresta primaria);
5- Caggiano et al., 2014. (*Fagus sylvatica* L.);
6- Caggiano et al., 2014. (*Picea abies* L.).

Laclau et al., (2010) avaliando a entrada de cloro + potássio na precipitação interna e escoamento pelo tronco encontraram 7,0 e 5,8 kg ha^{-1} em Itatinga - Brasil e Kondi – Congo respectivamente. No presente estudo as quantidades foram bastante superiores 31,5 kg ha^{-1} para precipitação interna + escoamento pelo tronco. Salehi et al., (2016) encontraram valores mais aproximados, 36,3 kg ha^{-1}.

A alteração química da precipitação interna deve-se a lixiviação das estruturas das plantas (folhas, casca...), somada a dissolução de aerossóis e de partículas depositadas sobre o dossel florestal (LINDBERG e LOVETT, 1985; LACLAU et al., 2003). Salehi et al. (2016) também mostraram que a composição da copa em povoamentos de Fago oriental obteve grande influência no fluxo de nutrientes da precipitação interna. Caggiano et al. (2014) encontraram um aumento nos teores de K^+ na precipitação interna: 572 e 486 % para *Fagus sylvatica* L. e *Picea abies* L., em relação a precipitação incidente.

Calil et al. (2010) estudaram as entradas de nutrientes via precipitação no sudeste do Rio Grande do Sul. A precipitação média dos dois anos avaliados foi de 1588 mm, cerca de 12% superior ás médias históricas para a região. A correlação de *Pearson* para os autores mostrou que quando os volumes de chuva são maiores, as concentrações médias dos íons diminuem consideravelmente (correlação negativa). Esse comportamento foi observado em nosso estudo e está relacionado ao efeito de diluição das partículas depositadas e em suspenção.

5 CONCLUSÔES

As variáveis climáticas temperatura, radiação solar e evapotranspiração possuem forte influência no padrão de deposição de serapilheira, mostrando que a mesma possui caráter sazonal.

A serapilheira produzida é uma importante fonte de matéria orgânica e de nutrientes ao solo. A fração foliar foi a mais representativa em termos de quantidade de biomassa e aporte de nutrientes ao solo.

Cerca de 9 % da precipitação é interceptado pela copa das árvores e posteriormente devolvida à atmosfera.

O dossel florestal é capaz de neutralizar o pH da precipitação incidente por meio da absorção dos íons H e liberação de cátions básicos.

A entrada de nutrientes total pela precipitação após interação com o dossel foi cerca de 3 vezes maior quando comparado com as entradas em área aberta. O ciclo biogeoquímico sobressaiu em pouco mais de três vezes o ciclo geoquímico em termos de quantidade de nutrientes aportado, 223 kg ha^{-1} e 68,7 kg ha^{-1} respectivamente. Se considerarmos a soma das entradas pelos dois ciclos, 291,96 kg ha^{-1}, concluímos que as mesmas são importantes fontes para manutenção da capacidade produtiva especialmente em solos de baixa fertilidade natural.

6 RECOMENDAÇÕES

O custo de fertilizantes químicos tem aumentado nos últimos anos, resultado de um conjunto de fatores. As oscilações do mercado (câmbio), aumento da procura ocasionada pelas elevadas produtividades e por ser considerado um recurso natural cada vez mais escasso tem sido os responsáveis por esse aumento.

Com base no monitoramento realizado, houve a entrada de 8,1 kg ha^{-1} de N pela precipitação pluviométrica incidente. Uma simulação de rotação que leva em conta 8 anos, apresenta portanto uma entrada de 64,8 kg ha^{-1} de N ou o equivalente a 144 kg ha^{-1} de ureia que é aplicada parceladamente com as precipitações pluviométricas.

Por ocasião do plantio, foram aplicados 133 kg ha^{-1} de ureia parcelada em 3 vezes no primeiro ano. No presente estudo, 17,6 kg ha^{-1} de ureia foram aportados pluviométricamente no mesmo período, dessa forma, sugere-se uma redução de 13,2 % da aplicação de nitrogênio. Assim, podemos realizar um manejo mais racional levando em conta a redução da aplicação de fertilizantes químicos, maximizando os recursos financeiros e causando menor impacto ao ambiente.

A colheita florestal remove significativas quantidades de biomassa e nutrientes. Dependendo do manejo, além da madeira comercial, outros compartimentos podem ser exportados como é o exemplo da casca. Por isso, torna-se essencial a quantificação da biomassa e os nutrientes abaixo e acima do solo. Esses estudos visam a manutenção da capacidade produtiva por meio da reposição da quantidade de nutrientes exportada pela colheita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRITEMPO. **Dados meteorológicos – Alegrete**. Campinas, 2018. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>. Acesso em: 08 mai. 2018.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ANDRÉ, F.; JONARD, M.; PONETTE, Q. Effects of biological and meteorological factors on stemflow chemistry within a temperate mixed oak-beech stand. **Science of the Total Environment**, n. 393, p. 72–83, 2008.

ANNA, I.; JAROSLAW, K. Hydrological properties of bark of selected forest tree species. Part I: the coefficient of development of the interceptation surface of bark. **Trees,** v. 28, p. 831-839, 2014.

APHA **- Standard methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C. 19th ed. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2005**. Brasília: ABRAF, 2006. 120p.

BALIEIRO, F.C. et al. Evaluation of the throughfall stemflow nutrient contents in mixed and pure plantations of *Acacia mangium, Pseudosamenea guachapele* and *Eucalyptus grandis.* **Revista Árvore**, v.31, n.2, p.339-346, 2007.

BELLOTE, A. F. G.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantios de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira.** n. 56, p. 31-41, 2008.

BHAT, S.; JACOBS, J.; BRYANT, M. The chemical composition of rainfall and throughfall in five forest communities: a case study in Fort Benning, Georgia. **Water, Air, & Soil Pollution,** v. 218, p. 323 – 332, 2011.

BIANCHIN, J.E. et al. Deposição de Fitomassa em formações secundárias na Floresta Atlântica do Paraná. **Floresta e Ambiente,** v. 23, n. 4, p. 524-533, 2016.

BOLAND, D. J. et al. **Forest trees of Australia**. Melbourne, 1984. p. 180-196.

BORMANN, H.F.; LIKENS, G.E. The nutrient cycles of an ecosystem. **Scientific American**, v. 233, p. 92-101, 1970.

BRONDANI, G.E. et al. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*: (II) sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.3, p. 453-465 jul-set., 2010.

BROOKER, M.I.H.; KLEINIG, D.A. **Field guide to** *Eucalyptus.* Inkata Press, Sydney, 1994. 383 p.

BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. Field data collection and analysis of canopy and litter interception in commercial forest plantations in the KwaZulu-Natal Midlands, South Africa. **Hydrology Earth System Science***,* v. 16, n. 10, p. 3717 - 3728, 2012.

CAGGIANO, R. et al. An assessment of rainfall modification in mountainous ecosystems dominated by *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L.) Karst. (Western Balkans, Bulgaria) by multivariate analyses. **European Journal Research**, v. 133, p. 699-711, 2014.

CALDER I. R. Dependence of rainfall interception on drop size a replay to the comment by Uijlenhoet and Sticker. **Journal Hydrology,** v. 217, p. 164–165, 1999.

CALIL, F. N. et al. Ion input via rainwater in the southern region of Rio Grande do Sul, Brazil. **Cerne,** v.16, n.3, p.373-380, 2010.

CARLYLE-MOSES, D. E; LISHMAN, C. E.; MCKEE, A. J. A preliminary evaluation of throughfall sampling techniques in a mature coniferous forest. **Journal of Forestry Research.** v. 25, n.2, p. 407 – 413. 2014.

CHARLSON, R.J.; RODHE, H. Factors controlling the acidity of natural rainwater. **Nature** v. 295, p. 683–685, 1982.

CORRÊA, R.S.; SCHUMACHER, M.V.; MOMOLLI, D.R. Deposição de serapilheira e macronutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sobre pastagem natural degradada no Bioma Pampa. **Scientia Forestalis,** v. 41, n. 97, p. 65 - 74, 2013.

CORRÊA, R.S.; SCHUMACHER, M.V.; MOMOLLI, D.R. Deposição de serapilheira e micronutrientes ao longo das estacoes do ano em um plantio de eucalipto estabelecido sobre pastagem natural degradada no bioma pampa. **Scientia Forestalis***,* v. 44, p. 435 – 442, 2016.

CORREIA, G. G. S. et al. Estoque de serapilheira em Floresta em restauração e em Floresta Atlântica de tabuleiro no sudoeste brasileiro. **Revista Árvore**, v.40, n.1, p.13-20, 2016.

CROCKFORD, R. H;, RICHARDSON, D. P.; SAGEMAN, R. Chemistry of rainfall, throughfall and stemflow in a eucalypt forest and a pine plantation in south-eastern Australia: 2. Throughfall. **Hydrological Processes**, v. 10, n. 1, p. 13–24, 1996. doi:10.1002/(sici)1099-1085(199601)10:1<13::aid-hyp296>3.0.co;2-5

DEZZEO, N.; CHACÓN, N. Nutrient fluxes in incident rainfall, throughfall, and stemflow in adjacent primary and secondary forests of the Gran Sabana, Southern Venezuela. **Forest Ecology and Management**. v. 234, p. 218 – 226, 2006.

DIAS, H. C. T. et al. Variação temporal de nutrientes na serapilheira de um fragmento de floresta estacional semidecidual em Lavras, Minas Gerais - Brasil. **Cerne***,* n. 8, p. 1-16, 2002.

DICK, G.; SCHUMACHER, M.V.; MOMOLLI, D.R. Caracterização da fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no bioma Pampa do Rio Grande do Sul. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria - RS, v.4, n.3, p.68-77, 2016.

DICK, G. et al. Micronutrients and biomass in *Eucalyptus dunnii* Maiden stand. **Revista Árvore.** v. 41, n. 1, e410113, 2017.

DUNKERLEY, D. Stemflow on the woody parts of plants: dependence on rainfall intensity and event profile from laboratory simulations. **Hydrology Process**. V. 28, p. 5469–5482, 2014.

EATON, J. S.; LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. **Journal Ecology**. v. 61, p. 495-508, 1973.

FAGERLI, H., SPRANGER, T., POSCH, M., 2006. Chapter 3: acidification and eutrophication e progress towards the Gothenburg protocol target year 2010. In: **Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe since 1990 to 2004.** Norwegian Meteorological Institute, Oslo. EMEP Status Report 1/ 06, available from: http://emep.int/publ/reports/2006/status_report_1_2006__ch.pdf.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Licença de instalação: LI N° 465/2008-DL**. Porto Alegre, 8 maio 2008. 6p.

FERREIRA, M. A aventura dos Eucaliptos. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil.** Santa Maria, Ed. UFSM. 2015. 308p.

FERREIRA, R. L. C. et al. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* benth.). **Revista Árvore** 2007; 31(1): 7-12. http://dx.doi.org/10.1590/ S0100-67622007000100002

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003.

FLORES, T. B. et al. ***Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação.** Piracicaba: IPEF. 2016. 448p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global Forest Resources Assessment 2015**: Main Report. FAO Forestry Paper 253. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy.

FREITAS, E. C. S. et al. 2013. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 409-417, 2013.

GASPAROTO, E. A. G. Throughfall in different forest stands of Iperó, São Paulo. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 303-310, 2014.

GEBAUER, R. L. E.; EHLERINGER, J. R. Water and nitrogen uptake patterns following moisture pulses in a cold desert community**. Ecology**, v. 81, p. 1415–1424, 2000.

GERRITS, A. M. J.; SAVENIJE, H. H. G. Interception. In: PETER, W. **Treatise on Water Science**, 2. Oxford: Academic Press, p. 89–101, 2011.

GLENCROSS, K. Growth response to thinning in two subtropical hardwood species. **Technical Report 217**. Cooperative Research Centre for Forestry, Hobart. 2011.

GLENCROSS, K. et al., Basal area increment is unaffected by thinning intensity in Young *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia variegata* plantations across different quality sites. **Forest Ecology and Management.** v. 318, p. 326–333, 2014.

GONÇALVES, J. L. M. et al. **Efeito de práticas de cultivo mínimo e intensivo do solo sobre a ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, configuração do sistema radicular e nutrição mineral de povoamentos de *Eucalyptus grandis*.** 1997. 94 p. (Final Research Report, FAPESP, process n. 1994/4248-4).

GOLÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed). **Nutrição e Fertilização Florestal.** IPEF, Piracicaba – SP, 2000, 427p.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (eds.).
Nutrição e fertilização florestal. n. 1, p. 1-57, 2005.

GONZÁLEZ-RODRÍGUES, H. et al. Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in diferent locations at northeastern Mexico. **Plant Ecology.** n. 212, p. 1747 – 1757, 2011.

GUTIERREZ, G.L. **Atlas des eucalipto**. Sevilla, v. 1,1976,

HIGA, R. C. V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* atingidos por geadas em Campo do Tenente, Paraná.** 1998. 100 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HIGA, R.C.V. et al., Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden, plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim Pesquisa Florestal,** Colombo, n. 40, jan./jun, p.67-76, 2000.

HÖRMANN, G. et al. Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 79, n.3, p. 131 – 148, 1996.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2017: ano base 2016**. Brasília: IBÁ, 2017. 80p.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Chave de Identificação de Espécies Florestais. Disponível em: //www.ipef.br/identificação/cief/espécies/dunnii.asp. Acesso em: 11/06/2018.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Produção de painéis compensados multilaminados de *Eucalyptus.* Remada – **Revista da Madeira**. Março, 2008. Disponível em http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1227&amp%3Bsubject=E. Acesso em: 11 jun. 18.

JIMÉNEZ, M. N.; NAVARRO, F. B. Monthly foliar-nutrient pattern in a semiarid Aleppo pine plantation five years after thinning. **Forest Ecology and Management**. v. 343, n. 1, p. 63-72, 2015.

JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J. Double-funneling of trees: stemflow and root-induced preferential flow. **Ecoscience,** v. 13, p. 324 – 333, 2006.

JUNIOR, L. S.; WENDLING, I. V. Propagação vegetativa de *Eucalyptus dunnii* via miniestaquia de material juvenil. **Boletim Pesquisa Florestal,** Colombo, n, 46, p. 21-20, 2003.

KANGHO, J.; CHANG, S. X.; ARSHAD, M. A. Effects of canopy deposition interaction on H^+ supply to soils in *Pinus banksiana* and *Populus tremuloides* ecosystems in the Athabasca oil sands region in Alberta, Canada. **Environmental Pollution** v.159, p. 1327–1333, 2011.

KEIM, R. F.; SKAUGSET, A. E.; WEILER, M. Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity. **Advences in Water Resources**, n. 29, p. 974–986, 2006.

KÖNIG, F. G. et al. Devolução de nutrientes via serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual no município de Santa Maria, RS. **Brasil Florestal**, 72:45-52, 2002.

LACLAU, J. P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo 1. Chemical composition of rainfall, throughfall and stemflow solutions. **Forest Ecology and Management**. n. 176, p.105-119, 2003.

LACLAU, J. P. et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management** v. 259, p. 1771–1785, 2010.

LARCHER, W. Physiological plant ecology. Insbruck: Springer-Verlag, 1983.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. Variation of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 30, p. 605-632, 2006.

LEVIA D. F.; KEIM, R.F.; CARLYLE-MOSES, D.E.; FROST, E. E.. 2011. Throughfall and stemflow in wooded ecosystems. In: **Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions**, LEVIA, D.F., CARLYLE-

MOSES, D.E.; TANAKA, T. (eds). Ecological Series 216, Springer- Verlag: Heidelberg, Germany; 425–444.

LI, Y. Canopy interception loss in a *Pinus sylvestris* var. *Mongolica* forest of Northeast China. **Journal of Arid Land**. v.7, n.6, p. 831-840, 2015.

LIMA, W. P., 1976. Interceptação da chuva em povoamento de eucalipto e de pinheiro. **IPEF** 13, p. 75–90.

LIMA, S. S. Serapilheira e teores de nutrientes em argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. **Revista Árvore**, n. 34, p. 75–84, 2010.

LINDBERG, S. E.; LOVETT, G. M. 1985. Field measurements of particle dry deposition rates to foliage and inert surfaces in a forest canopy. **Environmental Science & Technology,** v. 19, n.3, p. 228-244.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, 335, 37–54, 2007.

LOPES, J. F. B. et al. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. **Revosta Agroambiente**, v.3, n.2, p.72-79, 2009.

LOPES, J. L. W. Nutrição mineral de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e substratos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, n. 1, p. 713-722, 2007.

LUDVICHAK, A. A. et al. Devolução de nutrientes através da serapilheira produzida em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden em solo arenoso. **Revista Árvore**. v. 40, n.6, p. 1051-1058, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000600009.

MALYSZ, M. et al., Desinfestação e micropropagação de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Perspectiva,** Erechin, v.35, n.131, p. 69-77, setembro/2011.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 3, p. 405-412, 1999.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, Academic Press, San Diego, Calif, USA, 3rd edition, 2012, 672p.

MCCLAIN, M. E. Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems. **Ecosystems,** n. 6, p. 301–312, 2003.

MIGLIAVACCA, D. M. Composição química da precipitação atmosférica no sul do Brasil - Estudo preliminar. **Quimica Nova**, v. 28, n. 3, p. 371-379, 2005.

MILLER, H. H. Deposition-plant-soil interactions. **Philosophical Transactions Royal Society**, 305, p. 339-352, 1984.

MIYAZAWA, M. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Cap 4, p. 171-224, 1999.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** São Paulo: SBS, 2000. 112p.

MORETTI, B. S. Growth and mineral nutrition in seedlings of Australian cedar (*Toona ciliata*) subjected to nutrient deprivation, **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 453–463, 2011.

MOTTA, A. C. V. **Micronutrientes na rocha no solo e na planta.** Curitiba, 1ed. 2007, 246p.

NAVAR, J.; GONZALEZ, J. M.; GONZALEZ, H. Gross precipitation and throughfall chemistry in legume species planted in Northeastern Mexico. **Plant Soil**, n. 318, p. 15–26, 2009.

NAVAR, J. Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: Its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. **Journal of Hydrology**, n. 408, p. 35–42, 2011.

NAVROSKI, M. C. et al., *In vitro* ESTABLISHMENT AND MULTIPLICATION OF GENOTYPES OF *Eucalyptus dunnii* MAIDEN. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 139-146, 2014.

OKU, E.; IWARA, A.; EKUKINAM, E. Effects of age of Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) plantation on pH, organic carbon, organic matter, nitrogen and micronutrients status of Ultisols in the Humid Forest Zone. **National Science,** v. 46, n. 1, p. 684-693, 2012.

PALUDZYSZYN, E. F.; SANTOS, P. E. T. Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii* no estado do Paraná. Colombo. **Embrapa Floresta**. Comunicado Técnico 141, 2005.

PARKER, G.G., 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutriente cycle**.** **Advances in Ecological Research**. 13, 57-120.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP. 2008, 407p.

PREUHSLER, T.; BASTRUP-BIRK, A.; BEUKER, E. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests – Part VII: **Meteorological Measurements**. 32p, 2006.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. Relação entre os teores totais e a fração hidrossolúvel dos elementos K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn E Al em folhas de erva-mate (*Ilex paraguarienses* St. Hil.). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.37, n.4, p. 959-971, 1994.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed). **Relação solo-planta.** Viçosa: Folha de Viçosa. p. 265-301, 1990.

RICHARDSON, J. B.; PETRENKO, C. L.; FRIEDLAND, A. J. Base cations and micronutrients in forest soils along three clear-cut chronosequences in the Northeastern United States. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 109, n. 1, p. 161–179, 2017. DOI: 10.1007/s10705-017-9876-4.

RODRIGUES SUAREZ, J. A.; DIAZ-FIERROS, F.; PEREZ, R.; SOTO, B. Assessing the influence of afforestation with *Eucalyptus globulus* on hydrological response from a small catchment in northwestern Spain using the HBV hydrological model. **Hydrological Processes**, v. 28, p. 5561–5572, 2014.

RÓTULO, D. Negociação e Implementação de Acordos de Poluição Transfronteiriça: O Caso Brasil-Uruguai em Relação à Termelétrica de Candiota (RS), 2003. Tese (Doutorado em Administração) - Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro.

SALEHI, M. et al. Seasonal variations of throughfall chemistry in pure and mixed stands of Oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) in Hyrcanian forests (Iran). **Annals of Forest Science**, v. 73, p. 371–380, 2016. DOI 10.1007/s13595-015-0525-2.

SALVE, P. R.; MAURYA, A.; WATE, S. R.; DEVOTTA, S. Chemical Composition of Major Ions in Rainwater. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 80, n. 3, p. 242–246, 2008. doi:10.1007/s00128-007-9353-x.

SANTANA, J. A. S. 2005. **Estrutura fitossociológica, produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de Caatinga no Seridó do Rio Grande do Norte.** 184f. Tese – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

SBCS-CQFS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11ª ed. Solo – Núcleo Regional Sul. Porto Alegre. 2016, 376 p.

SCHRUMPF, M. et al. Biogeochemistry of an afrotropical montane rain forest on Mt. Kilimanjaro, Tanzania. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 22, p. 77-89, 2006.

SCHUMACHER, M. V. et al. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* Maidenii. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 501-508, 2013.

SCHUMACHER, M.V.; VIERA, M. Ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M.V.; VIERA, M. (Org). **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Ed. UFSM, Santa Maria – RS. 2015. 308p.

SHI, et al., Genetic variation and gains for two generations of *Eucalyptus dunnii* in China. **Australian Forestry**, 79:1, 15-24, 2016. DOI: 10.1080/00049158.2015.1086720

SIEGERT, C. M. et al. Small-scale topographic variability influences tree species distribution and canopy throughfall partitioning in a temperate deciduous forest. **Forest Ecology and Management,** 359, p. 109-117, 2016.

SILVA, M. D. Os cultivos florestais do pampa, no sul do Rio Grande do sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 215 - 226, 2012.

SILVA, P. H. M. et al. Fertilizer management od eucalypt plantations on Sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, v. 301, n. 1, p. 67-78. 2013.

SMITH, H. J.; HENSON, M. Achievements in forest tree genetic improvement in Australia and New Zealand. 3: *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Australian Forestry**, n. 70, p. 17-22, 2007.

SOBRADO, M. A. Relationship between leaf micro- and macro-nutrients in top canopy trees in a mixed forest in the upper Rio Negro in the Amazon region. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n.1, p. 1423 – 1431, 2014.

SOTO-SCHÖNHERR, S.; IROUMÉ, A. How much water do Chilean forests use? A review of interception losses in forest plot studies. **Hydrological Processes**. n. 30, p. 4674–4686, 2016.

SOUSA, V. A.; HIGA R. C. V. Fenologia de florescimento e frutificação de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22/23, p. 9-19, 1991.

SULINSKI, J.; STARZAK, R.; KUCZA, J. Weryfikacja wzoru wyra_ zaja¸cego intercepcje¸ drzew w zale_znos´ci od nate¸ _zenia i czasutrwania opadu deszczu w warunkach eksperymentalnych. **Acta Agraria et Silvestria**, v. 39, p. 3–16, 2001.

SUPANGAT, A. B. et al. Study of Rainfall Interception at *Eucalyptus pellita* Plantation Forest in Riau. **AGRITECH**, v. 32, n. 3, 2012.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first twenty years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, n.1, p.43-147, 1972.

THOMAS, D. et al. Growth and wood quality of plantation grown *Eucalyptus dunnii.* **ANZIF Conference**, Coffs Harbour. NSW, 2007.

THOMAZ, E. L.; ANTONELLI, V. Rain interception in a Secondary fragment of Araucaria forest with faxinal, Guarapuava - PR. **Cerne**, v. 21 n. 3, p. 363-369, 2015. DOI. 10.1590/01047760201521031736.

VIERA, M. et al., Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, v.20, n. 4, p. 611 – 619, 2010.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 225-233, 2010a.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e pluviosidade. **Revista Árvore,** v. 34, p. 85 – 94, 2010b.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Variação mensal da deposição de serapilheira em povoamento de *Pinus taeda* L. em área de campo nativo em Cambara do Sul - RS. **Revista Árvore,** v. 34, n. 3, p. 487-494, 2010c http:// dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000300012

VIERA, M. et al. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

VUJOVIĆ, D.; MILIĆ-PETROVIĆ, B. Analysis of bulk precipitation chemistry in Serbia for the period from 1982 to 2010. **Journal of Atmospheric Chemistry,** v. 73, p. 101-116, 2016. https://doi.org/10.1007/s10874-015-9318-0.

WANG, X. P. et al. Influence of shrub canopy morphology and rainfall characteristics on stemflow within a revegetated sand dune in the Tengger Desert, NW China. **Hydrological Processes**, v. 27, p. 1501–1509, 2013.

WANG, X. P. et al. Desert shrub stemflow and its significance in soil moisture replenishment. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 561–567, 2011.

XIAO, Q, MCPHERSON, E.G. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. **Urban Ecosystems**, v. 14, p. 755–769, 2011.

ZHANG, H. et al. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. **Ecological complexity**, v. 20, n. 1, p. 240 – 247, 2014.

ZHANG, Y. F. et al. Stemflow in two xerophytic shrubs and its significance to soil water and nutrient enrichment. **Ecological Research**, v. 28, p. 567–579, 2013.

ZHANG, Y. F. et al. Variations of Nutrients in Gross Rainfall, Stemflow, and Throughfall Within Revegetated Desert Ecosystems. **Water Air Soil Pollution**, v. 227, 183, 2016.

ZIMMERMANN, A.; WILCKE, W.; ELSENBEER, H. Spatial and temporal patterns of throughfall quantity and quality in a tropical montane forest in Ecuador. **Journal of Hydrology**. v. 343, p. 80-96, 2007.

ZIMMERMANN, A.; ZIMMERMANN, B. Requirements for throughfall monitoring: the roles of temperate scale and canopy complexity. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 189-190, p.125–139, 2014. doi:10.1016/j.agrformet.2014.01.014.