

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

**CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DE NUTRIENTES EM
Eucalyptus dunnii Maiden EM UMA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL DO BIOMA PAMPA**

TESE DE DOUTORADO

Julio César Medeiros da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2014

CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DE NUTRIENTES EM
Eucalyptus dunnii Maiden **EM UMA MICROBACIA**
HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL DO BIOMA PAMPA

Julio César Medeiros da Silva

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em
Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DE NUTRIENTES EM
Eucalyptus dunnii Maiden EM UMA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL DO BIOMA PAMPA**

elaborada por

Julio César Medeiros da Silva

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Walter de Paula Lima, Dr. (ESALQ/USP)

Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)

Ivanor Müller, Dr. (UFSM)

Márcio Viera, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 04 de Setembro de 2014.

***"Sábio é aquele que conhece
os limites da própria ignorância".***

Sócrates

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos e esposa

Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Florestal Prof. Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher pela amizade, compromisso e tempo despendido na orientação deste trabalho.

À UFSM e ao PPGEF por oportunizar-me a obtenção do grau de doutor em Engenharia Florestal.

À Stora Enso S.A. na pessoa do Diretor Florestal, Engenheiro Florestal João Fernando Borges pela flexibilização de horário, utilização de dados de pesquisa, local para instalação de experimentos e oportunizar-me esta atividade de pesquisa.

Aos acadêmicos de Engenharia Florestal Dione Richer Momoli e Franciele de Bastos e Pós-graduandas Grasielle Dick, Catarine Barcelos Consensa e Aline Aparecida Ludvichak pela colaboração irrestrita na elaboração desta tese.

Aos Engenheiros Florestais Prof. Dr. Robson Schaeff Corrêa, Dr. Vicente Guilherme Lopes, M. Scs. Rudi Witschoreck e Claudiney do Couto Guimarães pela parceria e colaboração na elaboração da presente tese.

Aos funcionários do Laboratório de Ecologia Florestal, responsáveis pelas análises químicas, Vitor, Cristiano e equipe.

Aos membros do comitê de orientação Prof. Dr. Solon Jonas Longhi e Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig.

Aos meus amigos e colegas da Universidade Federal de Santa Maria, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e do Laboratório de Ecologia Florestal.

A todos que tenham contribuído para a realização desta tese.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DE NUTRIENTES EM *Eucalyptus dunnii* Maiden EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL DO BIOMA PAMPA

Autor: Julio César Medeiros da Silva
Orientador: Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 4 de Setembro de 2014.

O plantio de grandes áreas com espécies exóticas é uma consequência da evolução de toda uma estrutura industrial, que tem como objetivo atender a demanda por produtos florestais. O uso destas espécies exige conhecimentos quanto às técnicas de preparo de solo, adubação, mato-competição, além de manejo de resíduos e intensidade de colheita, dentre outras. O objetivo deste trabalho foi avaliar aspectos da ciclagem biogeoquímica de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*, estabelecido em uma microbacia hidrográfica localizada no bioma Pampa, município de Alegrete/RS, em área pertencente à empresa Stora Enso S.A. Os seguintes parâmetros foram avaliados mensalmente: a precipitação pluviométrica, dentro e fora do povoamento, a deposição de serapilheira, biomassa total, além da saída de nutrientes por deflúvio da microbacia hidrográfica. A precipitação foi amostrada por meio de doze coletores de precipitação interna, doze coletores de solução decorrente do escoamento pelo tronco e por três coletores externos ao plantio florestal. O deflúvio foi amostrado com auxílio de recipientes de 500 ml para coleta de água, realizada no vertedouro com uma calha tipo flume. A amostragem da serapilheira foi obtida por meio de dezesseis coletores de 0,5 m² de área útil, para avaliação das frações folhas e miscelânea, além de dezesseis parcelas de coleta de galhos grossos. A determinação de biomassa ocorreu a partir da derrubada de doze árvores, consideradas representativas de quatro classes de diâmetro, junto da escavação das respectivas raízes. A precipitação dentro do povoamento, a deposição de serapilheira e a biomassa foram avaliadas em quatro parcelas. A precipitação, a produção de biomassa e de serapilheira e a saída de nutrientes do ecossistema por deflúvio, foram avaliadas quanto à quantidade, a concentração de elementos e ao aporte dos mesmos. Constatou-se que a precipitação total foi de 1.385,28 mm ano⁻¹, valor correspondente à média de 2012 e 2013, já a precipitação interna foi 91,4% e o escoamento pelo tronco foi 1,3%, sendo que 7,61% foram interceptados pelo dossel. A precipitação efetiva anual foi 1.242,69 mm, correspondendo a aproximadamente 90% da precipitação pluviométrica local. Verificou-se que a interação da chuva com as copas possibilitou a lixiviação de metabólitos presentes na poeira atmosférica depositada na superfície dos tecidos, aumentando em 421% a concentração de K, em 24,0% à concentração de Ca e em 185% a concentração de Mg. Na precipitação interna, a ordem de predominância foi Cl⁻ > K⁺ > SO₄⁻ > Ca²⁺ > Mg²⁺ e para o

escorrimento pelo tronco a ordem de predominância foi $K^+ > Cl^- > Mg^{2+} > Ca^{2+} > SO_4^{2-}$. A biomassa total do povoamento foi de 67,49 Mg ha⁻¹, com sequência decrescente de acúmulo de biomassa: madeira do tronco > raiz > casca do tronco > galhos > folhas. A quantidade total de macronutrientes, em kg ha⁻¹, foi de: 211,51 de N; 22,12 de P; 199,88 de K; 39,70 de Ca; 86,42 de Mg e 25,05 de S; e a de micronutrientes, em g ha⁻¹, foi de 562,57 de B; 401,46 de Cu; 9.913,28 de Fe; 31.877,82 de Mn e 766,96 de Zn. Houve acúmulo de Mn nos componentes da biomassa, além de que as maiores concentrações de nutrientes estão nos tecidos das copas. No entanto, a maior quantidade de biomassa encontra-se na madeira. A produção de serapilheira média foi de 7,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. O material formador da serapilheira é constituído por folhas, contribuindo com a maior parte da deposição (64,3%) seguida por galhos finos (17,5%), ramos grossos (10,2%) e miscelânea (7,9%), sendo Ca o elemento mais representativo nas frações folhas, galhos finos e galhos grossos, apresentando-se apenas na fração miscelânea, inferior ao N. Os elementos P e S apresentaram as menores concentrações. A transferência total de macronutrientes foi de 163,00 kg ha⁻¹ e de micronutrientes foi 9,73 kg ha⁻¹, teores de macronutrientes encontrados na serapilheira apresentaram a seguinte ordem Ca > N > K > Mg > S > P e os teores de micronutrientes seguiram a ordem decrescente de Mn > Fe > B > Zn > Cu. Foram simulados três sistemas de colheita: árvore inteira; madeira do tronco+casca e somente madeira do tronco. Em todas as simulações os saldos foram positivos. A permanência total dos resíduos da colheita no sítio propiciou um maior percentual de retorno de macronutrientes ao solo. O peso da colheita do *Eucalyptus dunnii* Maiden, plantado em solo arenoso e de baixa fertilidade natural afetou, ainda que positivamente, de forma diferenciada a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes.

Palavras-chave: nutrição florestal; produtividade florestal; dinâmica nutricional; produção de serapilheira; balanço nutricional.

ABSTRACT

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

BIOGEOCHEMICAL CYCLING OF NUTRIENTS IN *Eucalyptus dunnii* Maiden IN WATERSHED EXPERIMENTAL OF THE PAMPA BIOME.

Author: Julio César Medeiros da Silva
Adviser: Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher
Date and Place of the Defense: Santa Maria, September 4th, 2014.

The planting of large areas with exotic species is a consequence of the evolution of an entire industrial structure; it aims to meet the demand for forest products. The use of these species requires knowledge on the techniques of soil preparation, fertilization, weed competition, and residue management and harvest intensity, among others. The objective of this study was to evaluate aspects of biogeochemical cycling of nutrients in *Eucalyptus dunnii* established in a watershed located in the Pampa biome, municipality of Alegrete/RS in area belonging to Stora Enso S.A. The following parameters were evaluated monthly: the rainfall, within and outside the forest stand, litterfall deposition, the total biomass and the output of nutrients by runoff from the watershed. Precipitation was sampling through twelve collectors of internal precipitation, twelve collectors solution resulting from stemflow and three external collectors. The runoff was sampling with aid of container for water collection of 500 ml, made in the spillway of a flume. Sampling of litterfall was obtained through sixteen collectors of 0.5 m² of floor area, to evaluate the fractions of leaves and miscellany, in addition, sixteen areas of collecting thick branches. The determination of biomass occurred after the cutting of twelve trees, considered representative of four diameter classes, with the excavation of their respective roots. The rainfall within the forest stand, litterfall deposition and biomass were evaluating in four installments. The rainfall, biomass production and litterfall and the output of ecosystem nutrients by runoff were evaluating for quantity, the concentration of elements and the contribution thereof. It was founded that the total rainfall was 1385.28 mm yr⁻¹ corresponding to the average of 2012 and 2013 value and the internal precipitation was 91.4% and the stemflow was 1.3%, where 7.61% were intercepting by the canopy. The annual effective precipitation was 1242.69 mm, corresponding to approximately 90% of the local rainfall. It has been found that the interaction of rain with the results in the leaching of surface of the tissue, increasing in 421% the concentration of K, 24.0% the concentration of Ca and 185% the concentration of Mg. In the internal precipitation, the order of predominance was Cl⁻ > K⁺ > SO₄⁻ > Ca²⁺ > Mg²⁺ and the stemflow, in the order of predominance was K⁺ > Cl⁻ > Mg²⁺ > Ca²⁺ > SO₄⁻. The total biomass of the stand was 67.49 Mg ha⁻¹, with a decreasing sequence of accumulation of biomass: wood stem > root > trunk bark > branches > leaves. The total quantity of nutrients in kg ha⁻¹, was: 211.51 of N; 22.12 of P; 199,88 of K; 39,70 of Ca; 86.42 of Mg and 25.05 of S; and the micronutrients in g ha⁻¹, was 562.57 of B; 401.46 of Cu; 9913.28 of Fe;

31877.82 of Mn and 766.96 of Zn. There was accumulation of Mn in biomass components, in addition that the highest concentrations of nutrients are in the tissues of the canopy. The average litterfall production was $7.0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. The forming material of the litterfall consists of sheets, contributing the majority of the deposition (64.3%) followed by twigs (17.5%), thick branches (10.2%) and miscellaneous (7.9%), being Ca the most representative element into leaves, twigs and boughs, presenting only in the miscellaneous fraction, less than N. The P and S elements reported the lowest concentrations. The total transfer of macronutrients was 163.0 kg ha^{-1} and micronutrients was 9.7 kg ha^{-1} , the macronutrient levels found in litterfall followed the descending order $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$ and micronutrient followed the descending order of $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$. Three harvesting systems were simulated, completely tree above the ground; wooden trunk + bark and stem wood only. In all simulations, the balances were positive. The total retention of crop residues on the forest site can provide a higher percentage of return of nutrients to the soil. The weight of the harvest *Eucalyptus dunnii* Maiden, planted in sandy soil and low fertility affected, albeit positively, differently biogeochemical cycling of nutrients

Keywords: forest nutrition; forest productivity; nutritional dynamic; litterfall; nutritional balance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos (média $\pm$ desvio padrão) do Argissolo Vermelho Distrófico típico em área de monitoramento de um povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden localizado em Alegrete/RS.	33
Tabela 2 - Precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), interceptação pela copa (Ic) e precipitação efetiva (Pe) em milímetros (mm) no povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden, município de Alegrete/RS.	48
Tabela 3 - Quantitativos anuais da precipitação total (P), precipitação Interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), Interceptação pluviométrica (Ic) e precipitação efetiva (Pe).	48
Tabela 4 - Concentração média (mg L^{-1}) dos íons presentes na solução da precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et).	50
Tabela 5 - Quantidades anuais ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) dos íons presentes na solução da precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et).	52
Tabela 6 - Fluxos anuais ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) de precipitação pluviométrica (P) e precipitação interna (Pi) do presente estudo e outros estudos relacionados ao ciclo biogeoquímico.	54
Tabela 7 - Características dendrométricas do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden aos 4,2 anos em Alegrete/RS.	63
Tabela 8 - Parâmetros e estatísticas de ajuste do modelo de regressão utilizado para estimar a biomassa acima do solo, para <i>Eucalyptus dunnii</i> aos 4,2 anos de idade.	67
Tabela 9 - Valores da biomassa (Mg ha^{-1}) do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i>	67
Tabela 10 - Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) nos diferentes componentes da biomassa das árvores de <i>Eucalyptus dunnii</i> aos 4,2 anos de idade.	71
Tabela 11 - Teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) nos diferentes componentes da biomassa das árvores do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> em Alegrete/RS.	73
Tabela 12 - Quantidade de macronutrientes nos diferentes componentes da biomassa das árvores do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> em Alegrete/RS.	74
Tabela 13 - Quantidade de micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa das árvores do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> em Alegrete/RS.	75

Tabela 14 - Teores médios de nutrientes nas frações formadoras da serapilheira produzida durante o período de 2012 a 2013.	90
Tabela 15 - Quantidade de macronutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) das frações formadoras da serapilheira produzida durante o período de 2012 a 2013.	91
Tabela 16 - Quantidade de micronutrientes ($\text{g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nas frações formadoras da serapilheira produzida durante o período de 2012 a 2013 em Alegrete/RS.	92
Tabela 17 - Fluxo, quantidades (kg ha^{-1}), simulações de colheita e percentagens (%) de remoção de nutrientes através de diferentes sistemas de colheita em um povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i>	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do ciclo de nutrientes em um ecossistema florestal. Adaptado de Miller (1984).....	22
Figura 2 - Diagrama Climatológico de Alegrete/RS.....	30
Figura 3 - Localização do município de Alegrete/RS. Modificado de FEE, 2014.	34
Figura 4 - Detalhe dos Pluviômetros utilizados externamente ao povoamento.....	45
Figura 5 - Aspectos da metodologia utilizada. Separação por componente da biomassa (A), amostras de madeira (B) e separação de folhas e galhos (C).	64
Figura 6 - Posições da coleta dos discos para a amostragem de madeira e casca.	65
Figura 7 - Aspectos da determinação de biomassa de raízes. Área de coleta de raízes (A), raízes finas (B) e raízes grossas (C).	66
Figura 8 - Deposição média de serapilheira em um povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em 2012 e 2013, Alegrete/RS: folhas, galhos finos, galhos grossos, miscelânea e total.	87
Figura 9 - Produção de serapilheira (kg ha^{-1}) e precipitação pluviométrica em povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> , em Alegrete, RS.	89
Figura 10 - Balaço biogeoquímico de nutrientes em uma microbacia do bioma Pampa, Alegrete/RS.....	105

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	17
1.1	Hipótese	19
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1	Ciclagem de nutrientes.....	21
2.2	Gênero <i>Eucalyptus</i>	24
2.3	<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	25
2.4	Bioma Pampa.....	26
2.5	Microbacia Hidrográfica.....	28
3	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	30
3.1	Clima	30
3.2	Solo	31
3.3	Localização da área de estudo	33
3.4	Implantação do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	34
3.5	Referências Bibliográficas.....	35
4	APORTE DE NUTRIENTES VIA DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA EM UM POVOAMENTO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	41
4.1	Introdução	43
4.2	Materiais e Métodos.....	44
4.2.1	Amostragem e Quantificação	44
4.2.2	Análises Químicas.....	47
4.2.3	Procedimentos Estatísticos	47
4.3	Resultados e Discussão.....	48
4.3.1	Distribuição da precipitação pluviométrica	48
4.3.2	Características químicas da precipitação.....	50
4.4	Conclusões	55
4.5	Referências Bibliográficas.....	56
5	PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	60
5.1	Introdução	62

5.2	Materiais e Métodos.....	63
5.2.1	Amostragem da biomassa e estimativa do teor de nutrientes.....	63
5.3	Resultados e discussão	67
5.3.1	Estimativa da biomassa do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i>	67
5.3.2	Estimativa do estoque de nutrientes	70
5.4	Conclusões	77
5.5	Referências Bibliográficas.....	77
6	PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E DEVOUÇÃO DE NUTRIENTES	
	EM UM POVOAMENTO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	81
6.1	Introdução	83
6.2	Materiais e Métodos.....	85
6.2.1	Amostragem e quantificação da serapilheira	85
6.2.2	Análise química.....	86
6.3	Resultados e Discussão.....	86
6.4	Conclusões	93
6.5	Referências Bibliográficas.....	94
7	BALANÇO NUTRICIONAL, IMPLICAÇÕES SILVICULTURAIS e	
	ECOLÓGICAS	98
7.1	Introdução	100
7.2	Materiais e Métodos.....	101
7.3	Resultados e Discussão.....	101
7.3.1	Balanço nutricional	101
7.3.2	Implicações silviculturais e ecológicas	105
7.4	Conclusões	107
7.5	Recomendações	108
7.6	Referências Bibliográficas.....	108

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

A – Área da parcela

a – Área do coletor

B – Boro

Ca – Cálcio

Cu – Cobre

DAP – Diâmetro a Altura do Peito

Et – Escorrimento pelo Tronco

g – Área Basal da Árvore

G – Área Basal da Parcela

ha – Hectare

Is – Interceptação pela Serapilheira

K – Potássio

L – Litro

Mg – Magnésio ou Megagrama (mesmo que tonelada), ver contexto

mg – miligrama

Mn – Manganês

N – Nitrogênio

Na – Sódio

ND – Não Detectado

NH_2^- – Nitrito

NH_3^- – Nitrato

NH_4^+ – Amônia

P – Fósforo ou Precipitação Pluviométrica, ver contexto

Pe – Precipitação Efetiva

Pi – Precipitação Interna

PO_4^- – Fosfato

V – Volume

1 INTRODUÇÃO GERAL

A indústria de base florestal, papel e celulose, carvão para siderurgia, aglomerados, painéis, postes e dormentes, tem os reflorestamentos com eucalipto como principal fonte de matéria-prima (IPEF, 2000). Segundo dados da IBÁ (2014), em 2013 o valor bruto da produção obtido pelo setor florestal totalizou 60 bilhões, representando 6% do PIB (Produto Interno Bruto) do País. A área brasileira com plantios de Eucalipto, Pinus e outras espécies atingiram sete milhões de hectares destes, os plantios de Eucaliptos, correspondem a aproximadamente 77% deste total, sendo que o estado do Rio Grande do Sul contribui com 7% da área de plantios comerciais do País (IBÁ, 2014). No RS a área de cultivo com o gênero corresponde a 63,3% do total plantado.

Fatores como a valorização da celulose no mercado internacional, fechamento de fábricas na Europa e as ótimas condições edafoclimáticas encontradas no Brasil para o cultivo do eucalipto, fizeram com que novas fronteiras florestais se abrissem de norte a sul do País. Em meados de 2005, iniciaram-se novos plantios no estado do Rio Grande do Sul, em locais onde não havia, até então, expressiva área com silvicultura, como em regiões do Bioma Pampa (ABRAF, 2011).

Neste contexto, com o aumento da produção florestal do país, tornou-se necessário buscar também, o aumento do rendimento dos processos fabris, da área reflorestada e da produtividade das florestas. Isto foi possível através da seleção de materiais genéticos mais adaptados e produtivos e de técnicas mais apropriadas de manejo, como adubação, controle de plantas daninhas e preparo de solo (IPEF, 2000).

Entretanto, na busca por aumento de rendimento sem a utilização de práticas e técnicas adequadas de manejo, muitos sítios ficam propensos a exaustão com consequências negativas em longo prazo. Para que isso não ocorra, as empresas florestais comprometidas com o desenvolvimento sustentável elaboram seus planos de manejo adotando técnicas de monitoramento florestal. Dentre os muitos tipos de monitoramento adotados, destacamos o monitoramento nutricional, que possibilita o entendimento da dinâmica dos nutrientes dentro dos sítios produtivos, facilitando e orientando as tomadas de decisão quanto à fertilização.

Segundo Caldato (2011) há possibilidade de se alcançarem altas taxas de produtividade com a adoção de técnicas silviculturais intensivas, proporcionando o

uso eficiente e preciso dos recursos naturais disponíveis. Para tanto, a compreensão do ciclo dos nutrientes (velocidade de fluxo, entradas e perdas, interação solo-planta, distribuição nos componentes da parte aérea e do sistema radicular ao longo do tempo) é fundamental para a definição de tecnologias de manejo florestal mais eficiente particularmente na definição de doses, método e época de aplicação de fertilizantes (GONÇALVES e BENEDETTI, 2000).

Para Sanchez (1976) e González e Gallardo (1986), os principais mecanismos responsáveis pela transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo são a produção de serapilheira, a lavagem da vegetação pela chuva, que extrai substâncias minerais e orgânicas das estruturas da parte aérea e a decomposição da biomassa morta que inclui a serapilheira e raízes.

Para estudar a ciclagem de nutrientes, comportamento hidrológico, intemperismo das rochas e outros processos naturais, Likens (1977) defende a utilização de microbacias. Em concordância, Lima (1997) aponta que o processo de monitoramento hidrológico em microbacias experimentais, em termos de balanço hídrico e qualidade da água, constitui o procedimento mais adequado para a avaliação dos efeitos imediatos das atividades ou práticas de manejo das plantações comerciais.

A microbacia é a unidade natural da paisagem e, desta forma, apresenta condição singular e conveniente para a definição espacial de um ecossistema – o geossistema – dentro do qual é possível o estudo detalhado das interações entre o uso da terra e a quantidade e qualidade da água (NELSON, 1973; LIKENS, 1985; ADAMS, 1993; BRECHTEL e FUHRER, 1994). Como manifestação bem definida de um sistema natural aberto, a microbacia funciona através das trocas contínuas de energia e matéria com o meio, de tal forma que a quantidade e a qualidade do deflúvio são o resultado integrado de todos os fatores intrínsecos da microbacia, incluindo cobertura vegetal e manejo florestal (WALLING, 1980).

As microbacias são altamente vulneráveis aos distúrbios, ou seja, às alterações antrópicas da paisagem, as quais ocorrem sem seguir nenhum padrão e que se refletem na quantidade e na qualidade da água emanada da microbacia (PERRY e MAGHEMBE, 1989).

Segundo Swank e Johnson (1994), desde que o desenho experimental esteja adequadamente fundamentado, em termos metodológicos, os impactos hidrológicos observados podem ser relacionados com seus fatores causativos, o que sem dúvida

é fundamental para o processo de previsão e extrapolação dos resultados, bem como para a melhoria das práticas de manejo florestal (manejo adaptativo).

Portanto, é de fundamental importância o entendimento da dinâmica dos nutrientes nos diferentes compartimentos formadores da microbacia a fim de avaliar as intervenções a serem realizadas, de forma a não causar efeitos adversos que comprometam a sustentabilidade em longo prazo do ambiente.

Neste contexto, o presente estudo tem como proposta avaliar aspectos da ciclagem biogeoquímica de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*, estabelecido em uma microbacia hidrográfica localizada no bioma Pampa, aumentando assim, o entendimento da dinâmica nutricional que acontece ao longo da rotação de uma plantação de Eucalipto, quando estabelecidos em solos arenizados e de baixa fertilidade natural.

1.1 Hipótese

O peso da colheita do *Eucalyptus dunnii* Maiden, plantado em solo arenoso e de baixa fertilidade natural, irá afetar a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes, ao ponto de comprometer as próximas rotações?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar aspectos da ciclagem biogeoquímica de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*, estabelecido em uma microbacia hidrográfica localizada no bioma Pampa.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- a) Analisar a distribuição da precipitação pluviométrica em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*;
- b) Quantificar o fluxo de cátions e ânions na água da chuva, antes e depois de passar pela copa das árvores de *Eucalyptus dunnii*;
- c) Quantificar a biomassa acima e abaixo do solo e o estoque de nutrientes no *Eucalyptus dunnii*;
- d) Quantificar a produção de serapilheira e a devolução de nutrientes no *Eucalyptus dunnii*;
- e) Avaliar a saída de nutrientes pelo deflúvio de uma microbacia hidrográfica com povoamento de *Eucalyptus dunnii*.
- f) Avaliar as implicações silviculturais e ecológicas decorrentes da exportação de nutrientes em função de diferentes cenários de colheita da biomassa de *Eucalyptus dunnii*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ciclagem de nutrientes

A partir da compartimentação da biomassa acumulada nos diferentes estratos e a quantificação de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos, através da produção de serapilheira, da sua decomposição, da lixiviação e outros processos, é possível entender a ciclagem de nutrientes e a manutenção da capacidade produtiva de uma floresta nativa ou plantação comercial (POGGIANI e SHUMACHER, 2000).

De acordo com Switzer e Nelson (1972), o processo de ciclagem de nutrientes (Figura 1) nos ecossistemas florestais pode ser dividido em três tipos:

I. Ciclo geoquímico: refere-se à troca (entradas e saídas) de elementos minerais entre os diversos ecossistemas. Conforme Poggiani e Schumacher (1997), neste ciclo as maiores perdas de nutrientes são ocasionadas pelos processos de erosão e lixiviação pela água de drenagem, fogo, processos de desnitrificação e, principalmente, pela colheita florestal. Já os ganhos relacionam-se às entradas atmosféricas (precipitação e poeira), fixação biológica de nitrogênio, intemperismo do material de origem e fertilização (PRITCHETT e FISHER, 1987).

II. Ciclo biogeoquímico: é aquele que se estabelece nas relações entre o solo e a planta. De acordo com Odum (2004), todos os elementos químicos, essenciais ou não, tendem a circular na biosfera segundo vias características, do ambiente para os organismos e destes para o ambiente. Estes ciclos mais ou menos fechados são conhecidos por ciclos biogeoquímicos, nos quais podem se representar dois compartimentos, o reservatório de depósito – componente maior e de ciclo lento, geralmente não biológico – e o reservatório de troca ou ciclo rápido – porção menor e mais ativa por causa da rápida relação de trocas entre organismos e ambiente imediato.

III. Ciclo bioquímico: consiste na translocação de nutrientes dentro da planta, dos tecidos velhos aos novos, onde os processos de divisão celular e crescimento são mais ativos. Este ciclo é importante para a manutenção dos nutrientes de maior mobilidade como, por exemplo, N, P, K e Mg e de menor importância para nutrientes

como Ca, S e micronutrientes pouco móveis (POGGIANI e SCHUMACHER, 2005).

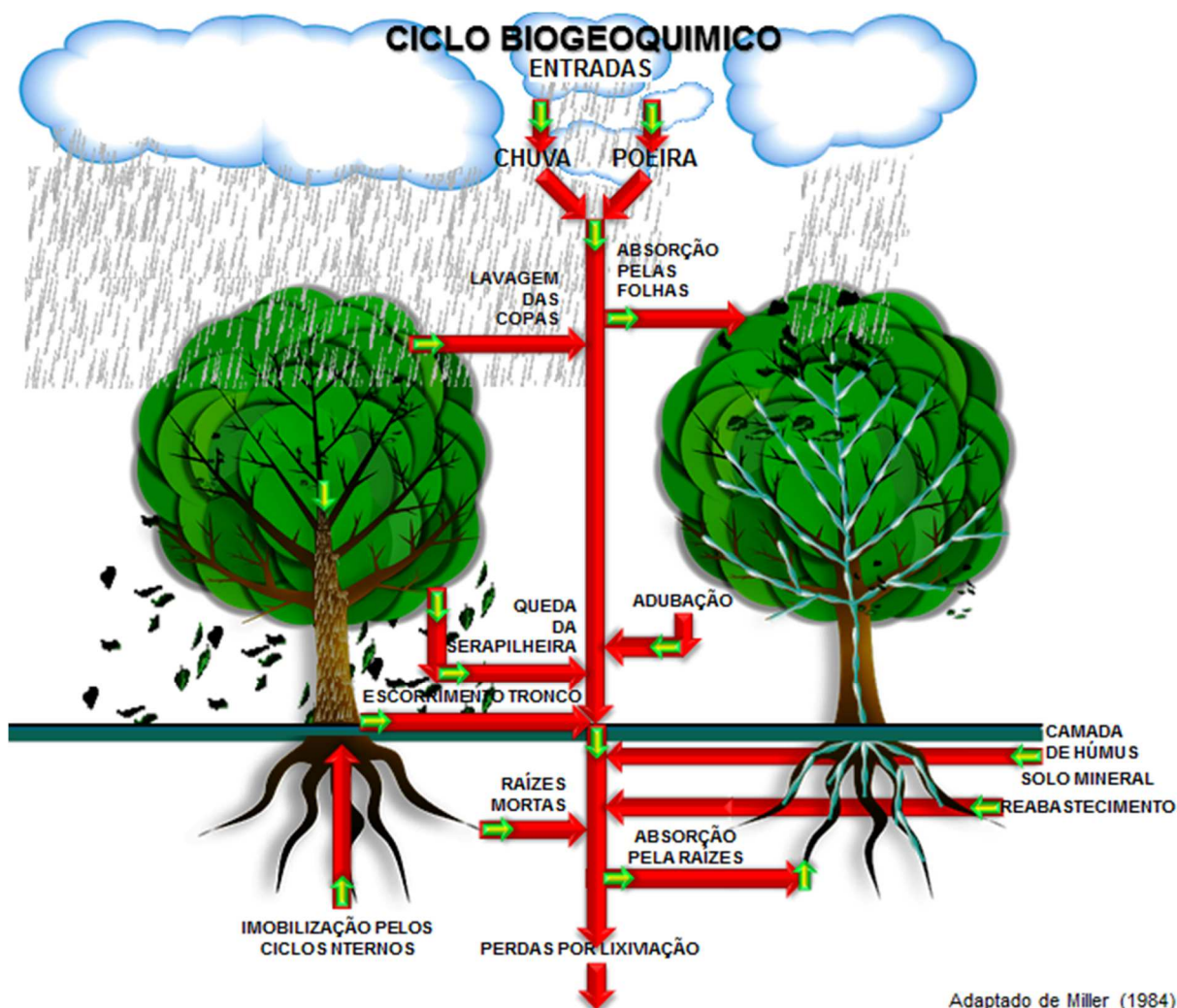


Figura 1 - Representação esquemática do ciclo de nutrientes em um ecossistema florestal. Adaptado de Miller (1984).

A produção de biomassa pode variar intensamente conforme a disponibilidade de recursos do sítio florestal, que influenciam na fotossíntese, na partição do carbono, na produção de folhas, respiração, entre outros (RYAN et al., 2010). O acúmulo de biomassa é afetado por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996). A produtividade de um ecossistema está relacionada diretamente com o consumo e com a disponibilidade de dióxido de carbono no meio, pois este é um dos elementos que movimenta o processo de absorção das plantas (SCHUMACHER e HOPPE, 1997). Além dos fatores citados, outros também afetam o acúmulo de biomassa e a produtividade, entre eles a idade

do povoamento, as procedências, a nutrição, o sítio, a altitude, a umidade do solo, o espaçamento e o desbaste (LADEIRA et al., 2001; CALDEIRA, 2003).

A produção de serapilheira e a devolução de nutrientes em ecossistemas florestais constituem a via mais importante do ciclo biogeoquímico. Esse ciclo caracteriza-se, num primeiro estágio, pela absorção de nutrientes pelas raízes e sua distribuição pelas diferentes partes da planta, sendo que a taxa de absorção de nutrientes é maior no período em que as árvores se encontram em estágio juvenil, o que corresponde ao período de maior produtividade, dentro do processo de sucessão (KIMMINS, 1987). Após isso, os nutrientes são transferidos novamente ao solo pela deposição de serapilheira, lixiviação das folhas, ramos e troncos e pela ação da chuva, além do trabalho da fauna herbívora e a dispersão de frutos e sementes (POGGIANI e SHUMACHER, 2000).

A disponibilidade de água e nutrientes também afeta diretamente a produção de biomassa florestal. A quantidade de nutrientes requeridos por uma determinada espécie depende da sua exigência, da taxa de crescimento e de condições climáticas e edáficas que influenciam na disponibilidade às plantas, além de variar de nutriente para nutriente. As principais entradas de nutrientes no ecossistema florestal ocorrem via intemperismo, precipitação, fixação assimbiótica e simbiótica de nitrogênio e fertilização. Já a saída de nutrientes ocorre via lixiviação, erosão, volatilização e remoção do material orgânico, com a exploração de diferentes partes da planta (REIS e BARROS, 1990). Os autores ainda comentam que a intensidade das perdas de nutrientes por meio da lixiviação depende do tipo de manejo imposto ao ecossistema, sendo que essas perdas podem aumentar consideravelmente após a colheita, especialmente quando há queima de resíduos orgânicos seguida de chuva de alta intensidade.

O povoamento florestal está sujeito a constantes movimentações de entradas e saídas de nutrientes. Dentre as inúmeras formas de perda de nutrientes do ecossistema, destaca-se a erosão e a exportação dos nutrientes pela extração de produtos da floresta. A perda por exportação pode ser estimada pela avaliação dos teores de nutrientes e da biomassa total de cada compartimento removido do sítio florestal. A distribuição da biomassa nos diferentes compartimentos da planta geralmente segue a seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas (CURLIN, 1970; CALDEIRA et al., 1999; SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001; CALDEIRA et al., 2007).

A distribuição dos nutrientes nos compartimentos das árvores tem grande importância na nutrição de plantios florestais manejados em rotações sucessivas. O manejo intensivo das plantações de eucaliptos, por exemplo, pode aumentar a produção de biomassa, mas, também, pode aumentar a remoção de nutrientes (BELLOTE e SILVA, 2004). As maiores concentrações de nutrientes em árvores estão nos tecidos das copas. No entanto, a maior quantidade de biomassa encontra-se no tronco, que é a parte normalmente colhida.

É importante ressaltar que o acúmulo de nutrientes na biomassa arbórea varia de elemento para elemento, em função das características nutricionais de cada espécie, dos diferentes níveis de fertilidade do solo e da idade das árvores (SCHUMACHER e POGGIANI, 1993). Dependendo da intensidade da colheita da biomassa, maiores quantidades de nutrientes serão removidas do sítio florestal.

Algumas espécies de eucalipto podem se adaptar melhor em sítios com restrições edafoclimáticas, desde que se faça a seleção de espécies e procedências melhor adaptadas às condições específicas de sítio. Santana et al. (1999) observaram que o conteúdo de nutrientes no tronco (madeira + casca) de eucalipto foi maior nos sítios mais produtivos e nos materiais genéticos melhor adaptados a essas condições, evidenciando uma estreita relação entre produção de biomassa e conteúdo de nutrientes nas árvores.

2.2 Gênero *Eucalyptus*

Dentre inúmeras espécies florestais existentes, o gênero *Eucalyptus*, que pertencente à família Myrtaceae, tem sido extensivamente utilizado em plantios florestais em todo Brasil (MORA e GARCIA, 2000).

Originário da Austrália e da Indonésia, o eucalipto chegou ao Brasil no ano de 1825 sendo utilizado como planta ornamental (HASSE, 2006). Os plantios comerciais das espécies do gênero *Eucalyptus* no País tiveram início em 1903, a partir do trabalho de Navarro de Andrade, na Companhia Paulista de Estrada de Ferro (HASSE, 2006). Sua utilização com fins econômicos iniciou com o emprego da madeira na confecção de dormentes ferroviários e lenha como forma de energia para movimentação das locomotivas da época (MORA e GARCIA, 2000; HASSE, 2006).

Devido ao seu rápido crescimento e sua adaptação nas mais diversas condições de sítios, além da intensificação das pesquisas e do uso de técnicas de melhoramento genético para resultar em clones e híbridos com alta produtividade, as espécies de eucalipto tiveram grande aceitação pelas empresas do setor madeireiro, siderúrgico, moveleiro e de celulose e papel (VIERA e SCHUMACHER, 2010).

As informações podem ser confirmadas quando destacados números referentes ao crescimento da produção. Em 2012, a área nacional de plantios com o gênero *Eucalyptus* totalizou 5.102.030 ha, representando um crescimento de 4,5% (228.078 ha) frente ao indicador de 2011. No estado do Rio Grande do Sul, considerando uma sequência cronológica, foi possível observar um aumento relativamente significativo na área plantada com *Eucalyptus* sp. nos últimos anos, passando de 184.245 ha em 2006 para 284.701 ha em 2012 (ABRAF, 2013).

2.3 *Eucalyptus dunnii* Maiden

Conforme Gutiérrez (1976), a espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden é originária do Leste da Austrália, apresenta distribuição geográfica muito limitada. É encontrada em Queensland, Mt Mitchell, Spicers Gap, perto de Killarney e Sul de Canungra e também, no Nordeste de New South Wales (BROOKER e SLEE, 1994).

Na Austrália, a espécie pode comumente superar os 40 m de altura, e pode ser encontrada em sítios úmidos e férteis, com precipitação anual superior a 1.000 mm (TURNBULL e PRYOR, 1984).

Sua principal forma de propagação vegetativa é por meio de sementes e sua expansão em área de plantio se restringe a insuficiência das mesmas (TURNBULL e PRYOR, 1984; MORA e GARCIA, 2000).

O *Eucalyptus dunnii* é muito utilizado em regiões de ocorrência de geadas, pois apresenta grande resistência, denotando grande capacidade de adaptação e uma taxa de sobrevivência consideravelmente significativa quando estabelecidas em campo (HIGA et al., 1997; 2000; FILHO e SANTOS, 2005).

A espécie apresenta madeira de cor clara considerada de resistência média, aproveitável para fins energéticos, estruturas leves, confecção de chapas e para celulose, podendo, além do mais, ser utilizada na fabricação de painéis compensados (FILHO e SANTOS, 2005).

Apresenta maior eficiência na utilização de N, P e Mg no compartimento casca em relação ao *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus propinqua* e *Eucalyptus robusta*. (SILVA et al., 1983).

2.4 Bioma Pampa

O Rio Grande do Sul está inserido em dois biomas: O bioma Mata Atlântica, localizado mais ao norte do estado, e o bioma Pampa, localizado mais ao Sul, em altitudes menores (BOLDRINI et al., 2010).

A região da Campanha do Sudoeste, ou conhecido popularmente como Pampa, abrange em área total os municípios de Livramento, Uruguaiana, Quaraí, Alegrete, Rosário do Sul e São Gabriel e parte de Bagé, Dom Pedrito, Lavras do Sul, Santa Maria, São Pedro, São Vicente do Sul, São Francisco de Assis e Itaqui. Admite-se uma superfície de abrangência total de 50.000 km², o que equivale a aproximadamente 18% da área do estado (RAMBO, 1994).

A campanha do Sudoeste do Rio Grande do Sul apresenta como caráter peculiar de sua formação a predominância de campo gramináceo, no entanto, ele não constitui, de modo algum, uma fisionomia uniforme, onde também se podem visualizar as formações de matas virgens, capões, matas arbustivas, cordões de galeria, mata palustre, vegetação dos tabuleiros, vassourais e parque espinho (RAMBO, 1994; 2000).

O campo propriamente dito é constituído pelas famílias Graminaceae, Compositae e Leguminosae e, pelas diferenciações de solo, de modo que não é possível uma descrição exata, no entanto, como principais aspectos, pode-se mencionar o topo plano de tabuleiros com tapete campestre baixíssimo e paupérrimo em espécies; no dorso das coxilhas, é uniforme e principalmente cerrado; nos flancos, é rasgado pelos sulcos das enxurradas e os valos dos cursos de água; baixadas pequenas entre coxilhas e baixadas de grandes várzeas dos grandes rios é alto, bastante fechado, entremeado de arbustos e grupos de árvores, com transição para mata palustre e juncal pantanoso; sendo as paisagens mais legítimas situadas no interior de um triângulo formado pelas cidades de Quaraí, Alegrete e Uruguaiana, onde é completamente nivelado e plano, revestido com gramas rasteiras e em touceira, expressão das mais clássicas desta vegetação (RAMBO, 2000).

É no bioma Pampa onde se encontram as maiores extensões de campo nativo contínuo brasileiro (BOLDRINI et al., 2010). Os campos constituem formações relictuais na vegetação sulbrasileira (MARCHIORI, 2004; PILLAR et al., 2009). Estes campos constituem-se a principal formação vegetacional do bioma, caracterizado fisionomicamente pelas gramíneas, a qual constituem o grupo dominante nestes ecossistemas (PILLAR et al., 2009), apresentando-se entremeados por capões florestais que correm ao longo dos cursos dos rios (BOLDRINI et al., 2010).

Conforme Boldrini et al. (2010) e Pillar et al. (2009), os campos apresentam alta riqueza de espécies vegetais, distribuídas em diversas famílias que se destacam em toda a superfície do bioma, como as das gramíneas, leguminosas, ciperáceas, rubiáceas, asteráceas e esta diversidade biológica encontrada, devem-se em especial à diversidade de solos e a variabilidade geológica, topográfica, térmica e pluviométrica, além da disponibilidade hídrica no local.

A região encontra-se em uma área referenciada pelo projeto RADAMBRASIL como Região da Savana Estépica e reveste terrenos areníticos e solos distróficos lixiviados e compreende as formações Gramíneo-lenhosas, Parque e Arbórea Aberta (IBGE, 2004). A formação Gramíneo-lenhosa destaca-se pela tomentosidade e dá à paisagem um tom acinzentado; a formação Parque corresponde às áreas de relevo dissecado, como em divisores de água e a formação Arbórea Aberta, por seu turno, ocupa área pequena e solos litólicos rasos, com árvores de origem chaquenha espaçadas sobre tapete gramíneo-lenhoso (MARCHIORI, 2002).

A flora original dos campos, em partes, vem sofrendo um processo de descaracterização acelerada, devido à introdução e criação extensiva do gado bovino, às culturas de arroz em áreas de banhado e soja e a expansão da silvicultura de espécies exóticas (PILLAR et al., 2009).

Nas áreas de campos e areais naturais, de baixa fertilidade natural, foi assinalada a presença de extensos campos de butiazais-anão (*Butia lallemantii*), com presença conspícua de uma diversificada comunidade de espécies nanofanerófitas associadas (MARCHIORI, 2004).

A conformação da paisagem no local de estudo anteriormente às atividades silviculturais era caracterizada por campo alterado/degradado pela agricultura e pelo pastoreio com raros focos de arenização. A área tinha a sua fisionomia marcada pela presença de um grande número de nanofanerófitas, em especial das famílias Myrtaceae e Compositae, sendo que o estrato inferior apresentava grande diversidade

de espécies de Gramineae, Compositae, Verbenaceae, Leguminosae e Acanthaceae, já no estrato médio, destacavam-se Euphorbiaceae, Compositae e Gramineae. Nos banhados, predominavam Cyperaceae, Gramineae, Umbelliferae, Scrophulariaceae, Compositae, Onagraceae, Utriculariaceae, Eriocaulaceae e Orchidaceae, com estrato superior composto por indivíduos de *Cephalanthus glabratus* “sarandi-branco” (Rubiaceae), *Erythrina crista-galli* “corticeira-do-banhado” e *Aechynomene paniculata* (Fabaceae), além de *Hibiscus* sp. (Malvaceae), *Lessingianthus glabratus*, *L. rubricaulis* (Asteraceae) e *Mandevilla pohliana* (Apocynaceae) (SILVICONSULT, 2007).

2.5 Microbacia Hidrográfica

A microbacia é a unidade natural da paisagem e, desta forma, apresenta condição singular e conveniente para a definição espacial de um ecossistema – o geossistema – dentro do qual é possível o estudo detalhado das interações entre o uso da terra e a quantidade e qualidade da água (NELSON, 1973; LIKENS, 1985; ADAMS, 1993; BRECHTEL e FUHRER, 1994). Como manifestação bem definida de um sistema natural aberto, a microbacia funciona através das trocas contínuas de energia e matéria com o meio, de tal forma que a quantidade e a qualidade do deflúvio são o resultado integrado de todos os fatores intrínsecos da microbacia, incluindo sua cobertura vegetal e o manejo florestal (WALLING, 1980).

Para estudar ciclagem de nutrientes, comportamento hidrológico, intemperismo das rochas e outros processos naturais, Likens (1977) preconiza a utilização de microbacias. Segundo Lima (1997), o processo de monitoramento hidrológico em microbacias experimentais, em termos de balanço hídrico e qualidade da água, constitui procedimento adequado para a avaliação dos efeitos imediatos das atividades ou práticas de manejo de plantações com espécies arbóreas.

Adicionalmente, as microbacias são consideradas a menor unidade da paisagem para o estudo dos processos hidrológicos (WALLING, 1980; MOLDAN e CERNY, 1994), já que exerce uma troca de matéria e energia com o meio, permitindo estudos quantitativos, de forma integrada, do funcionamento do ecossistema (LIMA e ZAKIA, 1998).

As microbacias são altamente vulneráveis aos distúrbios, ou seja, às alterações antrópicas da paisagem, as quais ocorrem sem seguir nenhum padrão e que se refletem na quantidade e na qualidade da água emanada da microbacia (PERRY e MAGHEMBE, 1989).

Os vários caminhos que a água poderá seguir num ecossistema florestal, após uma dada precipitação, podem ser subdivididos em interceptação, evaporação das superfícies úmidas, transpiração das plantas, evaporação do solo, perdas estas que vão definir a quantidade de água que sobra para alimentar a vazão. (WISLER e BRATER, 1964).

Os resultados encontrados na literatura mostram que a relação entre as plantações florestais e a água depende da região, espécie, condições ambientais e práticas de uso do solo na escala da microbacia hidrográfica (ALMEIDA e SOARES, 2003; ANDREASSIAN, 2004; BROWN et al., 2005; VAN DIJK e KEENAN, 2007). Segundo Calder (2007), apesar dos significativos progressos na compreensão científica das interações entre as florestas e a água, a função desempenhada pelos plantios florestais em relação ao manejo sustentável dos recursos hídricos continua sendo um assunto não resolvido. Persistem as dificuldades ao tentar transferir os resultados das pesquisas a diferentes dimensões, tipos de florestas, espécies e regimes diferenciados de manejo florestal.

Segundo Swank e Johnson (1994), desde que o desenho experimental esteja adequadamente fundamentado, em termos metodológicos, os impactos hidrológicos observados podem ser relacionados com seus fatores causativos, o que sem dúvida é fundamental para o processo de previsão e extrapolação dos resultados, bem como para a melhoria das práticas de manejo florestal (manejo adaptativo).

3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1 Clima

Em conformidade com a classificação climática proposta por Maluf (2000), o clima da região de estudo é subtemperado úmido, em que os verões podem apresentar período de seca, com temperatura média anual de 18,6 °C e precipitação média anual de 1.574 mm.

A Figura 2 apresenta o Diagrama Climatológico para a estação meteorológica de Alegrete segundo a metodologia de Gaussen (1945), proposta por Walter e Lieth (1967).

Os dados apresentados no diagrama climático de Alegrete/RS (Figura 2) representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas deste diagrama são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos de observação.

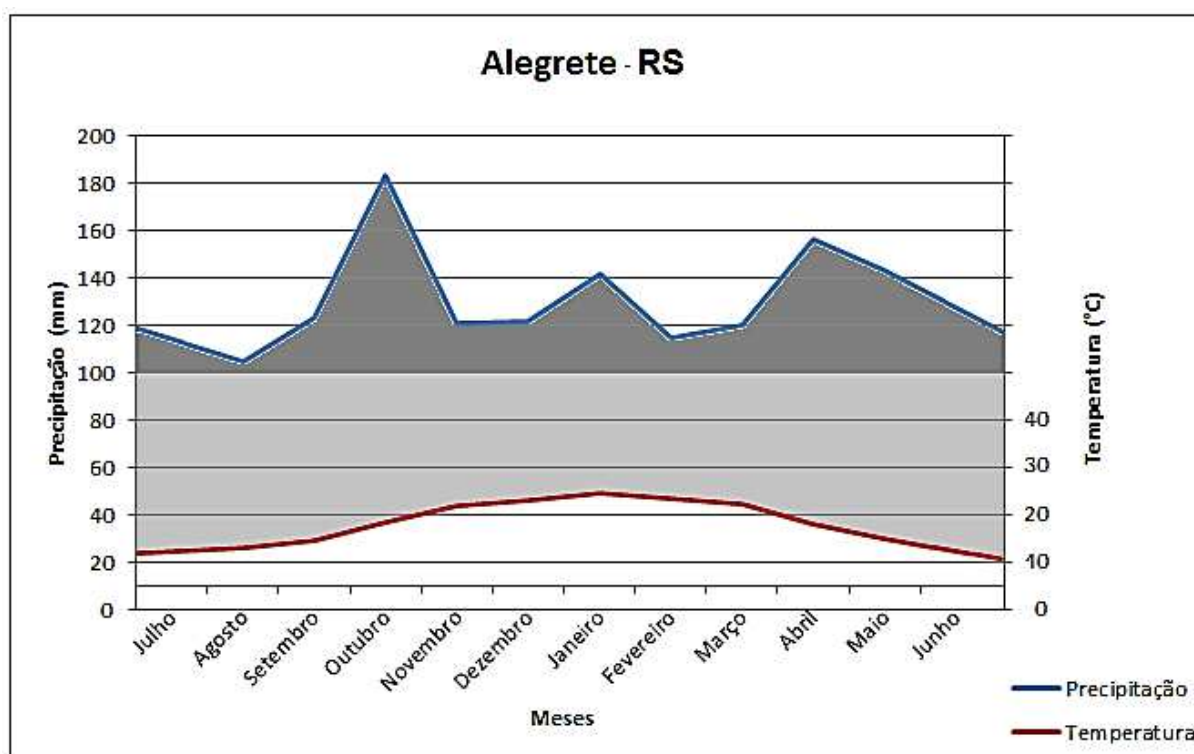


Figura 2 - Diagrama Climatológico de Alegrete/RS.

Fonte: Walter e Lieth, (2007).

3.2 Solo

A região da Campanha delimita-se ao norte com o rio Ibicuí, a oeste com o rio Uruguai, ao sul com o rio Quaraí e a leste com a bacia do rio Ibicuí correspondente ao segmento sul-norte da Depressão Periférica. As principais cidades localizadas são Uruguaiana, Alegrete, Sant'ana do Livramento e Quaraí (IBGE, 1986).

O sudoeste gaúcho litologicamente é constituído por rochas vulcânicas e sedimentares as quais respondem de maneira diferente aos processos superficiais, determinando assim formas distintas de relevo e, por consequência, formas distintas de uso da terra. Estratigraficamente, a região é composta por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral sobreposta a rochas sedimentares continentais das Formações Botucatu e Guará, ambas respectivamente de origem eólica e predominantemente fluvial do período Jurássico-Cretáceo, pertencentes aos depósitos continentais da Bacia do Paraná (PETRI e FÚLFARO 1983).

A Formação Botucatu é constituída de arenitos eólicos, depositados sob clima árido em grande parte da Bacia do Paraná. Pelo menos, regionalmente, caracterizam-se por uma mineralogia predominantemente quartzosa, classificados segundo Folk (1974) como quartzo arenitos, por vezes com presença de feldspatos. No RS, estes minerais estão associados às áreas de areais e a solos arenosos com elevada fragilidade, principalmente a erosão, tanto fluvial quanto eólica (BRASIL, 1973).

Os solos predominantes na região sobre arenitos Botucatu são os Neossolos Quartzarênicos e os Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos (BRASIL, 1973; KLAMT e SCHNEIDER, 1995; AZEVEDO e KAMINSKI, 1995). Alguns trabalhos realizados na região sugerem que os Argissolos sobre arenitos na região sudoeste do RS são formados através da adição externa de material argiloso de origem basáltica (KLAMT e SCHNEIDER, 1995).

Conforme Streck et al. (2008) a maioria dos solos tem o basalto (Formação Serra Geral) como material de origem, mas também há áreas cobertas por arenito (Formação Botucatu). Toda região tem ampla dominância de Neossolos Litólicos ou Regolíticos Eutróficos (Unidade Pedregal), geralmente situados em relevo suave ondulado, mas ocorrendo também em áreas com relevo forte ondulado em associação com afloramentos de rocha. Associados a esses Neossolos ocorrem Chernossolos Ebânicos Carbonáticos vertissólicos (Unidade Uruguaiana), que ocupam áreas quase planas, que são expressivas na calha dos rios Ibirapuitã e Quaraí, dos arroios Ibirocaí

e Touro Passo, bem como entre Uruguaiana e Barra do Quaraí. Em áreas planas das cabeceiras de drenagem e fundo de vales ocorrem Vertissolos Ebânicos Órticos chernossólicos (Unidade Escobar). Localmente há áreas com ocorrência de Neossolos Quartzarênicos Órticos desenvolvido sobre arenitos. Ao oeste de Alegrete e ao norte, ao longo do rio Ibicuí, há áreas com Nitossolos Vermelhos Distroféricos (Unidade São Borja) associados com Luvisolos Háplicos plínicos (Unidade Virgínia).

O povoamento encontra-se estabelecido sobre um Argissolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Os atributos químicos e físicos (Tabela 1) foram avaliados em 2008 através da coleta de solo em três trincheiras considerando cinco profundidades: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

O solo possui textura arenosa, variando de franco-arenosa, com média de 77% de areia na profundidade de 0-40 cm, passando para franco-argilo-arenosa, com média de 69% de areia nas camadas de 40-100 cm (Santos et al., 2005). Apresentou, ainda, baixa matéria orgânica (MO); pH muito baixo; teores de Ca e Mg baixos; teores de K e P muito baixos; teor de S médio nas camadas de 0-20, 40-60 e 60-80 cm de profundidade e alto teor de S nas camadas de 20-40 e 80-100 cm de profundidade; CTC_{pH7} média; V% muito baixa; m% alta, conferindo baixa fertilidade natural ao solo; teores de B, Cu e Zn (este último apenas para a camada de 0-20 cm) altos e teores médios de Zn nas camadas de 20-100 cm; segundo a interpretação sugerida pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004).

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos (média $\pm$ desvio padrão) do Argissolo Vermelho Distrófico típico em área de monitoramento de um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden localizado em Alegrete/RS.

Atributo	Unidade	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
		Profundidades (cm)				
DS	g cm ⁻³	1,52 $\pm$ 0,07	1,58 $\pm$ 0,04	1,53 $\pm$ 0,03	1,49 $\pm$ 0,07	1,43 $\pm$ 0,05
AG	%	33 $\pm$ 2	31 $\pm$ 1	29 $\pm$ 1	28 $\pm$ 2	27 $\pm$ 2
AF	%	46 $\pm$ 2	46 $\pm$ 3	43 $\pm$ 4	41 $\pm$ 5	37 $\pm$ 3
Silte	%	7 $\pm$ 0	6 $\pm$ 1	7 $\pm$ 3	8 $\pm$ 2	10 $\pm$ 3
Argila	%	15 $\pm$ 3	17 $\pm$ 1	21 $\pm$ 6	23 $\pm$ 5	26 $\pm$ 3
MOS	%	1,00 $\pm$ 0,15	0,91 $\pm$ 0,10	0,85 $\pm$ 0,07	0,78 $\pm$ 0,07	0,72 $\pm$ 0,06
pH	(1:2,5 _{água})	4,74 $\pm$ 0,06	4,84 $\pm$ 0,05	4,96 $\pm$ 0,03	4,98 $\pm$ 0,01	5,00 $\pm$ 0,07
Al	cmol _c dm ⁻³	1,99 $\pm$ 0,14	1,95 $\pm$ 0,14	1,91 $\pm$ 0,32	2,03 $\pm$ 0,21	1,75 $\pm$ 0,25
Ca	cmol _c dm ⁻³	0,46 $\pm$ 0,27	0,79 $\pm$ 0,17	1,21 $\pm$ 0,12	1,84 $\pm$ 0,44	1,88 $\pm$ 0,06
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,33 $\pm$ 0,10	0,24 $\pm$ 0,06	0,27 $\pm$ 0,02	0,34 $\pm$ 0,06	0,40 $\pm$ 0,01
P	mg dm ⁻³	1,87 $\pm$ 0,09	1,60 $\pm$ 0,16	1,49 $\pm$ 0,09	1,49 $\pm$ 0,19	1,54 $\pm$ 0,19
K	mg dm ⁻³	20,33 $\pm$ 5,51	12,00 $\pm$ 3,6	9,67 $\pm$ 2,31	8,33 $\pm$ 1,53	8,33 $\pm$ 1,15
t	cmol _c dm ⁻³	2,83 $\pm$ 0,46	3,01 $\pm$ 0,38	3,42 $\pm$ 0,45	4,22 $\pm$ 0,66	4,04 $\pm$ 0,30
T	cmol _c dm ⁻³	8,96 $\pm$ 1,36	9,59 $\pm$ 1,23	10,11 $\pm$ 2,02	10,78 $\pm$ 2,52	10,95 $\pm$ 1,7
V	%	9,07 $\pm$ 3,11	10,99 $\pm$ 1,2	15,15 $\pm$ 1,89	20,51 $\pm$ 1,96	21,22 $\pm$ 2,5
M	%	71,30 $\pm$ 9,81	65,04 $\pm$ 3,8	55,73 $\pm$ 2,01	48,38 $\pm$ 3,35	43,17 $\pm$ 2,8
S	mg dm ⁻³	2,71 $\pm$ 0,48	5,09 $\pm$ 2,62	3,36 $\pm$ 0,59	4,16 $\pm$ 1,19	6,12 $\pm$ 2,80
B	mg dm ⁻³	0,35 $\pm$ 0,07	0,42 $\pm$ 0,12	0,47 $\pm$ 0,04	0,43 $\pm$ 0,07	0,43 $\pm$ 0,08
Cu	mg dm ⁻³	2,29 $\pm$ 0,40	2,14 $\pm$ 0,07	2,20 $\pm$ 0,21	2,23 $\pm$ 0,14	2,01 $\pm$ 0,21
Zn	mg dm ⁻³	0,57 $\pm$ 0,09	0,35 $\pm$ 0,02	0,24 $\pm$ 0,01	0,23 $\pm$ 0,11	0,29 $\pm$ 0,17

Onde: Densidade do Solo (DS); Areia Grossa (2 - 0,2 mm) (AG); Areia Fina (0,2 - 0,05 mm) (AF); Silte (0,05 - 0,002 mm); Argila (< 0,002 mm); Matéria Orgânica (MO); CTCefetiva (t); CTCpH7 (T).

3.3 Localização da área de estudo

O presente estudo foi realizado na região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, região fisiográfica da Campanha a aproximadamente 76 quilômetros do município de Alegrete (Figura 3).

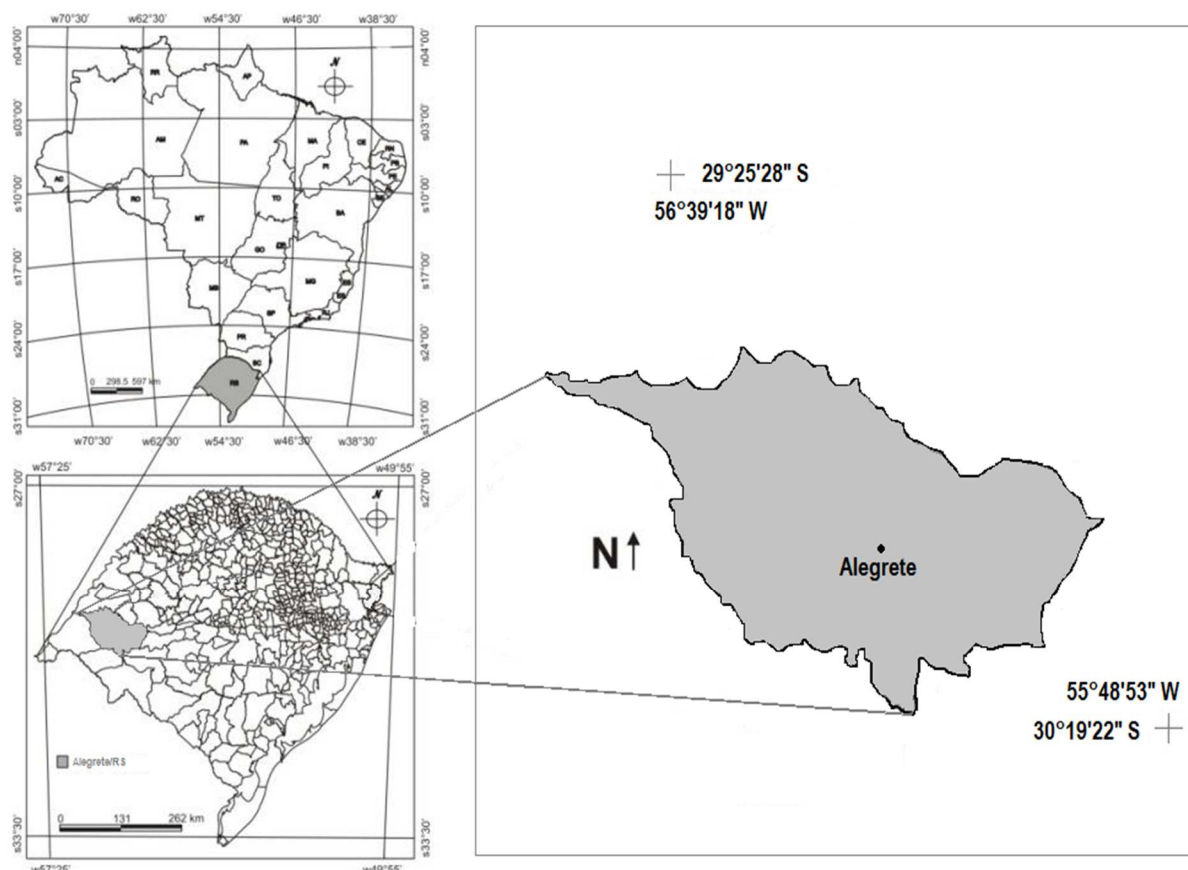


Figura 3 - Localização do município de Alegre/RS. Modificado de FEE, 2014.

A Fazenda Sesmaria Santo Inácio e o povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden, onde o experimento foi instalado são de propriedade da empresa Stora Enso Florestal RS Ltda.

As coordenadas geográficas do local são 29° 47' - Sul e 55° 17' - Oeste. A altitude no local é de 98 m ao nível médio do mar.

3.4 Implantação do povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden

O plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden, objeto deste estudo, foi realizado em novembro de 2008 na fazenda Sesmaria Santo Inácio, de 876,09 ha de área total. O plantio foi feito com mudas oriundas de sementes (Material genético Menegoto), no espaçamento 2,00 m x 3,50 m entre plantas.

Para a implantação do povoamento foi realizado preparo de solo com uma subsolagem utilizando trator de pneu, a uma profundidade média de 60 cm, além da fosfatagem na linha, irrigação, adubação de arranque e de cobertura, capinas na linha

e entrelinha. Foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, na proporção 06-30-06 + 0,6% de B. A segunda aplicação do fertilizante foi aos 90 dias após plantio, onde foram aplicados 140 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, utilizando 22-05-20 + 0,2% de B + 0,4% de Zn. A terceira aplicação de fertilizante foi aos 270 dias com 140 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, 22-00-18 + 1,0% de S + 0,3% de B, aplicada mecanicamente na entrelinha.

O povoamento de *Eucalyptus dunnii* se encontrava com 50 meses de idade quando foi iniciada a pesquisa, a partir da realização de inventário florestal realizado em janeiro de 2010. Os valores médios das variáveis dendrométricas encontrados foram os seguintes: 11,9 cm de diâmetro a altura do peito (DAP); 13,8 m de altura (H); 14,0 m² ha⁻¹ de área basal (G); 1.143 de número de árvores (N) e 124,3 m³ ha⁻¹ de volume (V).

Além da adubação química, o povoamento também recebeu tratos culturais como capina química, capina mecânica, combate a formigas cortadeiras e manutenção de aceiros.

3.5 Referências Bibliográficas

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2010. Brasília. 2011. Disponível em: <(http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp)>. Acesso em: 20 de dezembro de 2011.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF**: Ano base 2012. Brasília. 2013. 146 p.

ADAMS, P. W. Closing the gaps in knowledge, policy and action to address water issues in forests. **Journal of Hydrology**, 1993. 150 p: 773-786.

AZEVEDO, A. C.; KAMINSKI, J. Considerações sobre os solos dos campos de areia no Rio Grande do Sul. **Ciênc. Ambiente**. 11:65-70, 1995.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONCALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Forestry nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 113-140.

BOLDRINI, I. I.; FERREIRA, P. M. A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETUBAL, R. B.; TREVISAN, R.; FREITAS, E. M. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre, RS, Ed. Pallotti, 2010. 64p.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Recife: DNPEA-MA, 1973. 431p. (Boletim Técnico N° 30).

BRECHTEL H. M.; FUHRER, H. W. Importance of forest hydrological benchmark catchments in connection with forest decline problem in Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, 1994. p 72: p 81-91.

BROOKER, M. I. H.; SLEE, A. V. Eucalyptus series Brevifoliae (Myrtaceae), a new series of northern Australian eucalypts. Sourced from: Nuytsia. **Physical Description**. Vol. 9. 1994. p. 307-314.

CALDATO, S. L. **Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em uma plantação de *Pinus taeda* L. no nordeste argentino**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2011. 102 f.

CALDEIRA, M. V. W.; PEREIRA, J. C.; SCHUMACHER, M. V. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento jovem de *Acacia mearnsii* De Wild estabelecido na região sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 29, n. 1/2, p. 53-65, jan.- dez. 1999.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2003. 176 p.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; WATZLAWICK, L. F.; SOARES, R. V. Determinação e identificação dos teores de macronutrientes nas espécies arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista Montana/ General Carneiro, Paraná. **Ambiência** - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Guarapuava, PR, 2007, v. 3, n. 2, p. 211-239.

CQFS – Comissão de Química e Fertilidade do Solo - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre, RS: SBCS, 10^a Ed. 2004. 400p.

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: YOUNGBERG, C.T.; DAVEY, C. B. Ed. **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p. 313-26.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2006. 2^a Ed. 306p.

FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. **Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii* no Estado do Paraná**. Comunicado Técnico 141. Colombo, PR. Dezembro, 2005.

FEE – Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: < ([http://www.fee.rs.gov.br / perfilsocioeconomico / municípios / detalhe /? município = Alegrete](http://www.fee.rs.gov.br/perfilsocioeconomico/municipios/detalhe/?municipio=Alegrete)) > Acesso em: 19 de julho de 2014.

GAUSSEN, H. **Theories et classification des climats et microclimats**. In: CONGRES INTERNATIONALE DE BOTANIQUE, 8., 1954, Paris. Compte-Rendu... Paris, 1954. Section 7 et 3, p. 125-130. 1954.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilidade florestal**. Piracicaba,

SP: IPEF, 2000. p 287–308.

FOLK, R. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin/Texas: Hemphill Publishing Co, 1974. 182p.

GONZÁLEZ, M. I. M.; GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revisión. **Anales de edafología y agrobiología**. p. 1130-1157, 1986.

GUTIÉRREZ, G. **Atlas del eucalipto**. Sevilha: INIA/ICONA, Espanha, 1976.

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: Já Editores, 2006. 127 p.

HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. **Comportamento de 20 espécies de Eucalyptus em área de ocorrência de geadas na Região Sul do Brasil**. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1997, Salvador. Proceedings... Colombo, PR: EMBRAPA-CNPQ, 1997. v. 1, p. 106-110.

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

IBÁ – **Indústria Brasileira de Árvores**. Ano base 2013. Brasília. 2011. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/web/pt/dados-fatos/>. Acesso em: 30 de junho de 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento de Recursos Naturais, 33**: folhas SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH21 Uruguaiana e SH22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, RJ, 1986. 796 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE. 2004. Acessível em www.ibge.gov.br.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acessado em: 19 de Julho de 2014.

IPEF – Instituto de Pesquisas Florestais. **IPEF Notícias**, nº 149. Piracicaba, SP. Maio de 2000.

KIMMINS, J. P. **Forest Ecology and Management**. New York: Macmillan, USA, 1987. 531p.

KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Solos suscetíveis à erosão eólica e hídrica na região da Campanha do Rio Grande do Sul. **Ciênc. Ambiente**. 11:70-80, 1995.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiological of woody**. 2. ed. San Diego: Academic, USA, 1996. 432p.

LADEIRA, B. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma sequência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 69-78, Jan-Mar. 2001.

LIKENS, G. E. **Biogeochemistry of a forested watershed**. New York: Spring – Verlag. 146 p. USA, 1977.

LIKENS, G. E. An experimental approach for the study of ecosystems. **Journal of Ecology**, 73: 381-396. 1985.

LIMA, W. P. **Indicadores hidrológicos do manejo sustentável de plantações de eucalipto**. IUFRO Conference on Silviculture and Improvements of Eucalypts. 24-29 de agosto de 1997. Salvador, BA. 1997.

MALUF, J. R. T. **Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, RS, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: enfoque histórico e sistemas de classificação**. Porto Alegre, RS: EST, 2002. 118p.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre, RS: EST, 2004. 110p.

MILLER, H. G. **Nutrient cycles in birchwoods**. Proceedings the Royal Society of Edingburgh, 853: 83-96. 1984.

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

NELSON, D. J. Measurement and sampling of outputs from watersheds. **Analysis of Temperate Forest Ecosystems**. Springer - Verlag: 258- 267. 1973.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 7. ed., 2004. Portugal, 928p.

PERRY, D. A.; MAGHEMBE, J. Ecosystem concepts and current trends in forest management: a time for reappraisal. **Forest Ecology and Management**, 26: 123-140. 1989.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. Geologia do Brasil. São Paulo: T. A. Queiroz: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1983. 631p.

PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. **Campos Sulinos - Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Atmospheric inputs compared with nutrients removed by harvesting from Eucalyptus plantations: implications for sustainability. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus, 1997. **Anais...** Salvador, BA: IUFRO/EMBRAPA, 1997. p. 68-74.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilidade florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2000. 427 p.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilidade florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2005. p. 287-308.

PRITCHETT, W. L.; FISHER, R. F. **Properties and management of forest soils**. New York: John Wiley & Sons, 2. ed., 1987. 494p.

RAMBO, S. J. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul**. UNISINOS, São Leopoldo, RS. 1994. p.408-413.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. São Leopoldo, RS, Unisinos. 473p. 2000.

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

RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C. Factors controlling Eucalyptus productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1695–1703, 2010.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley and Sons, 1976. 409p.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, SP, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ed. Viçosa: SBCS/SNLCS, 2005. 100p.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (labillardiere) subespécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 1, p. 45-53, jan.-jun. 2001.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A Floresta e a Água**. Porto Alegre: Pallotti, 1997. 70 p.

SHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex

Maiden e *Eucalyptus torelliana* f. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 3, n. 1, p. 9-18, jan.-dez. 1993.

SILVA, H.D.; POGGIANI, F.; COELHO, L.C. Eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus*. **Boletim de pesquisa florestal**, 6/7, 1-8, 1983.

SILVICONSLT - Silviconsult Engenharia. **Estudo de Impacto Ambiental** – Empreendimento Florestal Derflin Agropecuária: Vol. III – Meio Biótico. EIA-RIMA Stora Enso Florestal RS. Rosário do Sul, RS, 2007.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSEN, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, RS, EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.

SWANK, W. T.; JOHNSON, C. E. **Small catchment research in the evaluation and development of forest management practices**. Biogeochemistry of Small Catchments: a tool for environmental research. Moldan & Cerny (Eds.). John Wiley, Chichester: 383- 408. 1994.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison. v. 36, p.143-147, 1972.

TURNBULL, J. W.; PRYOR, L. D. Choice of species and seed sources. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (eds.) **Eucalypts for wood production**. Sydney, Austrália: CSIRO/Academic Press, 1984. p. 6-6.

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**, Santa Maria, RS, v. 20, n. 2, p. 225-233, abr.-jun., 2010.

WALLING, D. E. Water in the catchment ecosystem. In: GROWER, A.M. Ed. **Water quality in catchment ecosystem**. Gowen (Ed.). Chichester: John Wiley & Sons, p. 1-47, 1980.

WALTER, H.; LIETH, H. Clima e vegetação natural do Estado do Rio Grande do Sul segundo o Diagrama Climático de Walter e Lieth. **Ciência Florestal**, Vol. 17, Nº. 2, 2007, pp. 91-100.

WALTER, H.; LIETH, H. **Klimadiagramm-Weltatlas**. Jena: Pustl. Gustav Fischer, 1967.

4 APORTE DE NUTRIENTES VIA DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus dunnii* Maiden

Resumo

Ciclos de água e nutrientes são dois dos processos biogeoquímicos importantes na manutenção da produtividade em povoamentos florestais, diretamente afetados pelo uso e ocupação da terra. Este trabalho tem como objetivo avaliar aspectos da ciclagem biogeoquímica de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*, estabelecido em uma microbacia hidrográfica localizada no bioma Pampa, município de Alegrete/RS, em área pertencente à empresa Stora Enso S.A. Foram avaliadas mensalmente as deposições atmosféricas, dentro e fora do povoamento. A amostragem da precipitação foi realizada através de doze coletores de precipitação interna, doze coletores de solução do escoamento pelo tronco e por três coletores externos ao povoamento. Analisou-se a quantidade e a concentração dos cátions e ânions contidos da água oriunda da precipitação. Pode-se constatar que a precipitação total foi de 1.385,28 mm ano⁻¹, valor correspondente à média de 2012 e 2013. No interior do povoamento houve entrada de 91,3% da precipitação; a água que escoou pelo tronco correspondeu a 1,3%, sendo que, 7,52% foram interceptados pelo dossel. Verificou-se que a interação da chuva com as copas possibilitou a lixiviação de metabólitos presentes na poeira atmosférica depositada na superfície das copas, aumentando em 421% a concentração de K, em 24% a concentração de Ca e em 185% a de Mg. Na precipitação interna, a ordem de predominância foi $\text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^- > \text{PO}_4^{3-}$. Já para o escoamento pelo tronco a ordem de predominância foi $\text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^- > \text{PO}_4^{3-}$.

Palavras-chave: ciclo biogeoquímico; ciclo hidrológico; precipitação interna; escoamento pelo tronco.

Abstract

Cycles of water and nutrients are two biogeochemical processes important in maintaining productivity in forest stands, directly affected by land use and land cover. This work had the objective of evaluating some aspects of the biogeochemical cycling of nutrients in a *Eucalyptus dunnii* established in a watershed located in the Pampa biome, municipality of Alegrete/RS in area belonging to Stora Enso S.A. Atmospheric deposition were evaluated monthly, within and outside the forest stand. The sampling of the precipitation was carried out through twelve collectors of internal precipitation, twelve collectors of the stemflow solution and for three external collectors, in an area adjacent to the forest stand. Parameters regarding the amount and concentration of cations and anions contained in the water coming from rainfall were evaluated. We can note that the total rainfall was 1385.28 mm yr⁻¹. Inside the forest stand had entry 91.35% of the precipitation; the water that ran down the trunk corresponded to 1.3%, wherein 7.52% were intercepting by the canopy. It has been found that the interaction of rain with the forest canopy results in the leaching of metabolites present in atmospheric dust deposited on the surface of the canopy, increasing in 421% the concentration of K, in 24% the concentration of Ca and in 185% of Mg. In the throughfall, the order of predominance was Cl⁻ > K⁺ > SO₄⁻ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > NO₃⁻ > NO₂⁻ > PO₄³⁻. As for the stemflow, the order of predominance was K⁺ > Cl⁻ > Mg²⁺ > Ca²⁺ > SO₄⁻ > NO₃⁻ > NO₂⁻ > PO₄³⁻.

Keywords: Biogeochemical cycle; hydrological cycle; throughfall; stemflow.

4.1 Introdução

Toda a água contida na atmosfera constitui uma fase do ciclo hidrológico, que ocorre no sentido superfície-atmosfera devido à evapotranspiração e, no sentido inverso, em face das precipitações. A principal via de transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre é a precipitação na forma de chuva, que necessariamente não atinge os mesmos volumes evaporados num determinado local (SILVEIRA, 1993).

O mesmo pode ser observado dentro do ecossistema florestal, onde parte da precipitação pluviométrica é evaporada antes mesmo de atingir a superfície das folhas, sendo este fenômeno oriundo das condições de umidade da atmosfera acima do dossel. Parte pode ficar retida na superfície foliar durante a precipitação, fenômeno denominado de interceptação que pode ser perdida para o ambiente posteriormente na forma de evaporação (ANDRAE, 1978). O restante é redistribuído dentro do povoamento pela precipitação interna e escoamento pelo tronco (KIMMINS, 1987).

A água ao passar pelo dossel da floresta carrega consigo uma grande quantidade de partículas e aerossóis atmosféricos depositados na superfície dos tecidos vegetais (MARTINS et al., 2013). Segundo Poggiani (1992) e Castro (1980) a atuação da precipitação como agente carreador está fortemente relacionada aos eventos atmosféricos como poluição industrial, direção dos ventos predominantes, proximidade do mar e uso da terra, podendo deste modo, levar à superfície do solo, nutrientes e poluentes.

Os principais mecanismos naturais responsáveis pela transferência de nutrientes para o solo são a produção de serapilheira, a lavagem da vegetação pela chuva (onde ambas extraem as substâncias minerais e orgânicas das estruturas da parte aérea) e a decomposição da biomassa morta que inclui a serapilheira e raízes (SANCHEZ, 1976; GONZÁLEZ e GALLARDO, 1986).

O retorno de nutrientes pela água da chuva constitui um processo de suma importância na ciclagem biogeoquímica de nutrientes (PEREZ-MARIN e MENEZES, 2008), principalmente em regiões onde a fertilidade natural do solo é baixa e dependente da fertilização artificial.

A perpetuação da fertilidade nos ecossistemas florestais depende ao longo do tempo principalmente da adição de nutrientes através das chuvas e da liberação de novos nutrientes pelo intemperismo, sendo em longo prazo importante na renovação

do estoque de nutrientes no sistema. Em curto prazo, a manutenção da fertilidade do sítio está preponderantemente associada à entrada de nutrientes via precipitação atmosférica (LIMA, 1985). O que corrobora com a conclusão de Maestri (2003) que, quando estudou a influência de variáveis ambientais no incremento em altura dominante em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, concluiu que uma das variáveis mais significativas foi a precipitação pluviométrica.

Segundo Ashagrie e Zech (2010) os fluxos de nutrientes e a produtividade do ecossistema são impulsionados em grande parte pelo balanço hídrico, porque a água é ao mesmo tempo um recurso natural limitante na maioria das paisagens e o fluido de condução da maioria dos fluxos de nutrientes. A sustentabilidade de plantações com espécies de rápido crescimento nas regiões tropicais é uma preocupação por que essas plantações são normalmente estabelecidas em solos de baixa fertilidade, onde elevada exportação de nutrientes ocorre com a retirada da biomassa no final do da rotação.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivos: analisar a distribuição da precipitação pluviométrica em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* e quantificar o fluxo de cátions e ânions na água da chuva, antes e depois de passar pela copa das árvores de *Eucalyptus dunnii*, estabelecido no âmbito do bioma Pampa.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Amostragem e Quantificação

O presente estudo foi realizado em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* estabelecido na Fazenda Sesmaria Santo Inácio, em área pertencente à Empresa Stora Enso S.A, município de Alegrete/RS, região característica do bioma Pampa. A área experimental possui as seguintes coordenadas geográficas: 29° 47' S e 55° 17' W.

Para quantificar e analisar a precipitação pluviométrica (P) foi instalado seis coletores (3 repetições para coleta de água para análise química e 3 repetições para quantificação do volume) dispostos em uma área adjacente ao povoamento de *Eucalyptus dunnii*, sendo três coletores para a quantificação da precipitação, com diâmetro de captação de 20 cm, e três coletores foi utilizado para coleta das amostras

para análise da composição química, com diâmetro de captação de 15 cm. Os mesmos foram instalados a uma distância de 1,0 m entre si, a uma altura de 1,50 m acima do nível do solo, conforme norma da Organização Mundial de Meteorologia (Figura 4).



Figura 4 - Detalhe dos Pluviômetros utilizados externamente ao povoamento.

Para quantificação da precipitação interna (P_i), foram demarcadas quatro parcelas de 420,00 m² (21,00 x 21,00 m) no interior do povoamento, onde foram instalados 12 de coletores à 1,0 m de altura do nível do solo. Esses coletores possuem diâmetros de captação de 15 cm e capacidade de armazenamento de 2,0 litros. Foram distribuídos 3 coletores por parcela sendo um na linha, um na entrelinha e outro na diagonal entre duas árvores.

Para o escoamento pelo tronco (E_t), em cada parcela foram instalados três coletores, constituídos de uma calha coletora formada por mangueira plástica e um recipiente receptor para o armazenamento da solução. Os coletores foram fixados em uma árvore de DAP (diâmetro à altura do peito) médio, em uma árvore de DAP médio mais um desvio padrão e em uma árvore de DAP médio menos um desvio padrão.

O período de amostragem iniciou em janeiro de 2012 e foi concluído em dezembro de 2013, sendo que as coletas foram realizadas quinzenalmente. As amostras coletadas foram armazenadas em recipientes devidamente descontaminados e identificadas após cada coleta os coletores foram lavados com água deionizada. Posteriormente as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria para a realização das análises químicas.

Para obterem-se valores de precipitação interna e precipitação pluviométrica em milímetros para cada amostra coletada foi adotada a seguinte expressão:

$$P = V / a \quad (1)$$

Em que: P = precipitação pluviométrica (mm), V = volume coletado (L), a = área do coletor (m^2).

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

$$P = (V / g) \times (G / A) \quad (1)$$

Sendo: P = precipitação (mm), v = volume coletado (L), g = área basal da árvore (m^2), G = área basal da parcela (m^2), A = área da parcela (m^2).

A interceptação pela copa (I_c) foi calculada através da fórmula utilizada por Lima (1976):

$$I_c = P - (P_i + E_t) \quad (2)$$

Em que: I_c = perda por interceptação (mm); P = precipitação pluviométrica; P_i = precipitação interna; E_t = escoamento pelo tronco.

A precipitação efetiva que chega ao solo florestal (P_e) foi calculada pela soma entre a precipitação interna (P_i) e a quantidade de chuva que escoou pelo tronco ($P_e = P_i + E_t$).

4.2.2 Análises Químicas

Na análise de todas as amostras de água foram determinados o pH, com pHmetro contendo eletrodo de vidro (Metrohm 827 pH LAB), com posterior filtragem, com filtro de poros de 0,45 μm para determinação dos íons N-NO_2^- , N-NO_3^- , P-PO_4^- , S-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).

4.2.3 Procedimentos Estatísticos

As quantidades de cada nutriente foram estimadas multiplicando-se a biomassa de cada componente arbóreo, produzido ao longo do ano corrente, por sua correspondente concentração de nutrientes.

A partir das quantidades já determinadas, fez-se então o teste de Tukey para comparação de médias, a 5% de probabilidade de erro, para todas as concentrações dos elementos determinados em cada posição de coleta (Precipitação pluviométrica, Precipitação interna e Escorrimento pelo tronco) utilizando o Programa SAS (Statistical Analysis System, 1996) e o delineamento estatístico inteiramente casualizado.

A interação com o dossel (lixiviação de copa e absorção pelo dossel) foi calculado como a diferença entre a precipitação efetiva (precipitação interna e escoamento pelo tronco) e sua deposição atmosférica na precipitação pluviométrica.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Distribuição da precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica totalizou 1.385,28 mm, distribuída durante todo o ano, com mínima de 52,26 mm no mês de Setembro e máxima de 234,67 mm no mês de Novembro (Tabela 2). Deste montante de chuva, 91,35% foi de precipitação interna (1.265,40 mm) e 1,13% de escoamento pelo tronco (15,72 mm) (Tabela 3).

Tabela 2 - Precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), interceptação pela copa (Ic) e precipitação efetiva (Pe) em milímetros (mm) no povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden, município de Alegrete/RS.

Mês	P	Pi	Pi %	Et	Et %	Ic	Ic%	Pe	Pe %
Janeiro	54,4	47,3	87,0	0,4	0,7	6,7	12,4	47,66	87,64
Fevereiro	132,5	121,3	91,5	0,6	0,4	10,7	8,1	121,81	91,92
Março	90,3	85,4	94,6	1,2	1,3	3,7	4,1	86,55	95,86
Abril	125,9	108,3	86,0	1,1	0,9	16,5	13,1	109,40	86,92
Mai	112,2	104,1	92,8	0,5	0,5	7,5	6,7	104,66	93,28
Junho	64,3	57,2	89,0	0,8	1,2	6,3	9,8	57,97	90,20
Julho	103,7	95,1	91,7	1,0	0,9	7,6	7,4	96,03	92,64
Agosto	103,0	95,6	92,8	0,9	0,9	6,5	6,3	96,48	93,70
Setembro	52,3	46,5	89,0	0,4	0,8	5,4	10,3	46,90	89,74
Outubro	135,0	123,7	91,6	2,9	2,1	8,5	6,3	126,56	93,73
Novembro	234,7	218,8	93,2	4,4	1,9	11,5	4,9	223,22	95,12
Dezembro	177,2	162,3	91,6	1,6	0,9	13,3	7,5	163,88	92,50

Tabela 3 - Quantitativos anuais da precipitação total (P), precipitação Interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), Interceptação pluviométrica (Ic) e precipitação efetiva (Pe).

Quantitativo	P	Pi	Et	Ic	Pe
Total (mm)	1.385,28	1.265,40	15,72	104,18	1.281,12
Média (mm)	115,44	105,45	1,31	8,68	106,76
Máxima (mm)	234,67	218,79	4,43	16,46	223,22
Mínima (mm)	52,26	46,50	0,36	3,74	46,90
Porcentagem (%)	100,00	91,35	1,13	7,52	92,50

Laclau et al. (2005) avaliando um plantio de *Eucalyptus* sp., aos 6 anos de idade obtiveram que o escoamento pelo tronco de 1,6%. Corrêa (2011) em povoamento de *Eucalyptus dunnii* na mesma área de estudo verificaram que o escoamento pelo tronco foi de 1,5% da precipitação total incidente, valores estes muito similares ao encontrado pelo presente estudo. Caldato (2011) em um estudo com *Pinus taeda* encontrou uma precipitação interna de 68,9% e escoamento pelo tronco de 4,6% em relação a precipitação pluviométrica total verificada na área de estudo. Já Arcova et al. (2003), em área de regeneração de mata Atlântica, encontraram uma precipitação interna e escoamento pelo tronco de 81,2% e 0,2%, respectivamente.

Oliveira-Junior e Dias (2003) salientam em seu trabalho que percentuais baixos obtidos nos processos de escoamento pelo tronco, devem ser considerados de grande importância, pois a quantidade e a baixa velocidade da água que chega ao solo facilitam o processo de infiltração, além de conduzir os nutrientes da solução o mais próximo possível das raízes das plantas. Esse processo pode reduzir assim, o gasto de energia da planta na busca de nutrientes na solução do solo.

A interceptação pela copa das árvores do povoamento foi de 7,52% do total precipitado, sendo 104,18 mm, com os maiores valores verificados nos meses de abril e novembro. Soares e Almeida (2001) e Almeida et al. (2007) obtiveram uma interceptação média de aproximadamente 11% em plantação de *Eucalyptus grandis* no Brasil. Laclau et al. (2005) encontraram valores semelhantes ao presente estudo, onde a interceptação pelo dossel foi de 8% em relação a precipitação incidente no plantio de *Eucalyptus* sp.

Com relação à precipitação efetiva que chega ao solo do plantio, obteve-se um valor médio anual de 1.281,12 mm, correspondendo a aproximadamente 92,5% do total da precipitação pluviométrica (1.385,28 mm).

Cabe lembrar que a serapilheira também contribui na interceptação da chuva que chega ao solo florestal, porém neste estudo não foi realizado o monitoramento deste quantitativo. Conforme a literatura a interceptação pela serapilheira é considerada em torno de 3% da precipitação efetiva (precipitação interna + escoamento pelo tronco) (Lee, 1980). Segundo o mesmo autor, a quantidade de água chuva retida pela serapilheira pode variar entre 1 e 5% da precipitação pluviométrica. Sendo assim para este estudo a interceptação da serapilheira equivale a 38,43 mm de 1.281,12 mm da precipitação efetiva. Segundo Silva et al. (2006) essa umidade retida na camada superficial de serapilheira auxilia na decomposição do material

depositado e na manutenção da umidade e da temperatura da camada superficial do solo nos períodos de seca.

Esses resultados podem constituir informações úteis para o administrador florestal no que tange a utilização da água e do solo. A partir do conhecimento dos diferentes processos envolvidos no ciclo hidrológico em plantações florestais, torna-se possível reconhecer e adotar práticas de manejo silviculturais desejáveis e adequadas para cada situação (LIMA, 1976).

4.3.2 Características químicas da precipitação

Na Tabela 4 estão as concentrações médias dos principais íons presentes na solução da precipitação pluviométrica e nas soluções da precipitação interna e do escoamento pelo tronco.

Tabela 4 - Concentração média (mg L^{-1}) dos íons presentes na solução da precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et).

Variável	P	Pi	Et
NO_2^-		0,01 a*	0,10 a
NO_3^-	0,11 b	0,29 a	0,11 b
PO_4^{3-}	0,01 a	0,01 a	0,10 a
K^+	0,29 b	1,51 b	11,37 a
Ca^{2+}	0,67 b	0,83 b	2,10 a
Mg^{2+}	0,13 b	0,37 b	2,40 a
SO_4^{2-}	0,74 a	1,09 a	0,70 a
Cl^-	0,60 b	1,72 b	9,58 a

*Valores seguidos de mesma letra na linha não diferem a 5% de probabilidade de erro pelo Teste de Tukey.

Pode-se observar que para todos os elementos houve um incremento na concentração após a água passar pela copa das árvores. Na precipitação interna, a ordem de predominância foi de $\text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^- > \text{PO}_4^{3-}$. Já para o escoamento pelo tronco a ordem de predominância é $\text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^- > \text{PO}_4^{3-}$.

Em análise à concentração de Ca, Bäumlér e Zech (1997) encontraram uma concentração média de $0,63 \text{ mg L}^{-1}$ na precipitação incidente e $1,08 \text{ mg L}^{-1}$ na precipitação interna. Corrêa (2011) em povoamento de *Eucalyptus dunnii* no bioma

Pampa encontrou teores de Ca de $0,35 \pm 0,48 \text{ mg L}^{-1}$ na precipitação pluviométrica e $0,50 \pm 0,41 \text{ mg L}^{-1}$ na precipitação interna

Calil (2008) avaliando a concentração de alguns elementos presentes na solução de precipitação, obteve uma concentração média de K na ordem de $1,07 \text{ mg L}^{-1}$. Já Schumacher et al. (2008) encontraram uma concentração média de $0,41 \text{ mg L}^{-1}$ de K^+ em condições de campo. Bäumlér e Zech (1997) verificaram $0,43 \text{ mg L}^{-1}$ na precipitação e $2,01 \text{ mg L}^{-1}$ na precipitação interna, valor este muito próximo ao encontrado neste estudo.

Verifica-se que a ação da copa na lixiviação de metabólitos presentes na poeira atmosférica depositada sob a copa do povoamento de *Eucalyptus dunnii* aumentou na faixa de 421% à concentração de K.

O K, apesar de ser um macronutriente, não constitui estrutura de nenhum composto orgânico dentro da planta. Este atua no controle da abertura e fechamento dos estômatos (EPSTEIN e BLOOM, 2006), estando fortemente suscetível a lixiviação (VIANA, 2007). Já o Cl apresenta como possível fator predominante na sua deposição a volatilização do próprio elemento nas águas marítimas e seu transporte pelo vento conforme observado por Almeida (2001), Coelho (2007).

O Ca, diferentemente do K, está intimamente associado a estrutura da parede celular dos tecidos. Este, por sua vez apresenta como principal fator atuante na sua deposição a ação da poeira advindas das estradas próximas e das áreas agricultáveis vizinhas através da calagem aplicada sob a superfície do solo conforme mencionam Laclau et al. (2003) e Caldato (2011).

Um fator que pode contribuir no enriquecimento da precipitação interna é a forte atuação da copa na retenção na superfície dos tecidos vegetativos de particulados suspensos na poeira atmosférica, que são trazidos, principalmente, pela ação do vento de áreas agricultáveis vizinhas, queimadas de campo e de estradas próximas ao local (ARCOVA e CICCIO, 1985 e RIZINI e LIMA, 2002).

Cabe destacar que para todos os elementos, através do escoamento pelo tronco aumentou a concentração em grandes percentagens, exceto SO_4^{2-} e NO_3^- que não apresentaram aumento significativo, fato este que pode estar relacionado com a baixa diluição dos elementos na solução, uma vez que quanto menor a quantidade de solução, menor será a diluição. O efeito da diluição dos elementos na solução também foi verificado por Scheer (2009), Calil et al. (2010) e Corrêa (2011).

A deposição anual de nutrientes pela precipitação pluviométrica variou de 0,13 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de PO₄⁻ a 6,50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de SO₄²⁻. Ashagrie e Zech (2010) estudando um povoamento de *Eucalyptus globulus*, observaram que a deposição anual variou de 0,08 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mg para 3,79 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Na.

Tabela 5 - Quantidades anuais (kg ha⁻¹ ano⁻¹) dos íons presentes na solução da precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et).

Variável	P	Pi	Et	Interação c/ dossel	Fator de contribuição
NO ₂ ⁻	0,14	0,11	0,00055	- 0,03	0,78
NO ₃ ⁻	0,90	0,85	0,00337	- 0,05	0,94
PO ₄ ⁻	0,13	0,25	0,00260	0,12	1,92
K ⁺	2,51	6,49	0,48797	4,47	2,59
Ca ²⁺	5,58	4,17	0,10365	- 1,31	0,74
Mg ²⁺	1,36	1,86	0,09183	0,59	1,36
SO ₄ ²⁻	6,50	4,13	0,02877	- 2,34	0,63
Cl ⁻	3,17	6,50	0,31057	3,64	2,05
Total	20,29	24,36	1,02931	--	--

As quantidades totais anuais de nutrientes que chegaram ao solo (Tabela 5) foram de 20,29 kg ha⁻¹ ano⁻¹ via precipitação pluviométrica; 24,36 kg ha⁻¹ ano⁻¹ via precipitação interna e 1,03 kg ha⁻¹ ano⁻¹ via escoamento pelo tronco, ou seja, a precipitação interna contribuiu em 95,9% da quantidade de nutrientes que chegaram ao solo, derivados da deposição seca e lixiviação de solutos.

As maiores entradas via precipitação pluviométrica foram de SO₄²⁻ (6,50 kg ha⁻¹ ano⁻¹), Ca²⁺ (5,58 kg ha⁻¹ ano⁻¹), Cl⁻ (3,17 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e K⁺ (2,51 kg ha⁻¹ ano⁻¹), mas as quantidades de Cl⁻ e K⁺ na precipitação interna foram maiores que SO₄²⁻ e Ca²⁺, uma vez que houve redução das quantidades de SO₄²⁻ e Ca²⁺ ao atingirem a cobertura florestal. Na Tabela 5 pode-se observar que as maiores contribuições de nutrientes foram via precipitação interna, contribuindo com 6,5 kg ha⁻¹ de Cl⁻ e 6,49 kg ha⁻¹ de K⁺.

Os valores negativos ou positivos da interação com o dossel do povoamento de *Eucalyptus dunnii* indicam absorção (negativo) ou lixiviação (positivo) de um determinado íon. A quantidade lixiviada ou absorvida pela copa foi calculada através da subtração do total que atingiu o piso florestal (Pi + Et) pela precipitação pluviométrica.

Foi observado que houve absorção de N pela copa, na forma de nitrato e nitrito, Ca e S na forma de sulfato. Laclau et al. (2010) também verificaram absorção de N pelo dossel nos dois locais do seu estudo, no Brasil e no Congo, segundo os autores é classicamente observado em ecossistemas florestais. Parker (1983) relatou absorção foliar, ocasionalmente, de Ca e SO_4^{2-} , assim como visto neste estudo.

A lavagem de materiais depositados sobre a superfície do dossel e lixiviação de solutos intracelulares do dossel resultou em um enriquecimento da precipitação interna com os nutrientes K^+ , Cl^- e P, apresentando elevados fatores de contribuição de 2,59, 2,05 e 1,92 respectivamente (Tabela 4). Ashagrie e Zech (2010) verificaram em diversos tipos florestais enriquecimento de K^+ , Mg, Ca^{2+} e Cl^- . Assim como verificado por Laclau et al. (2010) este estudo mostrou que a lixiviação de nutrientes pelo dossel é baixa nestas plantações ($< 5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, mesmo para K^+).

A maior entrada via escoamento pelo tronco foi de K^+ de $0,49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a menor entrada pelo escoamento pelo tronco foi de $0,00055 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de NO^{-2} . Levia e Geada (2003) também verificaram maior entrada de K^+ via escoamento pelo tronco, porém em maior quantidade de $2,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A entrada total anual de nutrientes via precipitação total foi na ordem decrescente $\text{S} > \text{Ca} > \text{Cl} > \text{K} > \text{Mg} > \text{NO}^{-3} > \text{NO}^{-2} > \text{P}$. Já a composição total de nutrientes lixiviados pela precipitação interna neste povoamento de *Eucalyptus dunnii* foi na seguinte ordem decrescente: $\text{P} > \text{K} > \text{Mg} > \text{NO}^{-2} > \text{NO}^{-3} > \text{Ca} > \text{Cl} > \text{S}$. As maiores entradas anuais via precipitação interna foram de Cl com 26,7% do total e K com 26,6%.

Alguns estudos com ciclagem biogeoquímica foram resumidos na Tabela 6 quanto ao fluxo de nutrientes em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na precipitação pluviométrica (P) e precipitação interna (Pi).

Tabela 6 - Fluxos anuais ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) de precipitação pluviométrica (P) e precipitação interna (Pi) do presente estudo e outros estudos relacionados ao ciclo biogeoquímico.

Tipo Vegetação	País Cidade	P/Pi	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	Referência
<i>Eucalyptus dunnii</i>	Brasil	P	0,14	0,90	0,13	2,5	5,6	1,3	6,5	3,2	Atual estudo
	Alegrete	Pi	0,11	0,85	0,25	6,49	4,2	1,9	4,1	6,5	
<i>Eucalyptus dunnii</i>	Brasil	P	0,15	1,86	0,42	0,81	3,39	0,97	2,67	3,06	Corrêa 2011
	Alegrete	Pi	0,15	1,90	0,55	7,52	5,26	1,96	2,65	1,11	
<i>Eucalyptus grandis</i>	Brasil	P	-	4,1	-	3,6	9,3	1,5	-	14,0	Laclau et al. 2010
	Itatinga	Pi	-	3,6	-	7	6,2	2,0	-	12,5	
<i>E. urophylla</i> (ST Blake) × <i>E. grandis</i>	Congo	P	-	5,4	-	6,2	7,3	3,1	-	27,8	Laclau et al. 2010
	Kondi	Pi	-	3,3	-	5,8	9,1	3,0	-	24,3	
<i>Eucalyptus globulus</i>	Etiópia	P	-	0,80	0,18	0,8	1,77	0,08	1,81	1,95	Ashagrie et al. Zech 2010
	Munesa	Pi	-	0,61	0,04	9,1	4,36	1,22	1,40	3,76	
Floresta Tropical	Panamá	P	-	-	0,7	13,5	27,9	4,1	13,2	34,5	Cavalier et al. 1997
	Cordilheira Central	Pi	-	-	2,2	63,2	35,1	7,6	6,1	131,2	
Floresta Montanha	Malásia	P	-	5	0,1	4	4	1,2	24	23	Bruijnzeel et al. 1993
	Sabah	Pi	-	10	0,11	23	12	7	43	59	
Floresta Tropical	Colômbia	P	-	-	0,72	7,9	10,1	3,2	26,2	19,4	Veneklas 1991
	Cordilheira Central	Pi	-	-	1,67	95,2	27,1	10,7	40,9	36,3	
Floresta Tropical	Porto Rico	P	-	-	-	18,2	21,8	4,9	-	-	Veneklas 1990
		Pi	-	-	-	15,5	34,8	9,2	-	-	

Em que: P = Precipitação pluviométrica e Pi = Precipitação interna.

Conforme se pode observar na Tabela 6, o aporte de nutrientes via precipitação pluviométrica que ocorreu no presente estudo foram inferiores aos valores obtidos nos sítios com Florestas Tropicais, no Panamá, Malásia, Colômbia e Porto Rico. Mas os valores obtidos estão em consonância aos resultados encontrados por Corrêa (2011), Ashagrie e Zech (2010) e Laclau et al. (2010), estudos este, realizados em povoamentos de *Eucalyptus* sp., considerando o aporte de K e Mg.

Em áreas plantadas com *Eucalyptus globulus* na Etiópia, foi observado por Ashagrie e Zech (2010) uma entrada de $0,80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N pela precipitação pluviométrica e $0,61 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ via precipitação interna, valores semelhantes a este estudo onde foi encontrada a entrada de $0,90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N via precipitação pluviométrica e $0,08 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, via precipitação interna.

Laclau et al. (2010) avaliando a ciclagem de nutrientes em plantações de *Eucalyptus*, no Brasil encontraram ao final da rotação, um aporte médio anual de N ($3,6 \text{ kg ha}^{-1}$), K (7 kg ha^{-1}), Ca ($6,2 \text{ kg ha}^{-1}$), Mg ($2,0 \text{ kg ha}^{-1}$) e Cl ($12,5 \text{ kg ha}^{-1}$) na

precipitação interna. Os valores encontrados pelos autores para K e Mg são semelhantes aos obtidos pelo presente estudo.

4.4 Conclusões

A precipitação interna no povoamento de *Eucalyptus dunnii* foi de 91,35 % da precipitação total (1.385,28 mm) e a percentagem de chuva que ficou interceptada pela copa foi de 7,52 % do total precipitado.

A concentração dos nutrientes presentes na precipitação pluviométrica variou na faixa de 0,01 mg L⁻¹ de PO₄³⁻ à 0,74 mg L⁻¹ para o SO₄²⁻. As concentrações de NO₂⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, presentes na precipitação pluviométrica não mostraram alterações significativas ao passar pela copa do povoamento de *Eucalyptus dunnii*, enquanto os íons NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Cl⁻ aumentaram significativamente as concentrações, especialmente o K⁺ via escoamento pelo tronco.

Na precipitação interna, a ordem de predominância foi de Cl⁻ > K⁺ > SO₄⁻ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > NO₃⁻ > NO₂⁻ > PO₄³⁻. Já para o escoamento pelo tronco a ordem de predominância é K⁺ > Cl⁻ > Mg²⁺ > Ca²⁺ > SO₄⁻ > NO₃⁻ > NO₂⁻ > PO₄³⁻.

As quantidades totais anuais de nutrientes que chegaram ao solo foram de 25,39 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo deste total 24,36 kg ha⁻¹ ano⁻¹ via precipitação interna e 1,03 kg ha⁻¹ ano⁻¹ via escoamento pelo tronco, ou seja, a precipitação interna contribuiu em 95,9% da quantidade de nutrientes que chegaram ao solo, derivados da deposição seca e lixiviação de solutos.

O retorno anual de nutrientes para o solo, neste estudo, para os elementos Cl⁻ e K⁺ foram predominantemente via precipitação interna, com 6,5 e 6,49 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Com base nos resultados obtidos neste estudo pode-se concluir que é de extrema importância conhecer a composição da precipitação que chega ao piso florestal para podermos estimar corretamente as quantidades de fertilizantes necessárias para sustentar a produtividade como também conservar em longo prazo os principais parâmetros do meio ambiente: o solo e a água superficial.

4.5 Referências Bibliográficas

ALMEIDA, M. D. **Identificação dos principais fatores de controle do aporte atmosférico de substâncias inorgânicas no Maciço do Itatiaia – RJ**. 173 f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2001.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J. J.; REZENDE, G. D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, v. 251, ed. 1- 2, n. 30, p 10-21, 2007.

ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: Imprensa Universitária da UFSM, 1978. 230p.

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.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha, SP. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257-262. 2003.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Balanço dos nutrientes Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} e NO_3 em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural do parque estadual da Serra do Mar. Cunha, SP. **IPEF**, n.31, p. 61-67,1985.

ASHAGRIE, Y.; ZECH, W. Dynamics of dissolved nutrients in forest floor leachates: comparison of a natural forest ecosystem with monoculture of tree species plantations in southeast Ethiopia. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 10, n. 2-4, p. 183-190, 2010.

BÄUMLER, R.; ZECH, R. W. Atmospheric deposition and impact of forest thinning on the throughfall of mountain forest ecosystems in the Bavarian Alps. 1997. **Forest Ecology and Management**. Germany. v. 95, n. 3, 1, p. 243-251, 1997.

BRUIJNZEEL, L. A.; WATERLOO, M. J.; PROCTOR, J.; KUITERS, A. T.; KOTTERINK, B. Hydrological observations in montane rain forests on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the “Massenerhebung” effect. **Journal Ecology**, v. 81, p. 145-167, 1993.

CALDATO, S. L. **Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em uma plantação de *Pinus taeda* L. no nordeste argentino**. 106 f. Tese (Doutorado em Silvicultura) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

CALIL, F. N. **Aspectos Nutricionais de um Sistema Agroflorestal com Eucalipto no Sul do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

CALIL, F. N.; SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; LOPES, V. G.; VIERA, M. LIBERALESSO, E. Ion input via rainwater in southwestern region of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 16, n. 3, p. 373-380, 2010.

CASTRO, P. S. **Influência da Cobertura Florestal na Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas na Região de Viçosa, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, SP. 1980.

CAVELIER, J.; JARAMILLO, M.; SOLIS, D.; LEÓN, D. Water balance and nutrient inputs in bulk precipitation in tropical montane cloud forest in Panama. **Journal of Hydrology**, v. 193, p. 83-96, 1997.

COELHO, C. H. **Deposição atmosférica de espécies químicas em Ribeirão Preto, uma importante cidade canavieira do estado de São Paulo**. USP - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Unidade da Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, SP. 2007.

CORRÊA, R. S. **Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* estabelecido no bioma pampa**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina, PR: Editora Planta, 2006. 403p.

GONZÁLEZ, M. I. M.; GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revisión. **Anales de edafología y agrobiología**. p. 1130-1157, 1986.

KIMMINS, J. P. **Forest Ecology and Management**. New York: Macmillan, 1987. 531p.

LACLAU, J. P.; RANGERS, J.; NZILA, J. N.; BOUILLET, J. P.; DELEPORTE, P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo 3: Chemical composition of rainfall, throughfall and stemflow solutions. **Forest Ecology and Management**, v. 176, p. 105-119, 2003.

LACLAU, J. P.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo 3. Input-output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**. v. 210, ed.1-3, n. 16, p. 375-391, 2005.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J. L. M.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A. V.; M'BOU, A. T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P.; PICCOLO, M. C.; DELEPORTE, P. Productivity in Tropical Plantations Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 259, ed.9, p. 1771-1785, 2010.

LEE, R. **Forest Hydrology**. Columbia University Press. New York, USA. 349p. 1980. LEVIA, D.; GEADA, E. A review and evaluation of stemflow production in hydrological

and biogeochemical cycles in forest and agricultural ecosystems, **Journal of Hydrology**, v. 274, ed. 1-4, p.1-29, 2003.

LIMA, W. P. Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. **IPEF**, 13: 75-90. 1976.

LIMA, W. P. Ação das chuvas no ciclo biogeoquímico de nutrientes em plantações de pinheiros tropicais e em cerrado. **IPEF**, Piracicaba, SP, n.30, p.13-17, Ago. 1985.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 143p. Tese (Doutorado) Curitiba, PR: 2003.

MARTINS, R. F.; LISBOA, H. M.; HAAS, R.; MARQUEZI, C. Qualidade da Água de Chuva no Litoral de Santa Catarina. In: 5ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Santa Catarina. **Anais...** Disponível em: (http://www.sepex.ufsc.br/anais_5/trabalhos/840.html). Acesso em: 09 de setembro de 2013.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário de mata atlântica. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 257 – 262, 2003.

PARKER, G. G. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. **Adv. Ecol. Res.**, v. 13, p. 57-133, 1983.

PEREZ-MARIN, A. M.; MENEZES, R. S. C. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2573 - 2579, 2008.

POGGIANI, F. Alterações dos ciclos biogeoquímicos em florestas. **Revista do Instituto Florestal**, v. 3, p. 734-739. 1992.

PREUHSNER, 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.

RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, n. 61, p. 144-159, 2002.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley and Sons, 1976. 409p.

SAS - **Statistical Analysis System**. Sistema integrado de aplicações para análise estatística de dados. 1996.

SCHEER, M. B. Fluxo de nutrientes pela precipitação pluviométrica em dois trechos de floresta ombrófila densa em Guaraqueçaba, Paraná. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 1, p. 117-130, jan./mar. 2009.

SCHUMACHER, M. V.; TRUBY, P.; NAVROSKI, M. C. Adição de nutrientes pela água da chuva em uma Floresta Estacional; Decidual em comparação com campo nativo em Itaára/RS, Brasil. **Relatório parcial de pesquisa**. (Dados não publicados), 2008.

SILVA, F. A. M.; PINTO, H. S.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária**. Brasileira, Brasília, v. 41, n. 5, p.717-724, 2006.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade/ABRH/EDUSP, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4, p.35-51, 1993.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**. Australia. v. 253, ed. 1-4, n. 15, p.130-147, 2001.

VENEKLAAS, E. J. Nutrient fluxes in bulk precipitation and throughfall in two montane tropical rain forests Colombia. **Journal of Tropical Ecology**. v. 78, p. 974-992, 1990.

VENEKLAAS, E. J. Litterfall, nutrient fluxes in two montane tropical rain forests Colombia. **Journal of Tropical Ecology**. v. 7, p. 319-336, 1991.

VIANA, E. M. **Interação nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Piracicaba, SP. ESALQ/USP. 2007.

5 PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus dunnii* Maiden

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi quantificar a biomassa e o estoque de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*, aos 4,2 anos de idade em Alegrete/RS, região do bioma Pampa. A amostragem e determinação da biomassa foram realizadas a partir do abate de doze árvores, selecionadas com base na distribuição diamétrica, considerando quatro classes de diâmetro, com corte de árvores com diâmetro correspondente ao limite superior, médio e inferior da classe distribuídas em quatro parcelas. As árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo e a biomassa fracionada nos seguintes componentes: folha, galho, casca, madeira e raízes. As amostras coletadas foram enviadas ao Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, onde foram processadas para determinação dos teores de nutrientes. A biomassa total, considerando todos os componentes da árvore, foi de 67,49 Mg ha⁻¹. A sequência decrescente de acúmulo de biomassa foi: madeira do tronco > raiz > casca do tronco > galhos > folhas. O estoque total de macronutrientes, em kg ha⁻¹, foi de: 211,51 de N; 22,12 de P; 199,88 de K; 39,70 de Ca; 86,42 de Mg e 25,05 de S; e o estoque de micronutrientes, em g ha⁻¹, foi de 562,57 de B; 401,46 de Cu; 9.913,28 de Fe; 31.877,82 de Mn e 766,96 de Zn. Verificou-se acúmulo de Mg nos componentes da biomassa, sendo que as maiores concentrações de nutrientes estão nos tecidos das copas. No entanto, a maior quantidade de biomassa encontra-se na madeira.

Palavras-chave: produtividade florestal; silvicultura; nutrição florestal.

Abstract

The objective of this work was to quantify the biomass and the stock of nutrients in a *Eucalyptus dunnii* forest stand, with 4,2 year in Alegrete/RS, Pampa biome region. The samples and determinations of biomass were realized with cutting of twelve trees selected with base in the diametric dispersion, considering four diameter classes, with cutting trees with diameter corresponding to the upper, middle and lower limits of diameter class distributed in four installments. The selected trees were cutted at ground level and, the biomass was fractionated in the following components: leaf, twig, bark, wood and roots. The samples were sent to the Laboratory of Forest Ecology UFSM, where were processed to determine the levels of nutrients. The total biomass, considering all the components of the tree was 67.49 Mg ha⁻¹. The descending sequence of biomass accumulation it was: stem wood > root > bark of the trunk > branches > leaves. The total stock of nutrients in kg ha⁻¹, was: 211.51 to N; 22.12 to P; 199,88 to K; 39,70 to Ca; 86.42 to Mg and 25.05 to S; and the stock of micronutrients in g ha⁻¹, was 562.57 to B; 401.46 to Cu; 9913.28 to Fe; 31877.82 to Mn and 766.96 to Zn. It was observed an accumulation of manganese in the biomass components, whereas highest concentrations of nutrients are in the tissues of canopy. However, the highest amount of biomass is wood.

Keywords: forest productivity; silviculture; forest nutrition.

5.1 Introdução

As pesquisas sobre o ciclo de nutrientes de uma floresta nativa ou mesmo em uma plantação são de fundamental importância, possibilitando a previsão de situações que poderiam ser críticas a médio e longo prazo, tanto em relação à produtividade, como em relação às características do solo. Possibilitando assim, a adoção de medidas que garantam a manutenção da capacidade produtiva dos sítios destinados à silvicultura.

A quantificação da biomassa da floresta é fundamental no estudo da ciclagem mineral. A biomassa representa matéria orgânica armazenada no ecossistema; ela especifica o valor numérico dos componentes do ecossistema. Com a informação sobre a biomassa orgânica e a sua concentração de elementos, pode-se calcular o reservatório de elementos minerais da floresta (GOLLEY et al., 1975).

Conforme Higuchi et al. (1998), as estimativas de biomassa florestal são informações imprescindíveis nas questões ligadas, entre outras, às áreas de manejo florestal. Para desenvolver e acumular biomassa, as plantas superiores necessitam de energia solar, CO², água e elementos minerais como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, cloro, ferro, manganês, molibdênio, zinco, cloro, níquel (HAAG, 1985).

A acumulação de biomassa é influenciada pelos fatores que afetam a fotossíntese e a respiração como: luz, temperatura, concentração de CO² do ar, umidade e fertilidade do solo, fungicidas, inseticidas e doenças além de fatores internos que incluem a idade das folhas, sua estrutura e disposição, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila e acumulação de hidratos de carbono (KRAMER e KOZLOWSKI, 1972). Caldeira (1998) também destaca a importância da qualidade do sítio, textura e disponibilidade de nutrientes no solo, das características climáticas e da altitude na qual está localizado o povoamento e da procedência.

Segundo Schumacher (1996), a manutenção da capacidade produtiva de um sítio só poderá ser mantida em longo prazo quando a utilização da biomassa e as perdas pela erosão forem repostas de forma eficiente. Para o autor é fundamental quantificar a biomassa produzida e a quantidade de nutrientes que é exportada pela colheita florestal.

A manutenção do estoque de nutrientes minerais no solo bem como da produtividade de biomassa das espécies arbóreas de rápido crescimento está ligada

diretamente ao processo de ciclagem de nutrientes. Nesse sentido o presente estudo tem por objetivo quantificar a produção de biomassa e o estoque de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden, com 4,2 anos de idade, localizado em Alegrete, RS.

5.2 Materiais e Métodos

5.2.1 Amostragem da biomassa e estimativa do teor de nutrientes

Estimou-se a biomassa do povoamento de *Eucalyptus dunnii* com base nas variáveis dendrométricas de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total, obtidas através de inventário florestal, seguindo os princípios descritos em Finger (1992) e Péllico Netto e Brena (1997).

Foram definidas quatro parcelas, com dimensão de 20 m x 21 m cada, sendo que as árvores foram mensuradas no mês de novembro de 2012, ocasião em que o povoamento estava com 4,2 anos. O material utilizado para medição consistiu em fita diamétrica, graduada em centímetros, para medição do DAP e hipsômetro Vertex, para mensuração da altura (em metros).

A partir das informações dendrométricas (Tabela 7) foram estabelecidas classes de diâmetro, considerando a distribuição de frequências, para posterior definição do abate das árvores e destinadas à quantificação da biomassa.

Tabela 7 - Características dendrométricas do povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 4,2 anos em Alegrete/RS.

Parâmetros	<i>Eucalyptus dunnii</i>
DAP médio (cm)	11,90
Altura média (m)	13,80
Área Basal (m ² ha ⁻¹)	14,03
IAF (Índice de Área Foliar)	2,78
Volume c/c (m ³ ha ⁻¹)	124,30

Para a coleta da biomassa acima do solo, realizou-se a distribuição dos diâmetros em quatro classes (2,0 – 6,0; 6,1 – 10,0; 10,1 – 14,0; 14,1 – 18 cm). De

cada uma das classes foram abatidas três árvores (limite inferior, médio e superior), resultando em 12 repetições. As árvores selecionadas foram fracionadas em lenho, casca, galhos e folhas e pesadas na sua totalidade, com auxílio de balança de gancho, e devidamente amostradas e pesadas em balança de plataforma. Para o diâmetro mínimo do fuste (diâmetro comercial mínimo), foi considerada a medida mínima de 8 cm.

Para estimar a biomassa e o estoque de nutrientes, foram coletadas amostras representativas de cada componente, que foram pesadas no campo com balança de precisão e acondicionadas em sacos de plásticos. Procedeu-se da seguinte forma: para os componentes folhas e galhos, foi coletada uma amostra por árvore (Figura 5).



Figura 5 - Aspectos da metodologia utilizada. Separação por componente da biomassa (A), amostras de madeira (B) e separação de folhas e galhos (C).

Para a madeira e a casca, foi feita a distribuição de três pontos de amostragem no percorrer do comprimento do fuste comercial ($> 8,0$ cm) nas posições medianas das secções resultantes da divisão em três partes iguais do mesmo (Figura 6).

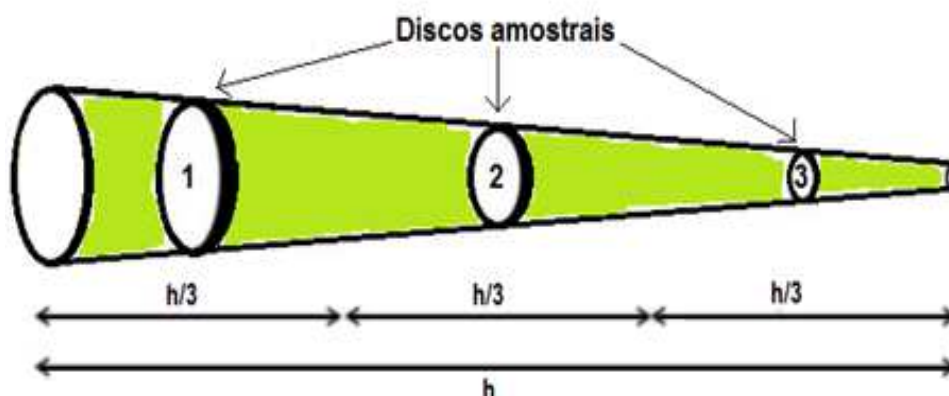


Figura 6 - Posições da coleta dos discos para a amostragem de madeira e casca.

Em que: h = Comprimento do fuste comercial.

Após a amostragem de cada componente, o que correspondeu a 150 g de massa úmida de cada uma, as amostras foram colocadas em embalagens plásticas, devidamente identificadas e levadas para o LABEFLO (Laboratório de Ecologia Florestal) da UFSM. No laboratório, foram postas para secagem em estufa de circulação de ar a 70°C, até atingir peso seco constante. Foi determinada a massa seca, utilizando balança digital de precisão (0,01 g) e, posteriormente foi estimada a quantidade total de biomassa por hectare.

A análise dos nutrientes, na fração galhos foi realizada através da amostragem, de forma aleatória, onde todo o componente, considerando galhos finos e grossos, vivos e mortos localizados em toda a copa. Na fração folhas, assim como nos galhos, a amostragem foi realizada de forma aleatória. Das amostras foram determinados macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995), sendo efetuadas pelo Laboratório de Ecologia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, RS.

A quantificação da biomassa foi realizada com base na biomassa média seca de cada componente e estimada com base nas árvores amostradas. O cálculo da quantidade de nutrientes, nos compartimentos do *Eucalyptus dunnii*, foi efetuado por meio do produto da concentração média de nutrientes e a biomassa.

A biomassa abaixo do solo foi obtida a partir de quatro árvores, através da escavação do solo, com auxílio de pás e enxadas e máquina retroescavadeira, na área útil da árvore de limite médio, em cada uma das classes até a profundidade de 1 m (Figura 7). Dessa forma estimou-se a biomassa produzida por hectare com base na área de cada parcela.



Figura 7 - Aspectos da determinação de biomassa de raízes. Área de coleta de raízes (A), raízes finas (B) e raízes grossas (C).

Para análise estatística, utilizou-se o teste de Tukey ($\alpha = 5\%$), com auxílio do *software* Assistat versão 7.7, considerando-se o delineamento inteiramente casualizado. Para a biomassa abaixo do solo, cada árvore analisada correspondeu a uma repetição, para a biomassa acima do solo foi considerando cada um dos componentes da biomassa.

A biomassa das árvores de *Eucalyptus dunnii* foi estimada por meio de equações de regressão (Tabela 8), utilizando-se o procedimento *stepwise*, através do *software* SAS 13.0 for Windows (1996), considerando o nível de 5% de probabilidade de erro.

Com o modelo selecionado calculou-se o peso seco por árvore nas diferentes classes diamétricas do povoamento. Para calcular e estimar a biomassa acima do solo, os coeficientes b_0 e b_1 da equação $\ln y = b_0 + b_1(\ln x)$ foram obtidos a partir de 12 árvores.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Estimativa da biomassa do povoamento de *Eucalyptus dunnii*

Tabela 8 - Parâmetros e estatísticas de ajuste do modelo de regressão utilizado para estimar a biomassa acima do solo, para *Eucalyptus dunnii* aos 4,2 anos de idade.

Equação	$\ln y = b_0 + b_1 * (\ln x)$		
Componentes	Coefficientes e estatísticas de ajuste		
	b₀	b₁	R²_{ajust.}
Folhas	- 4,067957	2,057995	0,91
Galhos	- 4,611727	2,493024	0,97
Casca	- 3,069934	1,960667	0,94
Madeira	- 2,750768	2,469169	0,98

Onde: Coeficientes de Regressão (b₀ e b₁); Coeficiente de Determinação ajustado (R²_{ajust.}).

O modelo $\ln(y) = b_0 + b_1 * \ln(dap)$ apresentou melhor ajuste para todos os compartimentos, onde $\ln(y)$ representa o logaritmo natural da biomassa seca (kg por árvore) dos componentes, $\ln(dap)$ o logaritmo natural do diâmetro (DAP cm) e b₀ e b₁ os coeficientes de regressão (Tabela 8). Essa equação também foi a utilizada em outros estudos de biomassa para *Pinus taeda* (ADEGBIDI et al., 2002 e FASSOLA et al., 2010) e para *Eucalyptus globulus* (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001).

Na Tabela 9 verificam-se os valores da biomassa de cada um dos componentes das árvores de *Eucalyptus dunnii*.

Tabela 9 - Valores da biomassa (Mg ha⁻¹) do povoamento de *Eucalyptus dunnii*.

Componentes	Biomassa (Mg ha⁻¹)	(%)
Folhas	3,55	5,3
Galhos	6,45	9,5
Copa	10,00	14,8
Casca do tronco	7,94	11,7
Madeira do tronco	40,82	60,5
Tronco	48,76	72,2
Raízes	8,73	13,0
TOTAL	67,49	100,0

Pode-se observar que 87% da biomassa do povoamento ocorreram acima do solo e que 60,50% da biomassa total correspondem à madeira, sendo a sequência decrescente da distribuição nos diferentes componentes a seguinte: madeira > raiz > galho > casca > folha. A biomassa acima do solo foi de 48,76 Mg ha⁻¹.

A biomassa das raízes representa 13,0% da biomassa total. Segundo Foelkel (2014), dependendo da espécie de eucalipto e da qualidade do povoamento, as raízes podem participar com 10 a 25% do peso total da biomassa florestal. As florestas bem produtivas e com árvores performantes possuem entre 9 a 13% do peso da biomassa total como raízes.

Poucos estudos são verificados na literatura considerando aspectos relacionados ao *Eucalyptus dunnii*, sendo um dos mais expressivos o trabalho de Hernández et al. (2009), onde os autores constataram em um plantio da espécie com 9 anos, implantado em Algorta no Uruguai, estabelecido sobre solo com elevado conteúdo de matéria orgânica e alta fertilidade, a produção de biomassa total na quantidade de 236 Mg ha⁻¹. A maior biomassa foi verificada na madeira (172 Mg ha⁻¹), seguida de casa (29 Mg ha⁻¹), galhos (22 Mg ha⁻¹) e folhas (13 Mg ha⁻¹). Este resultado expressa a influência da qualidade do sítio na produção do povoamento, sendo que, em condições de baixa fertilidade do solo, como no caso do presente estudo, a biomassa produzida foi expressivamente distinta.

Em povoamento de *Eucalyptus dunnii* com 4,6 anos, estabelecido no bioma Pampa, Guimarães (2014) estimou a biomassa total em 121,9 Mg ha⁻¹, com 76,7 Mg ha⁻¹ de madeira, 13,4 Mg ha⁻¹ de galhos, 13,5 Mg ha⁻¹ de raízes e 5,3 Mg ha⁻¹ de folhas. Estes resultados evidenciam a diferenciação de produtividade, principalmente em função do sítio, espaçamento e qualidade genética.

Considerando o gênero *Eucalyptus*, os resultados do presente estudo se assemelham ao que foi encontrado por Schumacher e Caldeira (2001) estudando um povoamento de *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii* aos quatro anos de idade no município de Butiá/RS. Neste trabalho os autores encontraram a biomassa total acima do solo de 83,2 Mg ha⁻¹.

Schumacher et al. (2011) em estudo sobre a biomassa em povoamento de *Eucalyptus* spp. com 4 anos de idade, implantado em Argissolo, verificaram resultados aproximados ao deste estudo para os compartimentos folhas (3,96 Mg ha⁻¹), galhos (8,57 Mg ha⁻¹) e raízes (5,6 Mg ha⁻¹). Já para a madeira (22,5 Mg ha⁻¹) e casca (3,46 Mg ha⁻¹) as quantidades encontradas neste estudo foram maiores. Os autores encontraram 44,55 Mg ha⁻¹ aos 4 anos e apontam à tendência de aumento na biomassa da madeira, em função do avanço da idade do plantio, sendo que, aos 8 anos houve registro de 232,53 Mg ha⁻¹ de biomassa total, onde a madeira contribuiu com 173,2 Mg ha⁻¹.

Witschoreck (2014) estimou a biomassa em povoamento de *Eucalyptus saligna*, na região de Guaíba, aos cinco anos, e observou a tendência de acúmulo na ordem decrescente: madeira do tronco > raiz > casca do tronco > galhos > folhas. O autor encontrou quantidades de biomassa superiores ao deste estudo, sendo que, para o compartimento folhas houve 5,74 Mg ha⁻¹, galhos 8,37 Mg ha⁻¹, casca 10,38 Mg ha⁻¹ e na madeira do tronco, houve maior discrepância, com 115,32 Mg ha⁻¹.

Avaliando a biomassa em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, com 10 anos de idade, estabelecido em Eldorado do Sul/RS, Viera (2012) constatou que 93,7% da biomassa estava alocada nos componentes madeira e casca, sendo que, para a madeira a grandeza foi de 167,10 Mg ha⁻¹, na casca 18,90 Mg ha⁻¹, galhos com 8,80 Mg ha⁻¹ e folhas com 3,60 Mg ha⁻¹, revelando novamente a tendência de acúmulo de biomassa na madeira, com o aumento da idade do povoamento.

Gatto et al. (2014) estimaram a biomassa de um plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, no Distrito Federal, com 5 anos de idade, implantado em solo de baixa fertilidade e constataram resultados semelhantes, com 57,36 de Mg ha⁻¹ madeira, 8,42 Mg ha⁻¹ de raízes, 8,08 Mg ha⁻¹ de galhos, 5,03 Mg ha⁻¹ de casca (82,91 Mg ha⁻¹), totalizando 69,19% da biomassa total e, 4,02 Mg ha⁻¹ de folhas, enfatizando o reflexo da qualidade do sítio sobre a produtividade de um povoamento florestal.

Beulch (2013) avaliou a produção de biomassa de *Eucalyptus saligna* aos 4 anos em São Francisco de Assis/RS, a qual foi de 88,81 Mg ha⁻¹ sendo, 76,8% fração madeira, 9,3% casca, 7,9% galhos e 6,0% folhas.

Silva et al. (1983) estudando ciclagem de nutrientes em cinco espécies de eucalipto (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua*, *E. dunnii* e *E. robusta*) aos 10 anos de idade em Itirapina/SP, concluíram que as maiores concentrações de nutrientes da biomassa encontravam-se na fração folha, seguida em ordem decrescente por galhos, casca e madeira. No mesmo trabalho os autores registraram para *Eucalyptus dunnii*, 140,60 Mg ha⁻¹ de biomassa referente a fração madeira do tronco.

No presente estudo as frações madeira e casca foram responsáveis por 60,5 e 11,7% da biomassa total. Em povoamentos de *Eucalyptus saligna* com 4 anos as frações madeira e casca foram responsáveis por cerca de 80% da biomassa total (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2004). Em povoamento de *Eucalyptus globulus* com 4 anos de idade, Schumacher e Caldeira (2001) encontraram valores de biomassa total na ordem de 83,2 Mg ha⁻¹. Os mesmos autores, mais tarde, trabalhando em

povoamento de *Eucalyptus saligna*, também aos 4 anos de idade, encontraram 79,56 Mg ha⁻¹ de biomassa total (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2004).

Estudos conduzidos em duas áreas de cerrado, com *Eucalyptus grandis*, Reis et al. (1985), encontraram valores de biomassa acima do solo de 9,62 e 11,59 Mg ha⁻¹ aos 15 e 21 meses de idade, respectivamente. Zaia e Gama-Rodrigues (2004) em Campos dos Goytacazes/RJ, a produção de biomassa para fração parte aérea do *Eucalyptus pellita* foi 71,9 Mg ha⁻¹. A maior porção de biomassa foi alocada no tronco (87,92 %).

Para outras espécies de interesse florestal, Calil (2003) registrou a produção de biomassa total de *Acacia mearnsii*, com 6 anos de idade em Tupanciretã/RS, valores de 140,73 Mg ha⁻¹, sendo 4,3% de folhas, 15,8% de galhos mortos, 5,3% de galhos vivos, 7,3% de casca, 54,6% de madeira e 12,5% de raízes. Já Caldato (2011), em estudo com *Pinus taeda*, em Corrientes, Argentina, aos 13 anos, estimou biomassa total de 312,84 Mg ha⁻¹, com 15,82 Mg ha⁻¹ de folhas (5%), galhos 36,98 Mg ha⁻¹ (11%); casca 15,15 Mg ha⁻¹ (4%); madeira 191,09 Mg ha⁻¹ e acículas 15,82 Mg ha⁻¹ (5%).

Segundo Campos (1991), existe uma relação entre a biomassa e a produtividade primária conhecida como relação de acumulação de biomassa. Essa relação é normalmente baixa em povoamentos jovens de rápido crescimento e é maior onde a maior parte da energia é utilizada para manter o alto estoque de biomassa existente.

5.3.2 Estimativa do estoque de nutrientes

Pode-se verificar diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os teores de nutrientes, considerando os distintos componentes da árvore (Tabela 10). Com exceção do Ca, que está em maior expressão na casca do tronco, galhos e raízes, todos os nutrientes estão mais concentrados nas folhas.

O mesmo padrão foi encontrado por Viera (2013), que enfatiza a tendência da maioria dos nutrientes se concentrarem nas estruturas mais novas da planta, devido à folha possuir maior atividade metabólica. Além disso, nessas regiões é que se encontram a maioria das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e pela transpiração.

Tabela 10 - Teores de macronutrientes (g kg⁻¹) nos diferentes componentes da biomassa das árvores de *Eucalyptus dunnii* aos 4,2 anos de idade.

Componente	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg ⁻¹)					
Folhas	17,38 _a (18,20)	1,12 _a (21,43)	6,27 _a (13,37)	9,85 _b (20,20)	2,89 _a (11,42)	1,14 _a (20,0)
Galhos	3,93 _b (20,23)	0,35 _c (37,14)	4,43 _c (13,25)	9,78 _b (29,65)	1,79 _b (22,46)	0,36 _b (26,39)
Madeira do tronco	1,47 _c (26,72)	0,19 _c (31,58)	1,94 _d (16,60)	1,26 _c (28,57)	0,60 _c (28,33)	0,31 _b (48,39)
Casca do tronco	3,59 _b (12,26)	0,54 _b (33,33)	5,16 _b (13,95)	16,20 _a (25,55)	2,88 _a (12,15)	0,31 _b (12,58)
Raízes***	4,12 (11,03)	0,45 (4,37)	3,31 (5,34)	11,64 (2,33)	1,98 (5,09)	0,41 (6,94)

*As médias seguidas pela mesma letra, na coluna, dentro de cada componente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Coeficiente de variação entre as repetições (valor entre parênteses). ***Não foi realizada análise estatística para a biomassa abaixo do solo.

Os teores dos diferentes elementos na biomassa total acima do solo apresentaram a seguinte ordem decrescente de acúmulo para os macronutrientes: Ca > N > K > Mg > S > P. Com exceção do S, que não foi analisado no trabalho de Schumacher e Caldeira (2001), a ordem da quantidade total dos nutrientes foi a mesma para o *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii*, aos 4 anos de idade. Viera (2012) encontrou sequência semelhante para o *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, no entanto, o S foi o elemento acumulado em menores quantidades. Em contrapartida, Gatto et al. (2014) não obtiveram a mesma conformação, sendo então N > K > Ca > S > Mg > P, para *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em um povoamento de 5 anos.

O Ca é um nutriente de baixa mobilidade no floema, presente principalmente nos elementos lignificados, como a casca, galhos, raízes e em folhas maduras (MARENCO e LOPES, 2009). Maior acúmulo de Ca, na casca e galhos, também foi observado nos trabalhos de Viera (2012), no híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. Schumacher e Poggiani (1993) também constataram o mesmo comportamento para as espécies *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus torelliana*.

Na madeira do tronco foram verificados os menores teores de todos os elementos, o que também foi constatado no trabalho de Guimarães (2014), considerando a espécie *Eucalyptus dunnii*. Tal expressão ocorre em função da translocação e pouco acúmulo de nutrientes neste componente (TAIZ e ZEIGER, 2013; MARENCO e LOPES, 2009).

Nas folhas, os elementos como o N, P, Mg e K, foram mais expressivos, em função da alta mobilidade destes nutrientes, o que também foi verificado por Gatto et al. (2014), para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, onde o teor de N foi de 13,55 g kg⁻¹, de P 1,33 g kg⁻¹, Mg 2,44 g kg⁻¹ e K 8,52 g kg⁻¹, resultados semelhantes ao deste estudo.

O P e o S foram os elementos encontrados em menores quantidades, o que ocorreu em virtude da baixa disponibilidade destes nutrientes no solo (Tabela 10). Guimarães (2014) avaliando um povoamento de *Eucalyptus dunnii*, com 4,6 anos, Schumacher e Caldeira (2001) em estudo com *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii*, aos 4 anos de idade, e Hernández et al. (2009) avaliando a espécie *Eucalyptus dunnii* aos 9 anos, também constataram menores teores destes elementos em seus trabalhos.

Laclau et al. (1999) avaliaram plantios de eucalipto no Congo, estabelecidos sobre solo de baixa fertilidade natural, do primeiro até o sétimo ano do povoamento, e verificaram que aos 5 anos houve aumento do teor de N nas folhas. A tendência de redução da concentração de nutrientes nas folhas, do primeiro ao quinto ano, ocorreu para os demais macronutrientes (P, K, Ca, Mg), sendo que, houve estabilidade nos demais compartimentos (galhos, casca, raízes).

Considerando os micronutrientes, novamente a concentração mais expressiva dos teores foi nas folhas, seguida de galhos, casca e madeira (Tabela 11). Esta tendência, que também ocorreu para os macronutrientes, foi observada no trabalho de Gatto et al. (2014), Guimarães (2014), Hernández et al. (2009), Schumacher e Poggiani (1993), em *Eucalyptus* sp.

Tabela 11 - Teores de micronutrientes (mg kg⁻¹) nos diferentes componentes da biomassa das árvores do povoamento de *Eucalyptus dunnii* em Alegrete/RS.

Componente	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folhas	32,19 _a (28,0)	8,59 _a (29,3)	130,57 _a (22,53)	2.061,54 _a (33,74)	12,57 _a (22,43)
Galhos	11,70 _b (25,90)	8,75 _a (24,23)	42,44 _b (56,6)	904,85 _b (30,97)	12,71 _a (24,97)
Madeira do tronco	2,21 _c (45,25)	5,32 _b (25,04)	20,31 _b (58,93)	142,85 _c (18,67)	10,36 _b (39,68)
Casca do tronco	14,54 _b (14,96)	6,14 _b (25,24)	36,52 _b (26,27)	1.321,89 _b (29,37)	14,23 _a (26,21)
Raízes***	19,15 (3,14)	5,57 (2,50)	922,91 (4,92)	274,47 (28,6)	11,95 (17,93)

*As médias seguidas pela mesma letra, na coluna, dentro de cada componente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Coeficiente de variação entre as repetições (valor entre parênteses). ***Não foi realizada análise estatística para a biomassa abaixo do solo.

Os teores de micronutrientes nos compartimentos da biomassa seguiu a ordem decrescente de: Mn > Fe > B > Zn > Cu. Para a espécie *Eucalyptus urophylla* e *E. grandis*, Carvalho (2014) revelou o mesmo padrão para o povoamento de cinco anos. Exceto o B, que não foi analisado no trabalho de Viera (2012), o autor verificou a mesma magnitude dos micronutrientes em *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus globulus*. Guimarães (2014) encontrou para o *Eucalyptus dunnii* a sequência de Fe > Mn > B > Zn > Cu. A maior expressividade do Fe ocorreu em função da aderência de partículas de solo no sistema radicular, o que foi refletido na análise química realizada para quantificação dos nutrientes. Tal situação também pode ser observada no presente estudo, onde o maior teor de Fe se manifestou nas raízes.

Com base nos resultados podem-se observar altos teores de Mn, em todos os componentes da árvore, o que indica propensão do eucalipto ao acúmulo deste micronutriente, pois o mesmo ocorreu no trabalho de Viera (2012), Guimarães (2014) e Carvalho (2014). O Mn, de mobilidade intermediária no floema, é um nutriente essencial à planta, pois participa diretamente no processo de fotossíntese, atuando no complexo de quebra de moléculas de água, utilizadas nas reações luminosas de conversão de luz em energia, que consequentemente liberam oxigênio para a atmosfera (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A análise do estoque de macronutrientes (Tabela 12) revelou que, apesar da casca do tronco contribuir com apenas 11,7% do total da biomassa, este possui o maior acúmulo de Ca, sendo este o nutriente mais abundante, com altas quantidades também no sistema radicular (13% da biomassa total), totalizando 60,63% do cálcio contido nestes dois componentes.

Tabela 12 - Quantidade de macronutrientes nos diferentes componentes da biomassa das árvores do povoamento de *Eucalyptus dunnii* em Alegrete/RS.

Componente	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ha ⁻¹)					
Folhas	61,70	3,92	22,25	34,96	10,25	4,04
Galhos	25,34	2,25	28,57	63,08	11,54	2,32
Madeira do tronco	60,00	7,75	79,19	51,43	24,49	12,65
Casca do tronco	28,50	4,28	40,97	128,62	22,86	2,46
Raízes	35,97	3,92	28,90	101,61	17,28	3,58
Total	211,51	22,12	199,88	379,70	86,42	25,05

A madeira do tronco, que é responsável pela maior proporção de biomassa, teve maior acúmulo de K (39,62%), S (50,5%) e Mg (28,34%), além de altas quantidades de N (28,37%). Guimarães (2014) observou o mesmo resultado para o *Eucalyptus dunnii*, aos 4,6 anos, idade aproximada do povoamento deste estudo.

Já nas folhas, onde houve menor biomassa (5,3%), a quantidade de N foi superior aos demais componentes, representando 29,17% do total deste nutriente. A demanda por N é maior nas folhas, em função das exigências para o funcionamento do aparato fotossintético (PRADO, 2008), composição e ativação de enzimas, em consequência, este é o elemento mais expressivo e indispensável nas práticas de fertilização em povoamentos florestais.

Witschoreck (2014) constatou que os macronutrientes que estão em menores quantidades nas folhas e madeira são mais expressivos na casca do tronco de *Eucalyptus saligna*. Para o presente estudo verificou-se comportamento semelhante, exceto para o S, que está mais acumulado nas folhas em relação à casca.

A magnitude de acúmulo de nutrientes, considerando a quantidade presente na biomassa total, segue a ordem decrescente: Ca > N > K > Mg > S > P. Resultados assemelhados foram verificados no estudo de Beulch (2013), que avaliou a produção

de biomassa de *Eucalyptus saligna* aos 4 anos em São Francisco de Assis/RS, observando a magnitude de armazenamento, em ordem decrescente, de $\text{Ca} > \text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$. Calil (2008), avaliou a biomassa acima do solo total no *Eucalyptus urograndis* em Candiota/RS, aos 16 meses, constatando a sequência: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$.

Segundo Pallardy (2008) os teores de nutrientes presentes na biomassa da planta diferem entre e dentro dos componentes da biomassa arbórea pela ação da ciclagem bioquímica que desloca nutrientes dos tecidos mais velhos para os locais com maior atividade metabólica.

Silva et al. (1983) estudando ciclagem de nutrientes em cinco espécies de eucalipto (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua*, *E. dunnii* e *E. robusta*) aos 10 anos de idade em Itirapina/SP encontraram valores na fração madeira do tronco para N 95,50 kg ha⁻¹, P 6,70 kg ha⁻¹, K 199,40 kg ha⁻¹, Ca 265,00 kg ha⁻¹ e Mg 41,40 kg ha⁻¹, quantidades superiores ao deste estudo, uma vez que, o acúmulo de nutrientes aumenta com o avanço da idade do povoamento.

Contrastes quanto ao acúmulo de nutrientes, principalmente de N, podem ser verificados quando se comparam estudos realizados com eucalipto e demais espécies, como no trabalho de Calil (2003), que quantificou os nutrientes em uma espécie leguminosa, avaliando a produção de biomassa total de *Acacia mearnsii* com 6 anos, em Tupanciretã/RS. Essa biomassa continha um total de 622,19; 59,36; 186,94; 404,00; 88,27; 48,37; 1,36; 0,22; 6,15; 2,02; 1,65 kg ha⁻¹ dos elementos N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

Tabela 13 - Quantidade de micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa das árvores do povoamento de *Eucalyptus dunnii* em Alegrete/RS.

Componente	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(g ha ⁻¹)				
Folhas	114,27	30,49	463,52	7.318,47	44,62
Galhos	75,46	56,44	273,74	5.836,28	81,98
Madeira do tronco	90,21	217,16	829,05	5.831,14	423,06
Casca do tronco	115,45	48,75	289,97	10.495,81	112,98
Raízes	167,18	48,62	8.057,0	2.396,12	104,32
Total	562,57	401,46	9.913,28	31.877,82	766,96

A quantidade de micronutrientes na biomassa de *Eucalyptus dunnii* (Tabela 13), refletiu a expressividade do Mn, acumulado principalmente na casca do tronco e folhas, representando 11,7% e 5,3% da biomassa total, respectivamente. Tal fato pode ser explicado pela característica deste micronutriente, considerando que o Mn é um nutriente de baixa mobilidade nestes componentes neste componente, considerado como elemento de redistribuição insuficiente, sendo que, o transporte é feito de forma unidirecional através do xilema e, depois de acumulado nas folhas não é mobilizado, podendo ser removido por lavagem (MALAVOLTA, 1980; PRADO, 2008).

Seguido do Mn, o micronutriente presente em maior quantidade é o Fe, principalmente nas raízes, fenômeno explicado pela adsorção de partículas de óxidos na superfície radicular, de difícil remoção nos processos de amostragem, no entanto, quantidades expressivas na madeira do tronco indicam a baixa mobilidade deste nutriente (MALAVOLTA, 1980).

A magnitude de armazenamento dos micronutrientes na biomassa de *Eucalyptus saligna* seguiu a ordem decrescente de: Mn > Fe > Zn > B > Cu. Guimarães (2014) encontrou para a mesma espécie sequência semelhante, no entanto, com inversão na ordem de B e Zn, o que também foi observado por Beulch (2013) em *Eucalyptus saligna*.

A maior quantidade de Mn reflete o expressivo acúmulo deste micronutriente em todos os componentes da biomassa, com menores quantidades nas raízes, em função da alta mobilidade deste nutriente nas raízes. Considerado um dos micronutrientes mais importantes na nutrição de plantas, pois é constituinte e ativador de enzimas, portanto sua ausência reduz drasticamente a produtividade (MARENCO e LOPES, 2009).

Ressalta-se que a distribuição dos nutrientes nos compartimentos das árvores tem grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas. O manejo intensivo das plantações de eucaliptos (plantios adensados e rotações curtas), por exemplo, pode aumentar a produção de biomassa, mas, também, pode aumentar a remoção de nutrientes (VIERA, 2012).

5.4 Conclusões

A biomassa arbórea no povoamento de *Eucalyptus dunnii*, aos 4,2 anos de idade, em Alegrete/RS, foi de 67,49 Mg ha⁻¹.

Os valores de biomassa encontrados nas diferentes frações foram madeira do tronco 40,82 Mg ha⁻¹ (60,50%), raízes 8,73 Mg ha⁻¹ (13,00%), casca do tronco 7,94 Mg ha⁻¹ (11,70%), galhos 6,45 Mg ha⁻¹ (9,50%) e folhas 3,55 Mg ha⁻¹ (5,30%). Os valores de biomassa, em ordem decrescente foram madeira do tronco > raízes > casca do tronco > galhos > folhas.

O componente da biomassa com maior estoque de macronutrientes foi a madeira do tronco com destaque para o K com 79,19 kg ha⁻¹.

O componente da biomassa com maior estoque de micronutrientes foi a casca do tronco com destaque para o Mn com 10,49 kg ha⁻¹.

As quantidades de macronutrientes encontradas foram 211,52 kg ha⁻¹ de N, 22,12 kg ha⁻¹ de P, 199,88 kg ha⁻¹ de K, 379,70 kg ha⁻¹ de Ca, 86,42 kg ha⁻¹ de Mg e 25,05 kg ha⁻¹ de S.

As quantidades de micronutrientes encontradas foram 562,57 g ha⁻¹ de B, 401,46 g ha⁻¹ de Cu, 9.913,28 g ha⁻¹ de Fe, 31.977,82 g ha⁻¹ de Mn e 766,96 g ha⁻¹ de Zn.

As maiores concentrações de nutrientes no povoamento de *Eucalyptus dunnii* estão nos tecidos das copas. No entanto, a maior quantidade de biomassa encontra-se no tronco, que é a parte normalmente explorada.

5.5 Referências Bibliográficas

ADEGBIDI, H. G.; JOKELA, E. J.; COMERFORD, N. B.; BARROS, N. F. Biomass development for intensively managed loblolly pine plantations growing on Spodosols in the Southeastern U.S.A. **Forest Ecology and Management** 167:91-102. 2002.

BEULCH, L. S. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith submetido ao primeiro Desbaste**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). UFSM. Santa Maria, RS. 59p. 2013.

CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 1998. 96 p.

CALDATO, S. L. **Ciclagem biogeoquímica em uma plantação de *Pinus taeda* L. no nordeste Argentino**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), UFSM, Santa Maria, RS, 2011. 106 p.

CALIL, F. N. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em um sistema silvopastoril com *Acacia mearnsii* de Wild em Tupanciretã/RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2003. 75 p.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. Curitiba: UFPR, 1991. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 1991.

CARVALHO, R. R. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). UFSM. Santa Maria, RS. 80p. 2014.

FASSOLA, H. E.; PANDO, V.; OVIEDO, F. B. **Modelos de biomassa aérea para *Pinus taeda* bajo distintos manejos silvícolas en la región subtropical sin estación seca de Argentina**. INTA EEA. Montecarlo. 2010.

FOELKEL, C. **Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores**. Eucalyptus Online Book & Newsletter. 2014. www.eucalyptus.com.br.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269p.

GATTO, A.; BUSSINGER, A. P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G. B.; BUENO, M. C.; MONTEIRO, M. M.; SOUZA, P. F. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp. no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.38, n 3, p 879-887. 2014.

GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. L.; DUEVER, M. J. Mineral cycling in Tropical moist forest ecosystem. University of Georgia. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta Tropical Úmida**. Tradução de Eurípides Malavolta – São Paulo, SP: EPU. Editora da USP, 256 p. 1975.

GUIMARÃES, C. C. **Biomassa e nutrientes em plantios de eucaliptos no bioma Pampa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). UFSM. Santa Maria, RS. 2014. 63 p.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1985. 144p.

HERNÁNDEZ, J.; PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. Nutrient export and harvest residue decomposition, patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate

climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam. 258, n. 2 p. 92–99, 2009.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, AM, v. 28, p. 153-165, 1998.

KRAMER, R. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das Árvores**. Lisboa. Fundação Kalouste Goulbenkian, 1972. 745 p.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, p. 181-196, 1999.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Ed. Agronômica Ceres Ltda. São Paulo, SP. 1980.249p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Ed. UFV, 3 ed. Viçosa, MG. 2009, 486p.

PALLARDY, S. **Physiology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 2008. 454p.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário Florestal**. Curitiba: UFPR, 1997. v.1, 316p.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. Ed. UNESP, São Paulo, SP, 2008. 407p.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J.P.; REZENDE, G.C.; BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v.9, n.2, p.149-162, 1985.

SAS - Statistical Analysis System. **Software**. SAS 13.0 for Windows. 1996.

SCHUMACHER, M. V., POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 9-18, jan.-dez. 1993.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL O AMBIENTE DA FLORESTA. **Anais...** Santa Maria/RS: UFSM/CEPEF, 1996, p.65-77.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (*labillardiere*) subespécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 1, p. 45-53, jan.-jun. 2001.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Quantificação de biomassa em povoamento de *Eucalyptus saligna* Sm com diferentes idades. **Biomassa e Energia**, v. 1. n. 4, p. 381-391, 2004.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 21, n. 1, p. 17-22, jan.-mar. 2011.

SILVA, H. D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, PR, n. 6/7, p. 9-25, Jun./Dez. 1983.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Ed. Artmed. 5 Ed. Porto Alegre, RS. 2013. 918p.

TEDESCO, M. J.; GINELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, RS: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil**. 2012. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

WITSCHORECK, R. **Recomendações de fertilizantes para o *Eucalyptus saligna* Sm com base no balanço nutricional da região de Guaíba**. 2014. Dados não publicados.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p.843-852, set./out. 2004.

6 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E DEVOLUÇÃO DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus dunnii* Maiden

Resumo

Serapilheira é todo tipo de material biogênico em vários estágios de decomposição sendo que sua produção e consequente devolução de nutrientes ao ecossistema é de suma importância na ciclagem biogeoquímica. O objetivo deste trabalho foi quantificar a produção de serapilheira e a devolução de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* estabelecido em uma microbacia hidrográfica localizada no Bioma Pampa, município de Alegrete/RS. Foi avaliada mensalmente a deposição de serapilheira. A amostragem da serapilheira foi feita por quatro coletores de madeira com dimensões de 0,70 m x 0,70 m instalados em quatro parcelas de 420 m² alocados em quatro diferentes posições. Além destes coletores, também foram instaladas, em cada uma das parcelas, quatro áreas para a coleta da fração galhos grossos (diâmetro maior que 0,5 cm), sendo a avaliação realizada por dois anos consecutivos (janeiro de 2012 a dezembro de 2013). A produção de serapilheira foi avaliada quanto à quantidade, a concentração de elementos e ao aporte dos mesmos. Foram depositados 13,98 Mg ha⁻¹ de serapilheira durante o período do estudo, sendo as deposições médias anuais de 2012 e 2013 iguais a 6,99 Mg ha⁻¹. O material formador da serapilheira é constituído, sobretudo por folhas, contribuindo com a maior parte da deposição, 64,32% seguida das frações de galhos finos 17,51% galhos grossos 10,24% e miscelânea 7,92% respectivamente. A transferência total de macronutrientes para o solo foi de 163,00 kg ha⁻¹ e de micronutrientes foi de 9,73 kg ha⁻¹. Os teores de macronutrientes encontrados na serapilheira apresentaram a seguinte ordem decrescente Ca > N > K > Mg > S > P e os teores de micronutrientes seguiram ordem decrescente de Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Palavras-chave: ciclagem de nutrientes; nutrição florestal; decomposição da matéria orgânica.

Abstract

The litter can be defined as all types of biogenic materials in various stages of decomposition and its production and return of nutrients to the ecosystem is of paramount importance to biogeochemical cycling. The aim of this study was to quantify litter production and nutrient return in a *Eucalyptus dunnii* (Maiden) established in a watershed located in Pampa Biome, country Alegrete/RS. Litterfall was evaluated monthly. Sampling of litter was taken by four collectors of wood with dimensions of 0,70 m x 0,70 m installed in four plots of 420 m² allocated in four different positions, Besides these collectors were also installed in each plot four sites for the collection of fraction thick branches (diameter greater than 0.5 cm). Being that the assessments was by two consecutive years (January 2012 to December 2013). The litterfall production was evaluating as to the amount, the concentration of elements and the contribution thereof. 13.98 Mg ha⁻¹ litter were depositing during the study period, and the annual deposition in 2012 and 2013 equal to 6.99 Mg ha⁻¹. The forming material of the litter consists mainly of sheets, contributing the majority of the deposition, 64.32%; then the fraction of twigs 17.51%; thick branches and miscellaneous 10.24%, 7.92% respectively. The total transfer of macronutrients was 163.00 kg ha⁻¹ and micronutrients was 9.73 kg ha⁻¹, the macronutrient found in leaf litter followed the order Ca > N > K > Mg > S > P and micronutrient followed the descending order of Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Keywords: nutrient cycling; forest nutrition; decomposition organic matter.

6.1 Introdução

A fim de garantir a maior produtividade da floresta, bem como a preservação do ecossistema, mantendo o ciclo nutricional estabilizado, tem-se a necessidade de manutenção do estoque de nutrientes da mesma. A ciclagem de nutrientes promove a transferência dos minerais acumulados na biomassa vegetal para o solo, adicionados, principalmente, através da queda de resíduos da parte aérea que formará a serapilheira e de sua posterior decomposição, sendo reabsorvidos pela planta ou por outros organismos do sistema (KRAMER e KOZLOWSKI, 1960; FASSEBENDER, 1993; GAMA-RODRIGUES, 1997; BARBOSA, 2000). É possível entender a ciclagem dos nutrientes e a manutenção da capacidade produtiva de uma floresta a partir da compartimentação da biomassa acumulada nos diferentes estratos e a quantificação de nutrientes que se movimentam entre os seus compartimentos, através da produção de serapilheira, sua decomposição, sua lixiviação, entre outros (POGGIANI e SCHUMACHER, 2005).

A serapilheira é constituída por materiais vegetais depositados na superfície do solo, tais como folhas, cascas, ramos, material reprodutivo, flores, inflorescências, frutos, sementes e fragmentos vegetais não identificáveis, em vários estágios de decomposição (CIANCIARUSO et al., 2006). Sua decomposição é o meio mais importante de transferência de nutrientes da vegetação para o solo (VITAL et al., 2004; GOLLEY et al., 1975), tornando imprescindível sua presença, principalmente, em ambientes arenizados, como é o caso da região de Alegrete/RS. Este material representa uma fonte potencial de energia para as espécies consumidoras, que realizam a sua decomposição.

Além disso, a serapilheira pode acumular significativa quantidade de água junto aos seus tecidos, tendo a função de uma grande esponja e filtro, que se encharca logo após uma precipitação e após isso vai liberando lentamente a água acumulada para o solo, aonde irá abastecer as raízes das plantas (LOPES et al., 2013). Desse modo, é a floresta que desempenha papel fundamental na manutenção das condições ideais para que ocorra o processo de infiltração da água. Isso ocorre em função da maior absorção inicial da água e redução da velocidade da gota, impedindo que a mesma impacte sobre o solo de forma direta, causando a sua desagregação. A capacidade da serapilheira em acumular água varia em função da espessura da camada formada

sobre o solo, da umidade do material antes da precipitação, da sua constituição e grau de decomposição (SCHUMACHER e HOPPE, 1998; MOLCHANOV, 1963).

Os principais mecanismos responsáveis pela transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo são a lavagem da vegetação pela chuva (que extrai substâncias minerais e orgânicas das estruturas da parte aérea) e a decomposição da biomassa morta (inclui a serapilheira, troncos e galhos caídos e raízes mortas) (SANCHEZ, 1976; GONZALEZ e GALLARDO, 1986).

A maior parte dos nutrientes absorvidos pelas árvores retorna ao solo pela queda de material orgânico, existindo variação entre cada espécie florestal e a quantidade de nutrientes retidos e devolvidos (HAAG, 1985). Tal relação entre a retenção e devolução está diretamente ligada com as diferentes taxas de retranslocação das espécies, à idade e às condições edafoclimáticas (VIEIRA e SCHUMACHER, 2009; HAAG, 1985). O conhecimento da dinâmica nutricional é fundamental para a definição de tecnologias de manejo florestal, particularmente na definição de dose, método e época de aplicação de fertilizantes (GONÇALVES e BENEDETTI, 2000).

Estudos qualitativos e quantitativos da serapilheira são importantes para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas florestais, além disso, a quantificação da produção de serapilheira tem contribuído para o entendimento e melhoria do manejo de florestas plantadas (ALVES et al., 2006; JORDAN, 1985; DELITTI, 1995).

A produção de serapilheira varia com o tipo do ecossistema e com o estágio de desenvolvimento dos mesmos, além de constituir o principal caminho para o retorno dos nutrientes ao solo, sendo assim o componente mais estudado na ciclagem de nutrientes, em ecossistemas florestais. O estudo da queda de serapilheira pode fornecer indicativos da capacidade produtiva de um sítio (PROCTOR, 1983).

Nesse sentido o objetivo do presente trabalho foi quantificar a produção de serapilheira e a devolução de nutrientes em uma plantação de *Eucalyptus dunnii* Maiden em Alegrete/RS, região do bioma Pampa, no período de dois anos.

6.2 Materiais e Métodos

6.2.1 Amostragem e quantificação da serapilheira

Para a quantificação da serapilheira, frações folhas, galhos finos (diâmetro inferior a 5 mm) e miscelânea (matéria reprodutiva e cascas), foram utilizados coletores de madeira com dimensões de 0,70 m x 0,70 m instalados em quatro parcelas de 420 m² (20 m x 21 m) alocados em quatro diferentes posições, na linha entre duas árvores, na entrelinha entre duas árvores, na diagonal entre quatro árvores e na árvore, rente ao tronco.

A amostragem do material depositado no interior dos coletores foi realizada mensalmente durante um período de 2 anos (Janeiro de 2012 a dezembro de 2013). O material coletado foi enviado ao laboratório de Ecologia e Nutrição Florestal, separado nas frações folhas, miscelânea, galhos grossos e galhos finos, as amostras foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70°C, por um período de 72 horas, para depois serem moídas em moinho do tipo Wiley, com peneira de 30 mesh e então, submetidas a análise química.

Para a obtenção da serapilheira total foram feitas pesagens em cada um dos coletores nas quatro parcelas. Para análise química, foi feita uma amostra composta a partir dos quatro coletores, localizados na mesma posição.

Além destes coletores, também foram instaladas, em cada uma das parcelas, quatro áreas para a coleta de galhos grossos (diâmetro maior que 0,5 cm), com área útil de 7 m², de acordo com o espaçamento de 2,0 m x 3,5 m. Nas quatro áreas, duas localizavam-se com uma árvore de DAP médio ao centro, uma com árvore de DAP médio mais um desvio padrão ao centro e a outra tinha, ao centro, uma árvore de DAP médio menos um desvio padrão.

A produção de serapilheira foi estimada segundo Lopes et al. (2002) tomando por base a seguinte equação: $PAS = (\sum PMS \times 10.000) / Ac$. Em que, *PAS* é a produção média anual de serapilheira (kg ha⁻¹ ano⁻¹), *PMS* é a produção média mensal de serapilheira (kg ha⁻¹ mês⁻¹) e *Ac* é a área do coletor (m²).

6.2.2 Análise química

Após a secagem, pesagem e moagem as amostras foram submetidas à determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). O N foi determinado pelo método *Kjeldahl*, baseado na digestão sulfúrica ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$), P e B foram determinados por espectrometria visível com comprimento de onda de 660 e 460 nm respectivamente, sendo o P por digestão nítrica-perclórica e o B por digestão seca. O K foi determinado por fotometria de chama. O S foi determinado por turbidimetria com comprimento de onda de 420,00 nm e o Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica (todos por digestão nítrica-perclórica), seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa (1999).

6.3 Resultados e Discussão

A deposição de serapilheira durante período em estudo foi de $13,98 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo a deposição média anual de $6,99 \text{ Mg ha}^{-1}$. Em relação aos resultados obtidos nas deposições anuais, as mesmas são semelhantes às encontradas em outros estudos, como é o caso de Vieira et al. (2009), que em uma plantação com o híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *E. grandis* (Eucalipto Urograndis), de 7 e 8 anos de idade em São João Evangelista/MG, localizada em solo de baixa fertilidade, encontraram $5,77 \text{ Mg ha}^{-1}$.

O material formador da serapilheira é constituído, sobretudo por folhas ($4,64 \text{ Mg ha}^{-1}$), contribuindo com a maior parte da deposição (66,75%). Os valores de contribuição de deposições das demais frações foram galhos finos (17,65% -- $1,23 \text{ Mg ha}^{-1}$), galhos grossos (6,69% -- $0,46 \text{ Mg ha}^{-1}$) e miscelânea (8,91% -- $0,62 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Neves (2012) estudando ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* com um, dois e três anos de idade, no planalto sul catarinense encontrou valores de deposição de 6,20; 7,42 e $6,10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de serapilheira, respectivamente, sendo 98, 95 e 91% relativos ao componente folhas.

Bray e Gorham (1964), Morellato (1992), Figueiredo Filho et al. (2003), Toledo e Pereira (2004), afirmam que 60 a 80% da serapilheira é composta pela fração folhas, assemelhando-se ao presente estudo.

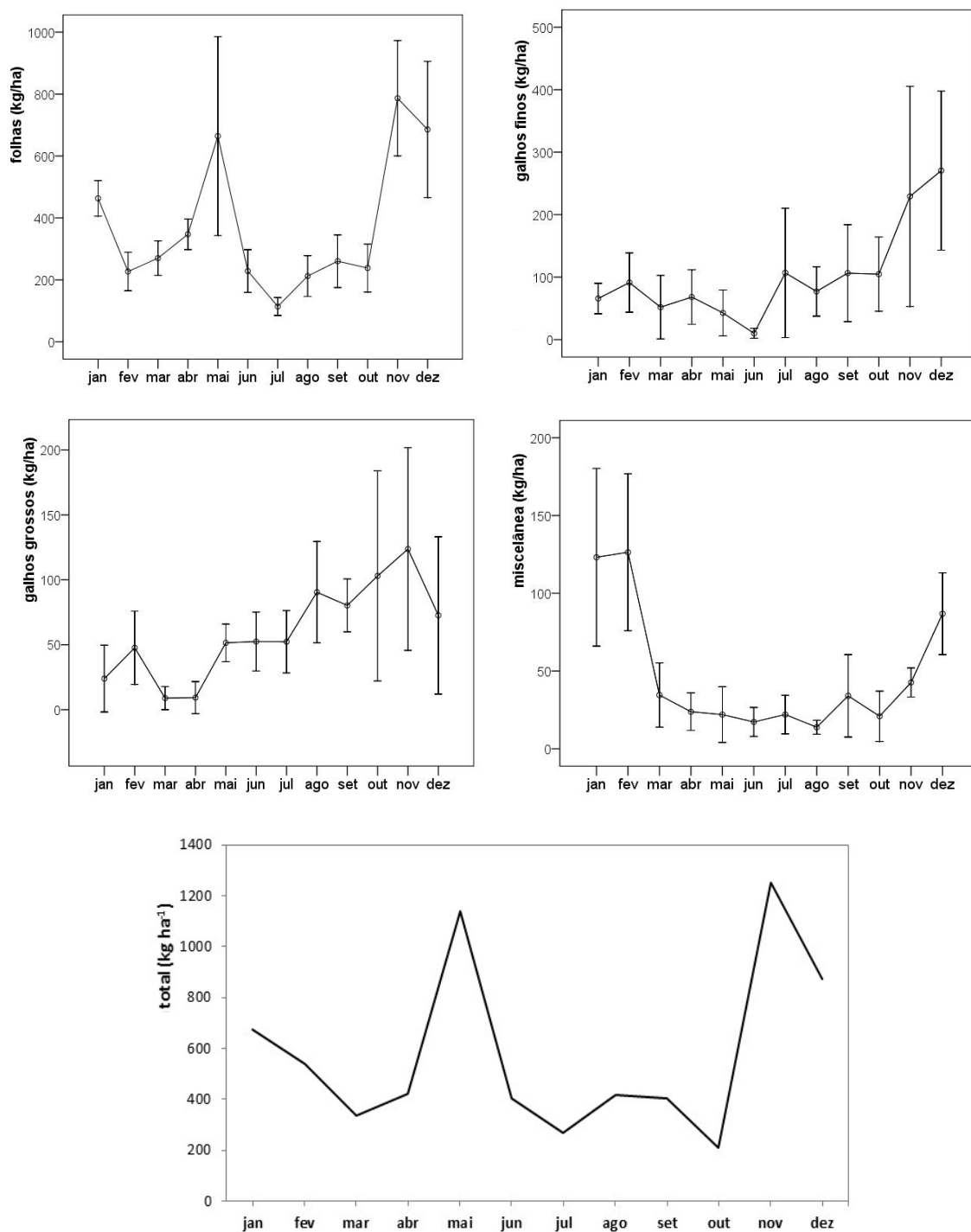


Figura 8 - Deposição média de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden em 2012 e 2013, Alegrete/RS: folhas, galhos finos, galhos grossos, miscelânea e total.

As barras verticais representam o erro padrão da média (Figura 8).

Nos estudos de Corrêa et al. (2013) sobre deposição de serapilheira em *Eucalyptus dunnii* na região do bioma Pampa, a fração folhas correspondeu a 93% da deposição.

Tang et al. (2013) estudando a produção de serapilheira em *Eucalyptus camaldulensis* na China, observaram que o constituinte da serapilheira com maior representação foi a fração folhas, responsável por aproximadamente 70% do total, coincidente aos resultados do presente estudo, quando o povoamento encontrava-se com 5 anos de idade.

Cizungu et al. (2014) estudando o acúmulo de serapilheira em plantação de *Eucalyptus* sp em Nyungwe, África Central, por 2 anos consecutivos (2010 a 2012), observaram que a fração folhas, galhos, material não identificado, miscelâneas e cascas e musgos representaram 79,0%, 9,0%, 6,0%, 5,7% e 0,1% do total de serapilheira respectivamente, resultado este semelhante ao presente estudo que também obteve a maior representação pela fração folhas.

Carvalho (2014) estudando o híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis* (Eucalipto Urograndis), com 4 anos de idade, no município de Alegrete/RS, obteve produção total de serapilheira de 8,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo deste valor 50% oriundo da fração folha, 31,2% da fração galhos grossos, 10,3% da fração de galhos finos e 8,3% da fração miscelâneas, resultados estes obtidos na mesma região do estudo com semelhança nos resultados.

Pode-se observar na Figura 9 que a deposição da serapilheira está relacionada de forma inversamente proporcional à precipitação, sendo a quantidade de material mais significativa depositada nos meses menos chuvosos. Trata-se de uma estratégia por parte das plantas, pois a redução das folhas durante períodos de falta de chuva reduz a transpiração e o uso de água. Durante a estação com temperaturas mais elevadas, da mesma forma registra-se maior deposição de serapilheira, decorrência do metabolismo vegetal e da intensa taxa fotossintética das plantas. Nos meses que antecedem a chegada do inverno, gradualmente a produção de serapilheira diminui provocada pelo frio, voltando a crescer com a chegada da primavera.

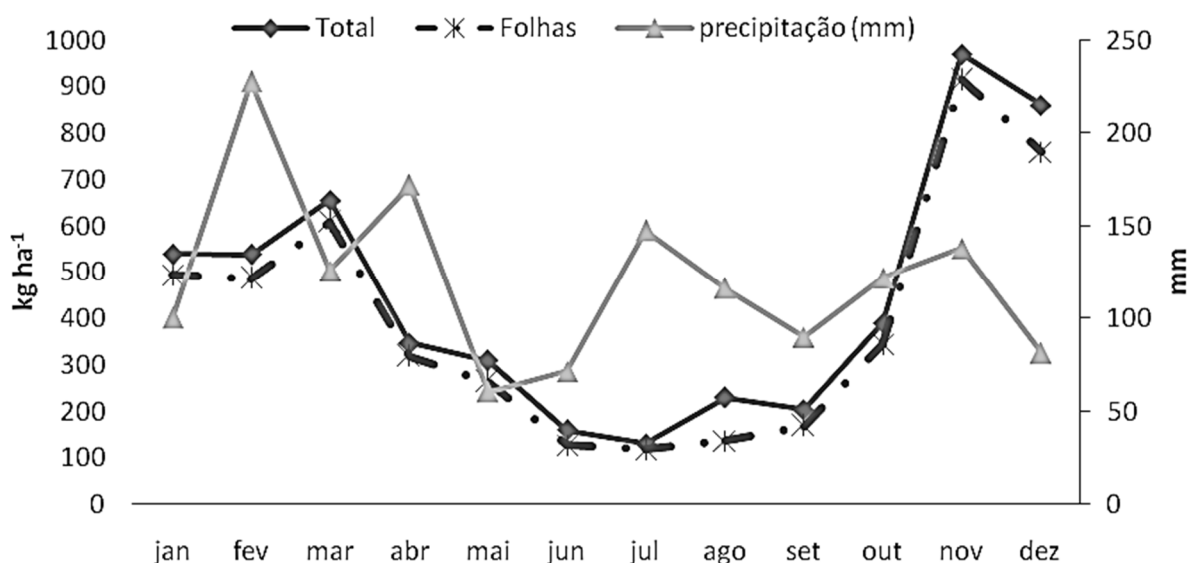


Figura 9 - Produção de serapilheira (kg ha⁻¹) e precipitação pluviométrica em povoamento de *Eucalyptus dunnii*, em Alegrete, RS.

Tang et al. (2013) estudando a produção de serapilheira em *Eucalyptus camaldulensis* na China, observaram que havia um padrão claramente sazonal no acúmulo de serapilheira, observando um pico no período de outubro a dezembro, sendo a precipitação local concentrada no período de maio a outubro, verificando assim a estratégia de redução das folhas.

Os valores encontrados no presente estudo coincidem com os resultados obtidos por Viera et al. (2010), para os quais os picos de deposição podem estar relacionados com fatores climáticos extremos, ocasionando acelerado processo de perda de folhagem senescente pelas plantas. Este comportamento também foi observado por Poggiani (1985) em plantios de *Eucalyptus saligna* entre 7 e 10 anos de idade e por Schumacher (1992), em plantios de *Eucalyptus grandis* de 7 anos.

A deposição média anual de serapilheira neste estudo segue a seguinte ordem decrescente: outono > primavera > verão > inverno. Carvalho (2014) estudando o híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis* (Eucalipto Urograndis) no município de Alegrete/RS observou que a maior deposição de serapilheira ocorreu de outubro a março (primavera verão). Vieira et al. (2009) observaram picos nos meses mais quentes no híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis* (Eucalipto Urograndis) em São João Evangelista/MG. Schumacher et al. (2003), em povoamento de *Acacia mearnsii* em Butiá/RS, também observaram que a deposição foi mais concentrada no

verão. Já em povoamento de *Araucaria angustifolia* em Pinhal Grande/RS, Schumacher et al. (2004), observaram marcante sazonalidade de deposição, com picos entre a primavera e o verão, diminuindo nos meses de outono e inverno, concluindo que a formação da serapilheira seguiu uma sazonalidade em função das condições climáticas local ao longo do ano.

Analisando-se os teores médios de nutrientes (Tabela 14) observa-se que a fração folha apresentou as maiores quantidades de nutrientes e que o elemento Ca foi o mais representativo nas frações folhas, galhos finos e galhos grossos, apresentando apenas na fração miscelânea, inferior ao N. Os elementos P e S obtiveram os menores teores.

Viera (2012) estudando as espécies *Eucalyptus urophylla* e *E. globulus* com 10 anos de idade, observou que o Ca também foi o elemento mais representativo seguindo a mesma distribuição nas frações: folha > galhos finos > galhos grossos.

Quando analisado os teores de micronutrientes (Tabela 14), observa-se que o elemento Mn é o que mais se destaca em todas as frações. A fração folha apresentou a maior média para B, Fe e Mn.

Tabela 14 - Teores médios de nutrientes nas frações formadoras da serapilheira produzida durante o período de 2012 a 2013.

Fração	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Macronutrientes (g kg ⁻¹)						Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
Folha	7,45 ^{a*}	0,48 ^a	4,46 ^a	12,47 ^a	2,31 ^a	0,73 ^a	38,66 ^a	6,56 ^a	160,78 ^a	1.599,72 ^a	10,32 ^a
Miscelânea	5,69 ^c	0,34 ^c	2,53 ^{b c}	4,89 ^b	2,15 ^b	0,42 ^c	19,30 ^c	7,07 ^b	144,25 ^c	510,91 ^b	9,12 ^a
Galhos finos	3,02 ^b	0,15 ^b	2,88 ^b	9,24 ^a	2,21 ^b	0,33 ^b	11,73 ^b	9,12 ^b	55,57 ^b	544,67 ^b	12,62 ^a
Galhos grossos	1,72 ^d	0,15 ^d	1,75 ^c	9,18 ^c	1,75 ^b	0,30 ^c	5,92 ^d	6,91 ^c	50,33 ^d	426,03 ^b	22,83 ^a

*Os valores na vertical seguidos por letras iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro.

Carvalho (2014) estudando o híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis* (Eucalipto Urograndis) no município de Alegrete/RS observou que o Ca foi o elemento mais representativo nas frações folha e galho grosso, sendo a fração miscelânea que apresentou a menor quantidade. Verificando que mais de 50% dos nutrientes foram encontrados na fração folha, sendo que a quantidade de macronutrientes e micronutrientes seguiu a ordem folhas > galhos grossos > galhos finos > miscelânea. Neves (2012) encontrou teores de P, K, Ca e Mg em *Eucalyptus dunnii* no planalto sul

catarinense superiores nas folhas, cuja ordem e grandeza de valor foi $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$.

Em média 77,42% do fornecimento de nutrientes ao solo ocorreram por meio da fração foliar. Este percentual é semelhante ao encontrado por Schumacher et al. (2003) em plantio de *Acacia mearnsii* localizado em Butiá/RS, no qual os pesquisadores encontraram 77% de folhas, concluindo que o maior fornecimento de nutrientes ao solo ocorreu através da fração folhas. Também Ferreira et al. (2007), em um povoamento de Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth) em Itambé/PE, encontraram a fração folha apresentando os maiores teores de nutrientes. Em um povoamento de *Araucaria angustifolia* com 17 anos, em Pinhal Grande/RS, Schumacher et al. (2004) em estudo de avaliação da deposição de serapilheira, chegaram ao percentual de 74% de acículas como material formador da serapilheira.

Tabela 15 - Quantidade de macronutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) das frações formadoras da serapilheira produzida durante o período de 2012 a 2013.

Ano	Fração	N	P	K	Ca	Mg	S
(Kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)							
2012	Folha	29,73 (82,23)*	2,01 (86,19)	24,38 (80,09)	59,73 (75,39)	10,25 (69,82)	3,19 (80,73)
	Miscelânea	2,45 (6,79)	0,14 (6,02)	1,29 (4,24)	2,38 (3,01)	1,29 (8,80)	0,25 (6,35)
	Galho fino	3,07 (8,50)	0,15 (6,29)	3,69 (12,13)	11,62 (14,67)	2,31 (15,76)	0,37 (9,24)
	Galho grosso	0,89 (2,48)	0,03 (1,49)	1,07 (3,54)	5,49 (6,93)	0,82 (5,62)	0,15 (3,67)
	Total	36,16 (100)	2,33 (100)	30,44 (100)	79,24 (100)	14,67 (100)	3,96 (100)
2013	Folha	33,76 (93,36)	2,29 (83,61)	17,13 (73,84)	51,55 (72,14)	10,35 (65,77)	3,32 (81,63)
	Miscelânea	2,84 (7,87)	0,16 (6,0)	0,99 (4,25)	2,25 (3,14)	1,11 (7,05)	0,19 (4,58)
	Galho fino	3,54 (9,81)	0,18 (6,42)	2,92 (12,59)	8,26 (11,56)	2,57 (16,32)	0,35 (8,73)
	Galho grosso	1,8 (5,14)	0,11 (3,97)	2,16 (9,32)	9,40 (13,16)	1,71 (10,86)	0,21 (5,06)
	Total	42,01 (100)	2,73 (100)	23,2 (100)	71,46 (100)	15,75 (100)	4,07 (100)
Média		39,08	2,53	26,82	75,35	15,21	4,01

* Valores entre parênteses correspondem à porcentagem (%) de cada fração em relação ao total de determinado macronutriente contido na serapilheira em cada ano de estudo.

Neste estudo a devolução total média de macronutrientes, foi de $163 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo 46,23% desse total proveniente do elemento Ca, seguindo a seguinte ordem decrescente: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$ (Tabela 15).

Hernández et al. (2009), estudando a produção de serapilheira e o teor de nutrientes em *Eucalyptus dunnii*, com 9 anos de idade, no Uruguai, por dois anos, observaram um acúmulo de serapilheira de 18 Mg ha^{-1} com os seguintes teores de

macronutrientes 5,2; 0,4; 1,0; 19,3 e 1,5 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Obtiveram então, uma ordem decrescente de Ca > N > Mg > K > P, resultado este semelhante ao presente estudo. Schumacher et al. (2003), avaliando transferência de nutrientes ao solo em povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii*) em Butiá/RS observaram que a ordem e a magnitude de transferência de nutrientes para o solo foram N > Ca > K > Mg > P, ou seja, 106,2; 62,8; 41,8; 9,4 e 3,4 kg ha⁻¹, respectivamente. O aporte de nutrientes variou para cada elemento, diferenças estas relacionadas provavelmente com as condições de solo e características fisiológicas das espécies.

Vieira et al. (2009), avaliando a produção de serapilheira e a devolução de nutrientes ao solo no híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis* (Eucalipto Urograndis) no período de maio de 2007 a abril de 2008 observaram que o N e Ca foram os nutrientes de maior expressão na serapilheira para transferência ao solo. A ordem de predominância observada foi N > Ca > K > Mg > P.

A transferência total de micronutrientes foi 9,73 kg ha⁻¹, sendo 87,60% desse total derivado do elemento Mn, seguindo a ordem decrescente de Mn > Fe > B > Zn > Cu semelhante à encontrada por Corrêa et al. (2013) com *Eucalyptus dunni* estabelecido também em solos arenosos (Tabela 16).

Tabela 16 - Quantidade de micronutrientes (g ha⁻¹ ano⁻¹) nas frações formadoras da serapilheira produzida durante o período de 2012 a 2013 em Alegrete/RS.

Ano	Fração	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		(g ha ⁻¹ ano ⁻¹)				
2012	Folha	161,85 (85,83)*	33,80 (62,83)	994,20 (85,75)	9.399,09 (89,73)	37,25 (67,96)
	Miscelânea	11,36 (6,03)	3,90 (7,19)	75,28 (6,49)	229,80 (2,19)	2,85 (5,20)
	Galho fino	12,02 (6,37)	11,96 (22,23)	65,47 (5,65)	623,26 (5,95)	11,35 (20,17)
	Galho grosso	3,33 (1,77)	4,17 (7,75)	24,41 (2,11)	222,38 (2,12)	3,36 (6,13)
	Total	188,56 (100)	53,80 (100)	1.159,36 (100)	10.474,54 (100)	54,82 (100)
2013	Folha	174,66 (86,50)	23,48 (57,69)	451,80 (73,02)	5.222,66 (79,49)	55,22 (58,89)
	Miscelânea	8,23 (4,08)	2,99 (7,34)	57,82 (9,35)	222,86 (3,39)	4,71 (5,02)
	Galho fino	12,39 (6,14)	8,10 (19,91)	55,14 (8,91)	588,77 (8,96)	17,80 (18,98)
	Galho grosso	6,64 (3,29)	6,13 (15,06)	53,95 (8,72)	535,56 (8,15)	16,03 (17,10)
	Total	201,93 (100)	40,71 (100)	618,71 (100)	6.569,86 (100)	93,76 (100)
Média		195,25	47,26	889,04	8.522,20	74,29

* Valores entre parênteses correspondem à porcentagem (%) de cada fração em relação ao total de determinado micronutriente contido na serapilheira em cada ano de estudo.

Os teores de macronutrientes encontrados por Carvalho (2014), estudando o híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis* (Eucalipto Urograndis) no município de Alegrete/RS, apresentaram a seguinte ordem $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Já os teores de micronutrientes seguiram a ordem decrescente de $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$, resultados equivalentes ao encontrado no presente estudo para ambas as situações.

Gill et al. (1987), analisando a quantidade de nutrientes na serapilheira de plantios jovens de *Eucalyptus tereticornis* em solos altamente alcalinos na Índia, observaram nos 4 anos de avaliação que a maior concentração de macronutrientes seguiu a ordem $\text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{P}$. Quando observados os micronutrientes, encontraram a seguinte ordem de concentração $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$, resultados estes coincidentes com o obtido no presente estudo.

Vogel (2005) salienta a importância de estudos sobre a devolução de nutrientes pela deposição e acúmulo de serapilheira já que a mesma realiza a manutenção nutricional do ecossistema.

Nos estudos de Neves (2012) sobre ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no planalto sul catarinense, a ordem e grandeza dos valores foi $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, sendo o componente constituído pelas folhas o principal contribuinte.

Corrêa et al. (2013) estudando deposição de serapilheira em *Eucalyptus dunnii* na região do bioma Pampa também encontrou concentrações dos macronutrientes mais elevadas na fração folha sendo que, o maior aporte foi de Ca e o menor aporte foi de P.

6.4 Conclusões

A produção total de serapilheira do *Eucalyptus dunnii* na região de Alegrete/RS durante o período de estudo foi de $6,95 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo folha a fração mais expressiva com $4,64 \text{ Mg ha}^{-1}$, correspondendo a 66,75% desse total.

Em média 80% do fornecimento de nutrientes ao solo ocorre via fração foliar, sendo responsável por 76% do fornecimento de micronutrientes e 87% de macronutrientes.

A transferência total de macronutrientes da serapilheira para o solo foi de 163 g kg^{-1} , sendo 46,22% desse total proveniente da deposição de Ca ($35,78 \text{ g kg}^{-1}$),

seguido por N (17,88 g kg⁻¹); K (9,87g kg⁻¹); Mg (8,42g kg⁻¹); S (1,78 g kg⁻¹) e P (1,12g kg⁻¹).

A transferência total de micronutrientes da serapilheira para o solo foi de 9,73 kg ha⁻¹ sendo, 87,60% desse total representado pelo elemento Mn (3.081,33 g kg⁻¹) seguido do Fe (410,93 g kg⁻¹); B (75,61 g kg⁻¹); Mn (54,89 g kg⁻¹) e Cu (29,66 g kg⁻¹).

Os teores de nutrientes na serapilheira ocorreram na seguinte ordem decrescente: Ca > N > K > Mg > S > P para macronutrientes e Mn > Fe > B > Zn > Cu para micronutrientes.

6.5 Referências Bibliográficas

ALVES, A. R.; SOUTO, J. B.; SOUTO, P. C. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de caatinga na Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. V. 6, n. 2, p. 194-203, 2006.

BARBOSA, J. H. C. Dinâmica da serapilheira em estágios sucessionais de Floresta Atlântica (Reserva Biológica de Poço das Antas RJ). Rio de Janeiro, **JR**, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, **Dissertação de Mestrado**, 202 p., 2000.

BRAY, J. R.; GORHAM, E. **Litter production in forest of the world**. Advances in Ecological Research 2, 101-57. 1964.

CARVALHO, R. R. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFSM. Santa Maria/RS. 80p. 2014.

CIANCIARUSO, M. C. ; PIRES, J. S. R.; DELITTI, W. B. C.; SILVA, E. F. L. P. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP. Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, SP, v. 20, n. 1, p. 49-59, jan./mar. 2006.

CIZUNGU, L.; STAELENS, J.; HUYGENS, D.; WALANGULULU, L.; HUHINDI, D.; CLEEMPUT, O.; BOECKX, P. Litterfall and leaf litter decomposition in a Central African tropical mountain forest and eucalyptus plantation. **Forest Ecology and Management**. 326:109-116. 01/2014.

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**. IPEF. Vol. 41, n. 97, p. 065-074, março, 2013.

DELITTI, W. B. C. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para análise funcional de ecossistemas terrestres. **Oecologia Brasiliensis**, v. 1, p. 469-486. 1995.

FASSEBENDER, H. W. **Modelos edafológicos de sistemas agroflorestais**. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Ed. 2, 1993. 491p.

FERREIRA, R. L. C.; LIRA JR, M. A.; ROCHA, M. S.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutriente em serapilheira em um bosque de Sabiá (*Mimosa caesalpinhiifolia* Benth). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.31, n.1, p.7-12, 2007.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v.13, p.11-18, 2003.

GAMA-RODRIGUES, A. C. **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos, em solo de tabuleiro da Bahia, Brasil**. 1997. 107f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. L.; DUEVER, M. J. Mineral cycling in Tropical moist forest ecosystem. Georgia: University of, 1975.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilidade florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2000. p 287–308.

GONZALEZ, M. I. M.; GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revision. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, v. 41, p.1130-1157, 1986.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1985. 144p.

HERNÁNDEZ, J.; PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. Nutrient export and harvest residue decomposition, patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam. 258, n. 2 p. 92–99, 2009.

JORDAN, C. F. Nutrient cycling in tropical Forest ecosystems. John Wiley & Son, **Chichester**, 190p. 1985.

KRAMER, J. P.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das Árvores**. Fundação Calouste Gulbekian, Lisboa, 1960. 745p.

LOPES, M. I. M; DOMINGOS, M.; VUONO, Y. S. Ciclagem de nutrientes minerais. In: **Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica**. SYLVESTRE, L. S. e ROSA, M. M. T. Seropédica, RJ: EDUR, p.72-103, 2002.

LOPES, V. G.; SCHUMACHER, M. V.; MÜLLER, I.; CALIL, F. N.; WITSCHORECK, R.; LIBERALESSO, E. Variáveis físicas e químicas do solo importantes na distribuição de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. no nordeste do Rio Grande do Sul. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, RS, v.1, p.14 - 23, 2013.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T. Análises químicas de tecido vegetal.

In: SILVA, F.C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. Cap. 4, p.171-224.

MOLCHANOV, A. A. **The Hydrological Role of Forest**. Jerusalem, 1963. 407p.

MORELLATO, L. P. C. Nutrient cycling in two southeast Brazilian forests. Litterfall and litter standing crop. **Journal of Tropical Ecology**, v.8, p. 205-215, 1992.

NEVES, C. U. **Ciclagem de nutrientes em plantios de *Eucalyptus dunnii* com idade de 1, 2 e 3 anos no Planalto Sul Catarinense**. (Dissertação de Mestrado), UDESC, Lages, SC. 2012. 94 p.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus***. Implicações silviculturais. 1985 210 f. Tese (Livre-Docente) – Escola superior Luiz de Queiroz /USP, Piracicaba, SP, 1985.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.) **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 287-308.

PROCTOR, J. Tropical forest litterfall. I. Problems of data comparison. In: SUTTON, S. L.; WHITMORE, T. C.; CHADWICK, A. C. (Eds.) **Tropical rain forest: ecology and management**. Oxford: **Blackwell Science Public**, 1983. p. 267-273.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soil sin the tropics**. New York: John Wiley & Sons.1976. 409p.

SCHUMACHER, M.V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1992. 104p.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A floresta e a água**. 1. ed. Porto Alegre, RS: Pallotti, 1998. 70 p.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; RODRIGUES, L. M.; SANTOS, E. M. S. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) No estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n.6, p.791-798, 2003.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; HERNANDES, J. I.; KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze no município de Pinhal Grande/RS. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p.29-37, 2004.

TANG, J. W.; CAO, M.; ZHANG, J. H.; LI, M. H. Litterfall Production, decomposition and nutrient use efficiency varies with tropical forest types in Xishuangbanna, Sw China: A 10-year study. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 335, n. 1, p. 271-288, 2010.

TEDESCO, M. J.; GINELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J.

Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, RS: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G. Dinâmica da deposição de serapilheira em florestas secundárias do município de Pinheiral, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 39-46. 2004.

VIERA, M. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* de wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 225-233, abr.-jun., 2010.

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil.** 2012. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

VIERA, M.; CALIL, F. N.; SCHUMACHER, M. V.; LOPES, V. G.; WITSCHORECK, R. Biomassa e nutrientes em sistema Agrossilvicultural no extremo sul do Brasil. Artigo Científico. Ecologia e Nutrição Florestal. **Revista ENFLO**. UFSM. 2013.

VIEIRA, J. A. G.; TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; LIMA, E.; ZONTA, E. Produção de Serapilheira e Retorno de Nutrientes ao Solo pela Espécie *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Agroecologia**. 2009. Vol. 4 - Nº. 2.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.6, p.793-800, 2004.

VOGEL, H. L. M. **Quantificação da biomassa e nutrientes em uma floresta Estacional Decidual em Itaara/RS, Brasil.** 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

7 BALANÇO NUTRICIONAL, IMPLICAÇÕES SILVICULTURAIS E ECOLÓGICAS

Resumo

O conhecimento da dinâmica de nutrientes e a distribuição dos mesmos nas diversas frações formadoras da árvore e nos respectivos compartimentos do ecossistema facilitam o entendimento e a tomada de decisão com relação à adoção de sistemas de colheita florestal, manejo de resíduos e planejamento da adubação, contribuindo assim, para a sustentabilidade do ecossistema e para a melhoria do manejo de florestas plantadas. Em povoamentos florestais manejados para a produção de madeira a colheita é o principal meio de exportação de nutrientes do sítio florestal. O presente capítulo teve por objetivo avaliar o balanço nutricional do *Eucalyptus dunnii* no contexto de uma microbacia hidrográfica experimental localizada no bioma Pampa. Foram medidas as quantidades de macronutrientes que entram no ecossistema da microbacia via precipitação pluviométrica (1,04 kg ha⁻¹ para N, 0,13 kg ha⁻¹ para P, 2,51 kg ha⁻¹ para K, 5,58 kg ha⁻¹ para Ca e 1,36 kg ha⁻¹ para Mg) e via adubação (68,40 kg ha⁻¹ para N; 101,00 kg ha⁻¹ para P, 91,20 kg ha⁻¹ para K). Foram estimadas as quantidades imobilizadas no solo (15,98 kg ha⁻¹ para P; 117,32 kg ha⁻¹ para K; 12,36 kg ha⁻¹ para Ca e 3,16 kg ha⁻¹ para Mg), na biomassa (211,51 kg ha⁻¹ para N; 22,12 kg ha⁻¹ para P; 199,88 kg ha⁻¹ para K; 379,70 kg ha⁻¹ para Ca e 86,42 kg ha⁻¹ para Mg) e na serapilheira (39,08 kg ha⁻¹ para N; 2,53 kg ha⁻¹ para P; 26,82 kg ha⁻¹ para K; 75,35 kg ha⁻¹ para Ca e 15,21 kg ha⁻¹ para Mg). Foram estimadas também, as quantidades que saíram via deflúvio da microbacia (3,39 kg ha⁻¹ para N; 3,48 kg ha⁻¹ para K; 10,65 kg ha⁻¹ para Ca e 5,11 kg ha⁻¹ para Mg). Foram simulados três sistemas de colheita (árvore inteira acima do solo; madeira do tronco+casca e somente madeira do tronco). Em todas as simulações o saldo foi positivo. Entretanto, pode-se minimizar o impacto da exportação de nutrientes se o sistema de colheita usado for apenas a retirada da madeira do tronco, deixando-se os resíduos florestais totalmente no sítio. Tomando-se o K como referência, aproximadamente 60% deste macronutriente serão exportados pela colheita se o sistema usado for o de retirada da árvore inteira, mas se for colhido apenas a madeira do tronco, menos de 20% será exportado.

Palavras-chave: balanço nutricional; adubação; colheita florestal; ecossistema; tomada de decisão.

Abstract

The knowledge of the dynamics of nutrients and their distribution in the various fractions forming the tree and in the appropriate compartments of the ecosystem facilitates understanding and decision making regarding the adoption of forest harvesting systems, forest waste management and planning of fertilization, thus contributing to the ecosystem sustainability and for improve the management of planted forests. In forest stands managed for timber production, harvest is the primary means of nutrient export from the forest site. The present chapter aims to evaluate the nutritional balance of *Eucalyptus dunnii* within a watershed located in the Pampa biome. It was measured the quantities of nutrients that entered the ecosystem of the watershed via precipitation (1.04 kg ha⁻¹ were estimated for N, 0.13 kg ha⁻¹ to P, 2.51 kg ha⁻¹ to K, 5.58 kg ha⁻¹ for Ca and 1.36 kg ha⁻¹ for Mg) and via fertilization (68.40 kg ha⁻¹ for N, 101.00 kg ha⁻¹ to P and 91.20 kg ha⁻¹ for K). Quantities immobilized in the soil (117.32 kg ha⁻¹ for K, 15.98 kg ha⁻¹ for P, 12.36 kg ha⁻¹ for Ca and 3.16 kg ha⁻¹ for Mg) were estimated in biomass (211.51 kg ha⁻¹ for N; 22.12 kg ha⁻¹ for P, 199.88 kg ha⁻¹ for K, 379.70 kg ha⁻¹ for Ca and 86.42 kg ha⁻¹ for Mg) and litterfall (39.08 kg ha⁻¹ for N, 2.53 kg ha⁻¹ for P, 26.82 kg ha⁻¹ for K, 75.35 kg ha⁻¹ for Ca and 15.21 kg ha⁻¹ for Mg). Were also estimated the amounts that came out of the watershed via runoff (3.39 kg ha⁻¹ for N, 3.48 kg ha⁻¹ to K, 10.65 kg ha⁻¹ for Ca and 5.11 kg ha⁻¹ for Mg). Three harvesting systems (wooden trunk + bark and stem wood only entire tree above ground) it was simulated. In all simulations, the balance was positive. However, you can minimize the impact of nutrient export if the harvesting system used was only the removal of the wood of the trunk, leaving forest residues fully in the site. Taking K, as reference, approximately 60% of the harvest is exported macronutrient if the system used was the removal of the entire tree but, if the harvest system it was only withdrawal the trunk wood, less than 20% is exported.

Keywords: nutritional balance; fertilization; forest harvesting; ecosystem; decision-making.

7.1 Introdução

A atividade de silvicultura, como o plantio de eucalipto, vem sendo questionada quanto aos seus impactos negativos sobre o meio ambiente relacionados, principalmente, com quantidade e qualidade da água, perda de solo e de nutrientes. Entretanto, muito destes possíveis impactos ainda não foram comprovados cientificamente (VITAL, 2007).

Existe a necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, particularmente naquilo que diz respeito às características nutricionais e seus efeitos na sustentabilidade da produção florestal. Portanto, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes genótipos constitui um requerimento essencial para as empresas com vistas a adoção de técnicas de conservação e reposição de nutrientes ao ecossistema (SANTANA et al., 1999).

A distribuição dos nutrientes nos componentes da árvore tem grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas, pois o manejo intensivo pode aumentar significativamente a produção de biomassa, aumentando também a exportação de nutrientes do sítio (BELLOTE e SILVA, 2004).

Para Drumond et al. (1997), a quantificação dos nutrientes nos componentes da biomassa de um povoamento florestal permite avaliar a magnitude dos reflexos que seriam causados pela intervenção do homem ou por fenômenos naturais ocorridos no ecossistema. Em florestas manejadas para a produção de biomassa de madeira, a retirada desse componente é o principal meio de exportação de nutrientes.

Segundo Poggiani (1985), ocorrem diferenças consideráveis entre as concentrações de nutrientes nos tecidos das diversas espécies florestais, e que algumas árvores podem ser consideradas menos exigentes do que outras quanto a retenção dos nutrientes em seus componentes.

Esse conhecimento é necessário para que sejam tomadas as medidas adequadas de monitoramento, pois plantações florestais manejadas inadequadamente poderão gerar impactos severos sobre os ciclos da água, dos nutrientes e sobre o equilíbrio ecológico dos ecossistemas naturais adjacentes (POGGIANI et al., 1998).

Conforme Viera (2012), com base na distribuição da biomassa e dos nutrientes nos componentes das árvores, podem-se estabelecer quais os critérios que devem ser levados em consideração durante a colheita do povoamento florestal. Essas

informações possibilitam o planejamento de técnicas silviculturais que podem ser aplicadas com vista a manutenção da produtividade do sítio florestal para futuras rotações.

O objetivo deste capítulo é avaliar as implicações silviculturais e ecológicas decorrentes da exportação de nutrientes em função de diferentes cenários de colheita da biomassa de *Eucalyptus dunnii* estabelecido na região do bioma Pampa.

7.2 Materiais e Métodos

Para análise do balanço nutricional e das implicações silviculturais e ecológicas causadas pelos diferentes sistemas de colheita da biomassa florestal foram levadas em consideração dados sobre macronutrientes apresentados nos capítulos 4, 5, 6 e 7, mas principalmente no capítulo 5, sobre “Produção de biomassa e estoque de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*”.

O balanço de nutrientes, conforme o sistema de colheita florestal foi analisado levando-se em consideração as entradas, estoque fixado e saída de nutrientes do ecossistema (microbacia hidrográfica) via precipitação pluviométrica e adubação, ou seja, o estoque de nutrientes fixado na biomassa acima do solo, raízes e serapilheira, e a saída dos mesmos via deflúvio da microbacia.

Foram simulados três sistemas de colheita: a retirada da árvore inteira acima do solo; a retirada da madeira do tronco+casca e a retirada somente da madeira do tronco.

7.3 Resultados e Discussão

7.3.1 Balanço nutricional

Conforme Likens et al. (1967), o balanço de nutrientes pode ser estimado pela diferença entre a entrada meteorológica e a saída geológica por unidade de área.

Na Tabela 17 podem ser observadas as diferenças na exportação de nutrientes do sítio florestal em função da intensidade de colheita da biomassa.

Considerando-se o sistema de colheita florestal no qual ocorria a retirada da árvore inteira (biomassa total acima do solo) a remoção de nutrientes é superior a 65% para Mg, superior a 50% para N e Ca, superior a 35% para K e superior a 10% para P (Tabela 17).

Tabela 17 - Fluxo, quantidades (kg ha^{-1}), simulações de colheita e percentagens (%) de remoção de nutrientes através de diferentes sistemas de colheita em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*.

Compartimento	Status	N	P	K	Ca	Mg
		(kg ha ⁻¹)				
Precipitação	Entrada	1,04	0,13	2,51	5,58	1,36
Adubação	Entrada	68,40	101,00	91,20	NA**	NA
Biomassa	Imobilizado	211,51	22,12	199,88	379,70	86,42
Serapilheira	Imobilizado	39,08	2,53	26,82	75,35	15,21
Solo	Imobilizado	ND*	15,98	117,32	12,36	3,16
Subtotal	-	318,99	141,63	435,22	467,41	104,79
Fluxo total na microbacia	-	322,38	141,63	438,70	478,06	109,90
Simulação de Colheita	Biomassa total acima solo	175,54 (55,03)***	18,20 (12,85)	170,98 (39,29)	278,09 (59,50)	69,14 (65,98)
	Madeira + casca	88,50 (27,74)	12,03 (8,49)	120,16 (27,61)	180,05 (38,52)	47,35 (45,19)
	Somente madeira	60,00 (18,81)	7,75 (5,47)	79,19 (18,20)	51,43 (11,00)	24,49 (23,37)

ND* = Não Determinado, NA** = Não Adicionado, (%)*** = Percentual de exportação de nutriente pela colheita.

Viera (2012) ao simular alguns sistemas de colheita florestal, encontrou diferenças na exportação de nutrientes do sítio florestal em função da intensidade da colheita para *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul/RS. O autor ao considerar um sistema de colheita da árvore inteira, concluiu que remoção de nutrientes seria superior a 80% para o P e K, superior a 70% para o Ca, Mg, S e superior a 60% para N.

Para o sistema no qual seja colhida a madeira com casca (madeira+casca), a remoção de nutrientes seria superior a 45% para Mg, superior a 35% para Ca, superior a 25% para N e K e, superior a 5% para P.

A exploração da madeira com casca aumenta demasiadamente a remoção de nutrientes do sítio florestal, principalmente para o Ca (BELLÓTE et al., 1980; POGGIANI et al., 1983; SILVA et al., 1983; PEREIRA et al., 1984; POGGIANI, 1985; SCHUMACHER e POGGIANI, 1993; SANTANA et al., 1999; SCHUMACHER e

CALDEIRA, 2001; GUEDES, 2005; VIERA e SCHUMACHER, 2011), sendo necessário acrescentar grandes quantidades de fertilizantes para manter a produtividade nas rotações futuras.

Na simulação, o sistema de colheita que retira somente a madeira do tronco, a exportação de nutrientes é superior a 20% para Mg, superior a 15% para N e K, superior a 10% para Ca e superior a 5% para P.

Em todas as simulações haveria remoção de nutrientes do ecossistema. No entanto, removendo apenas a madeira do tronco, deixando-se o resíduo de colheita no sítio florestal, a porcentagem de remoção de nutrientes em relação ao total contido na biomassa, com exceção do P, seria inferior a 10%, chegando até 5% no caso do P.

Conforme Viera (2012) adotando um sistema de manejo que possibilite a permanência da casca no sítio e apenas seja retirada a madeira, o número potencial de rotações seria aumentado principalmente em consideração ao aumento da disponibilidade de Ca.

Para Santana et al. (2002), esse sistema de colheita seria o mais adequado, pois a maioria dos solos cultivados com povoamentos de eucalipto apresentam baixos teores de Ca e, em alguns casos mais de 60% do total desse elemento absorvido pela biomassa acima do solo é exportado pela retirada da casca do sítio através da colheita florestal. Nesse sentido, na utilização de um sistema de colheita com exploração da casca, o Ca será o nutriente com maior risco de limitação da produtividade, seguido pelo K, N e Mg. No entanto, em função da diferença de sensibilidade ao método de colheita por parte dos nutrientes, esse cenário pode ser alterado por meio da modificação do sistema de colheita.

Na Tabela 17 pode ser observada a simulação de três sistemas de colheita florestal (colheita total da biomassa acima do solo, colheita da madeira+casca e colheita de somente a madeira). Considerando o sistema de colheita da árvore inteira (biomassa total acima do solo), tomando o K como referência, o saldo seria positivo (60,71%), mas se considerarmos o sistema de colheita no qual simula a retirada de somente a madeira, deixando os demais resíduos no sítio florestal, o saldo também será positivo porém, com maior expressividade (81,80%). O resultado desta simulação mostra uma diferença positiva de aproximadamente 46% no saldo de K. Os dados demonstram que o conhecimento da dinâmica nutricional do sítio florestal pode

auxiliar o gestor florestal na tomada de decisão e orientar o manejo florestal de maneira a minimizar os impactos negativos da exportação de nutrientes pela colheita.

Ovalle (1985) pesquisando em área de Floresta Atlântica no Rio de Janeiro, concluiu que cerca de 90% do Mg ($5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), 25% do Ca ($2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e 20% do K ($2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) que saem de uma bacia hidrográfica por via fluvial podem ser atribuídos às entradas atmosféricas.

A utilização completa da árvore extrai uma maior quantidade de nutrientes do sítio e o baixo conteúdo de nutrientes disponíveis no solo pode tornar-se crítico para as próximas rotações (POGGIANI et al., 1983).

Segundo Caldato (2011), dependendo das práticas adotadas de manejo, a saída de nutrientes pode ser menor do que o estoque que permanece no sítio depois da colheita florestal.

Em povoamentos de eucaliptos, a quantidade, a distribuição relativa e a eficiência de utilização de nutrientes dependem da espécie, da idade, do manejo e das condições edafoclimáticas (MORAIS et al., 1990; PEREIRA, 1990; REIS e BARROS, 1990; SANTANA et al., 1999; GAMA-RODRIGUES e BARROS, 2002).

A Figura 10, adaptada do original de Moldan e Cerny (1994), resume o balanço biogeoquímico na microbacia hidrográfica experimental localizada em Alegrete/RS, região do bioma Pampa e avaliada neste estudo.

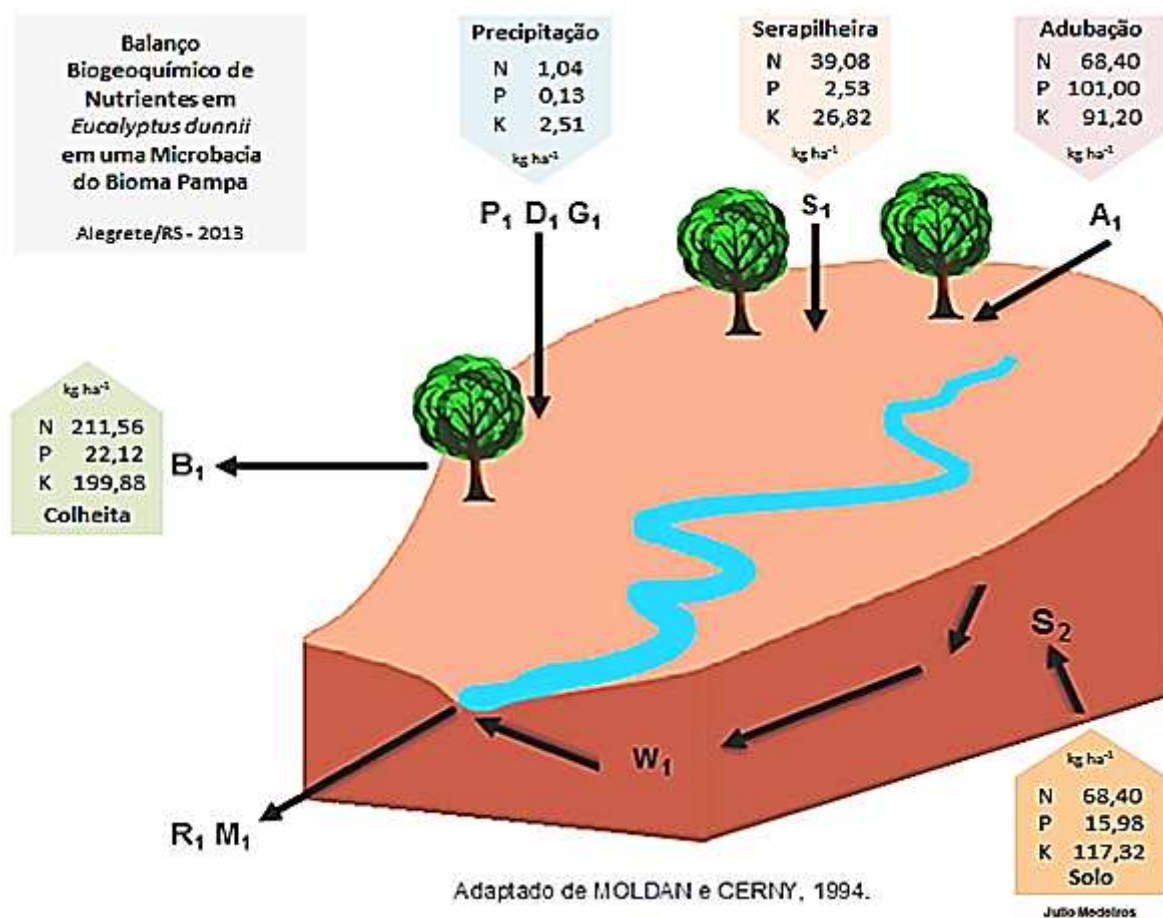


Figura 10 - Balaço biogeoquímico de nutrientes em uma microbacia do bioma Pampa, Alegrete/RS.

Em que: Entradas naturais de nutrientes pelas chuvas, deposição de aerossóis e gases, e pela serapilheira (P₁, D₁, G₁ e S₁); Fertilização (A₁); Nutrientes do solo (S₂); Perdas de nutrientes pelo deflúvio e por sedimentos (R₁ e M₁), Exportação de nutrientes pela colheita florestal (B₁) e Intemperismo (W₁). Adaptado de Moldan e Cerny, (1994).

7.3.2 Implicações silviculturais e ecológicas

Estudos sobre a ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucalipto permitem avaliar possíveis alterações decorrentes de técnicas de manejo aplicadas e possibilita inferir sobre a sustentabilidade da produção. As informações a respeito das quantidades de nutrientes encontradas no solo, na serapilheira e na biomassa aérea são importantes para a definição de estratégias para manutenção da sua sustentabilidade florestal (SPANGENBERG et al., 1996).

A saída de nutrientes do sítio via colheita florestal deve ser um componente levado em consideração por parte das empresas, durante o planejamento das

atividades. Tal preocupação evita que haja diminuição de produtividade com futuras rotações e também contribui para o manejo sustentável, pois a exportação de nutrientes, principalmente do Ca, é elevada devido a colheita da madeira com casca (VIERA, 2012).

A utilização completa da árvore extrai uma maior quantidade de nutrientes do sitio e o baixo conteúdo de nutrientes disponíveis no solo pode tornar-se crítico para as próximas rotações (POGGIANI et al., 1983).

O emprego de genótipos eficientes em absorver e utilizar os nutrientes, o que reduzira a remoção destes do solo, proporcionalmente a biomassa produzida, deve se constituir em uma das grandes metas dos melhoristas da silvicultura (PAULA et al., 1997) para as próximas décadas.

Conforme Reis e Barros (1990) a forma de minimizar a exportação de nutrientes de um determinado local é determinar o componente da árvore a ser explorado, conforme distribuição de biomassa e dos nutrientes nos diversos componentes da planta. A partir disso, pode-se optar por explorar todo o tronco, ou preferencialmente apenas a madeira.

A seleção de espécies de rápido crescimento com baixa demanda por nutrientes e sistemas de colheita onde os componentes da biomassa mais ricos em nutrientes sejam deixados no sitio florestal, também pode minimizar problemas de exportação dos mesmos (POGGIANI, 1985).

Segundo Viera (2012), deve-se evitar a remoção dos resíduos (folhas, cascas e galhos) durante a colheita florestal, contribuindo com a sustentabilidade ambiental, através do incremento da disponibilidade de nutrientes após decomposição deste material, conseqüentemente diminuindo o uso de adubação para reposição nutricional do sitio florestal.

A permanência dos resíduos sobre o solo quando da colheita florestal é uma prática altamente recomendada para qualquer sistema, uma vez que propicia a permanência de parte significativa dos nutrientes extraídos durante o crescimento das árvores (SCHUMACHER et al., 2008). Além disso, quando distribuídos uniformemente sobre a superfície do sitio florestal, possibilita a redução da infestação de plantas invasoras (SCHUMACHER et al., 2003) e melhora a atividade biológica do solo (CHAER e TOTOLA, 2007).

Para Viera (2012), a prática mais correta, em relação a nutrição florestal, é apenas a retirada da madeira comercial sem casca. O autor salienta que se deve evitar a remoção dos resíduos (folhas, cascas e galhos) durante a colheita florestal.

Além disso, o manejo dos resíduos da colheita pode alterar muitas características químicas e físicas do solo, considerando as operações mecânicas envolvidas e o impacto sobre o conteúdo da matéria orgânica do solo (DEDECEK et al., 2007). Conforme os autores, a manutenção dos resíduos aumenta o conteúdo de água disponível na superfície do solo, comparado a retirada total dos resíduos da colheita.

Poggiani et al. (1983) aconselham que sejam incrementadas as pesquisas para a seleção de espécies e clones com uma eficiência mais elevada na utilização dos nutrientes, com o objetivo de aumentar a produção de biomassa com uma menor exportação de nutrientes do sítio.

7.4 Conclusões

O conhecimento da dinâmica de nutrientes dentro do ecossistema e a distribuição dos mesmos nas diversas frações formadoras da árvore e nos compartimentos do ecossistema facilita o entendimento e a tomada de decisão com relação aos sistemas de colheita florestal, manejo de resíduos e adubação, contribuindo assim, para a melhoria do manejo florestal.

As quantidades de macronutrientes que entraram no ecossistema da microbacia via precipitação pluviométrica foram 1,04 kg ha⁻¹ para N, 0,13 kg ha⁻¹ para P, 2,51 kg ha⁻¹ para K, 5,58 kg ha⁻¹ para Ca e 1,36 kg ha⁻¹ para Mg.

As quantidades de macronutrientes que entram no ecossistema da microbacia via adubação foram 68,40 kg ha⁻¹ para N, 101,00 kg ha⁻¹ para P, 91,20 kg ha⁻¹ para K.

As quantidades de macronutrientes fixadas no solo foram 15,98 kg ha⁻¹ para P, 117,32 kg ha⁻¹ para K, 12,36 kg ha⁻¹ para Ca e 3,16 kg ha⁻¹ para Mg.

As quantidades de macronutrientes imobilizadas no ecossistema da microbacia via biomassa foram 211,51 kg ha⁻¹ para N, 22,12 kg ha⁻¹ para P, 199,88 kg ha⁻¹ para K, 379,70 kg ha⁻¹ para Ca e 86,42 kg ha⁻¹ para Mg.

As quantidades de macronutrientes fixadas no ecossistema da microbacia via serapilheira foram 39,08 kg ha⁻¹ para N, 2,53 kg ha⁻¹ para P, 26,82 kg ha⁻¹ para K; 75,35 kg ha⁻¹ para Ca e 15,21 kg ha⁻¹ para Mg.

As quantidades de macronutrientes que saíram do ecossistema via deflúvio da microbacia foram 3,39 kg ha⁻¹ para N, 3,48 kg ha⁻¹ para K, 10,65 kg ha⁻¹ para Ca e 5,11 kg ha⁻¹ para Mg.

Foram simulados três sistemas de colheita: árvore inteira acima do solo; madeira do tronco+casca e somente madeira do tronco. Em todas as simulações os saldos foram positivos. A permanência total dos resíduos da colheita no sítio florestal propicia um maior percentual de retorno de macronutrientes ao solo.

O peso da colheita do *Eucalyptus dunnii* Maiden, plantado em solo arenoso e de baixa fertilidade natural afetou, ainda que positivamente, de forma diferenciada a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes.

7.5 Recomendações

Com base nos resultados do presente estudo recomenda-se manter totalmente os resíduos da colheita (folhas, galhos finos, casca e raízes) no local do corte favorecendo a ciclagem de nutrientes e a manutenção da capacidade produtiva do sítio florestal.

7.6 Referências Bibliográficas

CALDATO, S. L. Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em uma plantação de *Pinus taeda* L. no Nordeste Argentino. Tese de Doutorado, PPGEF/UFSM, Santa Maria, RS. 106 p. Março, 2011.

CHAER, G. M.; TOTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG v. 31, n. 6, p. 1381-1396, nov.-dez. 2007.

BELLOTE, A. F. J. SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Extração e exportação de nutriente pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex- Maiden em função da idade: 1 – macronutrientes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 20, p.27-45, jun. 1980.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONCALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds) **Forestry nutrition and fertilization**. Piracicaba, SP: IPEF, 2004. p. 113-140.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J.; MENEGOL, O. Influência do manejo dos resíduos e dos sistemas de preparo do solo no crescimento de eucaliptos em segunda rotação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 74, p. 9-17, jun. 2007.

DRUMOND, M. A.; BARROS, N. F.; SOUZA, A. L.; SILVA, A.F. Distribuição de biomassa e de nutrientes em diferentes coberturas florestais e pastagem na região do médio Rio Doce/MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 187-199, 1997.

GAMA-RODRIGUES, A. C. BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, 26:193-207, 2002.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após a aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba, SP, 2005.

LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; JOHNSON, N. M.; PIERCE, R. S. The calcium, magnesium, potassium and sodium budgets for a small forested ecosystem. **Ecology**. 48:772-785. 1967.

MORAIS, E. J.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; BRANDI, B. M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 14:353-362, 1990.

OVALLE, A. R. C. **Estudo Geoquímico das Águas Fluviais da Bacia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro**. Niterói, RJ, 1985. 79p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense, 1985. 79 p.

PAULA, R. C.; PAULA, N. F.; BARROS, N. F.; BORGES, R. C. G. Exportação de nutrientes por famílias de meio – irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. IN: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Proceedings... Colombo: EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisas Florestais**. Salvador, BA, v. 1, p. 200 -204, 1997.

PEREIRA, A. P.; ANDRADE, D. C.; LEAL, P. G. L.; TEIXEIRA, N. C. S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 15, n. 1, p.1 8-26, 1984.

PEREIRA, A. R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região de cerrado**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1990. 167p.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 25, p. 37-39, dez. 1983.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus**. Implicações silviculturais. 1985 210 f. Tese (Livre-Docente) – Escola superior Luiz de Queiroz /USP, Piracicaba, SP, 1985.

POGGIANI, F.; STAPE, J. L.; GONCALVES, J. L. M. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, SP, v. 12, n. 31, p. 33-44, abr. 1998.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F., Eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG, **Folha de Viçosa**, 1990. 330p.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, SP, . 56, p. 155-169, dez. 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 447-457, jul.-ago. 2002.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (labillardiere) subespécie maidenii. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, jan.-jun. 2001.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M.; WITSCHORECK, R.; SALVADEGO, M. **Quantificação do carbono e dos nutrientes em florestas de eucalipto de diferentes idades**. Santa Maria, RS: Fatec, 2003. 112p. (Relatório técnico).

SCHUMACHER, M.V.; VIERA, M.; WITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de Pinus taeda L. no município de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.18, n.4, 2008.

SHUMACHER, M. V., POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* f. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 9-18, jan.-dez. 1993.

SILVA, H. D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de Eucalyptus plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, PR, n. 6/7, p. 9-25, jun.-dez. 1983.

SPANGENBERG, A.; GRIMM, U.; SILVA, J. R. S.; FULSTER, H. Nutrient store and export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**. Jari, AM. 80: 225-234, 1996.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Biomassa em povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra e do milho em sistema agrossilvicultural. **Cerne**, Lavras, MG, v. 17, n. 2, p. 259-265, abr.-jun. 2011.

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil**. 2012. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, RJ, v. 14, n. 28, p. 235-276, dez. 2007.