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

BIOMASSA E NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urograndis* ESTABELECIDO EM SOLO SUJEITO A ARENIZAÇÃO NO SUL DO BRASIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Renata Reis de Carvalho

Santa Maria, RS, Brasil

2014

BIOMASSA E NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urograndis* ESTABELECIDO EM SOLO SUJEITO A ARENIZAÇÃO NO SUL DO BRASIL

Renata Reis de Carvalho

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado 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
Mestre 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 Dissertação de Mestrado

BIOMASSA E NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urograndis* ESTABELECIDO EM SOLO SUJEITO A ARENIZAÇÃO NO SUL DO BRASIL

elaborada por
Renata Reis de Carvalho

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____

Mauro Valdir Schumacher, Dr. rer. nat. techn.

(Presidente/Orientador)

_____

Márcio Viera, Dr. (UFSM)

_____

Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 25 de fevereiro de 2014.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e irmã,
Rogério Carneiro de Carvalho
Valdirlene Reis de Carvalho, e
Sabrina Reis de Carvalho.

Dedico este Trabalho

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as bênçãos recebidas até hoje.

Ao Prof. Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher pela oportunidade, orientação, paciência, amizade, incentivo e confiança.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal.

A CAPES pela bolsa de estudos concedida para realização deste trabalho.

A empresa Stora Enso S/A, pela disponibilização da área para coletas das amostras, principalmente nas pessoas dos Engenheiros Florestais; Júlio Cesar Medeiros da Silva e Claudiney G. do Couto e sua equipe de campo.

A Cerlene Machado, secretária do PPGEF, pelo apoio e amizade.

Ao grande amigo Emir Silva e toda família Spadetto pelo acolhimento, grande amizade, incentivo e confiança.

Aos funcionários do laboratório de Ecologia Florestal, Biólogo Vitor H. Braga, ao Químico Cristiano K. Giesbrecht.

Ao MSc. Eng. Florestal Rudi Witschoreck, pelo auxílio e amizade.

Aos amigos e colegas que contribuíram durante o desenvolvimento deste trabalho; Dione, Fernando, Jéssica, Bernardo, Luís, Guilherme, Marcieli, Tuany, Alana, Franciele, Gilce, Murilo, Vicente, Joel, Tamires, Rafaela, Cristine, Carline, Catarine, Simone, Carol, Bruna e Tayná.

A Francisca Cleide por todo apoio e conselhos.

A toda minha família e amigos, pelo incentivo nos meus projetos pessoais e profissionais.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

BIOMASSA E NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urograndis* ESTABELECIDO EM SOLO SUJEITO A ARENIZAÇÃO NO SUL DO BRASIL

AUTORA: RENATA REIS DE CARVALHO
ORIENTADOR: MAURO VALDIR SCHUMACHER
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 25 de fevereiro de 2014.

O estudo sobre a ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto prevê alternativas de recuperação e manejo evitando que haja diminuição de produtividade em futuros plantios, contribuindo para o manejo sustentável. O presente estudo foi realizado no município de Alegrete, Rio Grande do Sul. O objetivo foi avaliar a biomassa e os nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 4,5 anos de idade, estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil. A partir de um inventário, doze árvores foram selecionadas e amostradas para a quantificação da biomassa acima do solo. O sistema radicular foi amostrado através da escavação de quatro árvores, uma em cada classe. Para a amostragem da serapilheira produzida foram instalados 16 coletores de 0,5 m² de área útil para avaliação das frações folhas, miscelânea e galhos finos (diâmetro menor ou igual a 5 mm), além da instalação de sub-parcelas para coletas de galhos grossos (diâmetro maior que 5 mm). A biomassa total estimada foi de 75 Mg ha^{-1}, com a seguinte distribuição 5,5%; 10,2%; 7,7%; 61,2% e 15,4% nas folhas, galhos, casca do tronco, madeira do tronco e raízes, respectivamente. A quantidade de macronutrientes na biomassa teve a seguinte magnitude: Ca > K > N > Mg > S > P. A quantidade de micronutrientes na biomassa foi: Mn > Fe > B > Zn > Cu. A produção de serapilheira anual foi de 8,1 Mg ha^{-1}, tendo seu pico nos meses de novembro e dezembro. A serapilheira acumulada foi de 9,7 Mg ha^{-1}. A serapilheira produzida seguiu a ordem das seguintes frações: folhas > galhos finos > galho grosso > miscelânea. A concentração de Ca foi maior no galho grosso e do N foi maior nas folhas. A menor concentração do P foi no galho grosso. Em relação aos micronutrientes verificou-se que foram mais presentes nas raízes. A espécie apresentou boa eficiência no uso dos nutrientes. Com base na remoção de nutrientes nos diferentes cenários de colheita da biomassa, balanço nutricional e número potencial de rotações, a colheita da madeira do tronco + casca do tronco, removeu acima de 50% de todos os nutrientes acumulados na biomassa acima do solo. Realizando a colheita apenas da madeira comercial deixando os resíduos da colheita sobre o solo contribui-se com a ciclagem de nutrientes evitando a diminuição da produtividade nas próximas rotações.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. Nutrição florestal. Matéria orgânica.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduation Program of Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

BIOMASS AND NUTRIENT IN A PLANTATION OF *Eucalyptus urograndis* IN A SOIL SUBJECTED TO SAND EFFECTS IN SOUTHERN BRASIL

AUTHOR: RENATA REIS DE CARVALHO
ADVISER: MAURO VALDIR SCHUMACHER
Date and Place of the Presentation: Santa Maria, February 25th, 2014.

The study on nutrient cycling in plantation of eucalyptus provides alternative recovery and management avoiding having reduction in future productivity of plantations, contributing to sustainable management. The current study was conducted in the municipality of Alegrete, Rio Grande do Sul, Brazil, in an area belonging to the enterprise Stora Enso S/A. The objective was to assess biomass and nutrient dynamics in a stand of *Eucalyptus urograndis* in soil subjected to sand effects in southern Brazil. From an inventory, 12 trees were selected and sampled for the quantification of aboveground biomass. The root system was sampled through the excavation of four trees. For the sampling of the leaf litter produced, 16 collectors of 0,5 m² of useful area were installed for the evaluation of leaves, miscellany and thin branches (diameter less than or equal to 5 mm). In addition, sub-plots were installed for the collection of thick branches (diameter greater than 5 mm). The estimated total biomass was of 75 Mg ha^{-1}, with the following distribution 5,5%; 10,2%; 7,7%; 61,2% and 15,4% in the leaves, branches, stem bark, stem wood and roots, respectively. The litterfall in the year was 8,1 Mg ha^{-1}, having its peak between the months of November and December. The litter accumulation was 9,7 Mg ha^{-1}. The amount of nutrients in biomass had the following magnitude of the macronutrients: Ca > K > N > Mg > S > P. The amount of biomass was micronutrients: Mn> Fe> B> Zn> Cu. The litterfall followed the order of the following fractions: leaves > thin branches > thick branches > miscellany. The Ca concentration was greater in thick branches and N was higher in the leaves. The lowest P concentration was observed in the thick branches. Regarding the micronutrients, values showed variations and presented the following order: Mn > Fe > B > Zn > Cu. The species showed good efficiency in using nutrients. Based on nutrient removal in different scenarios harvest of biomass, nutritional balance and potential number of rotations of the wood harvesting + stem bark of removes over 50% of all accumulated in above-ground biomass nutrients. Performing their harvest of commercial timber leaving residues on the soil itself contributes to nutrient cycling avoiding decreased productivity in the next rotation.

Keywords: Nutrient cycling. Forest nutrition. Organic matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dinâmica da ciclagem de nutrientes em uma floresta. Fonte: Adaptado de Miller (1984); Por: Lopes, V. G.....18
Figura 2 - Percentual da biomassa em plantações de *Eucalyptus* spp. em diferentes idades. Fonte: Schumacher et al. (2003).....21
Figura 3 - Localização da área de povoamento de eucalipto no município de Alegrete - RS. Fonte:Stora Enso FlorestalRS,(2012).....23
Figura 4 - Precipitação média anual da região de Alegrete –RS. Fonte: StoraEnso Florestal RS, (2013).....24
Figura 5 - Distribuição diâmetrica e suas respectivas frequências.....29
Figura 6 - Metodologia de determinação de biomassa. 30
Figura 7 - Percentual de macronutrientes na biomassa da espécie *E. urograndis*.....42
Figura 8 - Percentual de micronutrientes na biomassa da espécie *E. urograndis*.....44
Figura 9 - Estoque de nutrientes disponíveis nos diferentes compartimentos da árvore.....48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos do Argissolo Vermelho Distrófico típico no povoamento de *E. urograndis*, Alegrete, RS.....25
Tabela 2 - Variáveis dendrométricas obtidas através do inventário realizado no povoamento de *E. urograndis*, Alegrete, RS.....35
Tabela 3 - Parâmetros e estatísticas de ajuste do modelo de regressão utilizado para estimar a biomassa das árvores de *E. urograndis*.....37
Tabela 4 - Valores da biomassa (Mg ha) do povoamento de *E. urograndis* nos diferentes componentes das árvores.....38
Tabela 5 - Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) na biomassa.....39
Tabela 6 - Teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) na biomassa.....40
Tabela 7 - Quantidade de macronutrientes (kg ha^{-1}) no povoamento de *E. urograndis*.....41
Tabela 8 - Quantidade de micronutrientes (g ha^{-1}) no povoamento de *E. urograndis*.....43
Tabela 9 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes dos diferentes componentes da biomassa de eucalipto.....45
Tabela 10 - Exportação de nutrientes em função da intensidade de colheita da biomassa de *E. urograndis* aos 4,5 anos de idade.....49
Tabela 11 - Estimativa do número potencial de rotações (NPR) com base no estoque de nutrientes na biomassa e disponíveis no solo (1m de profundidade) e na saída via colheita.....51
Tabela 12 - Taxa de remoção de macronutrientes (kg de nutrientes/Mg de biomassa) conforme intensidade de colheita da biomassa acima do solo.....52
Tabela 13 - Produção de serapilheira nas diferentes frações ao longo de um ano de *E. urograndis*, Alegrete, RS.....53
Tabela 14- Coeficientes de correlação de Pearson entre os componentes da serapilheira.....54
Tabela 15 - Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) na serapilheira produzida.....55
Tabela 16 - Teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) na serapilheira produzida.....56
Tabela 17 - Quantidade de macronutrientes (kg ha^{-1}) nas frações formadoras da serapilheira.....57
Tabela 18 - Quantidade de micronutrientes (g ha^{-1}) nas frações formadora da serapilheira.....59
Tabela 19 - Teores de nutrientes na serapilheira acumulada.....60
Tabela 20 - Quantidades de nutrientes na serapilheira acumulada.....61

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Aspecto do coletor de serapilheira (A1), detalhe de uma sub-parcela para coleta de galhos grossos (A2), moldura para coleta de serapilheira acumulada (A3), fracionamento dos componentes das árvores de eucalipto (A4), Pesagem dos componentes de *Eucalyptus urograndis* (A5), amostragem do sistema radicular das árvores selecionadas (A6).....80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....15
2.1 Cultivo do eucalipto.....15
2.2 Ciclagem de nutrientes.....17
2.3 Produção de biomassa e nutrientes.....20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....23
3.1 Caracterização do sítio.....23
3.1.1 Clima.....24
3.1.2 Solo.....24
3.1.3 Vegetação.....26
3.1.4 Relevo e geografia.....26
3.1.5 Histórico de uso da área.....27
3.2 Implantação do experimento.....27
3.3 Avaliação de serapilheira produzida e acumulada.....27
3.4 Quantificação da biomassa.....29
3.5 Biomassa de raízes.....31
3.6 Determinação do índice de área foliar (IAF).....32
3.7 Estimativas do número de rotações com base no balanço de nutrientes.....33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....35
4.1 Caracterização dendrométrica do povoamento.....35
4.2 Biomassa.....36
4.2.1 Teores de nutrientes na biomassa.....39
4.2.2 Quantidade de nutrientes na biomassa.....41
4.3 Coeficiente de utilização biológica (CUB).....45
4.4 Balanço de nutrientes.....47
4.4.1 Simulação de colheita.....49
4.4.2 Número potencial de rotações.....50
4.4.3 Taxa de remoção de nutrientes.....51
4.5 Produção de serapilheira.....52
4.5.1 Concentração de nutrientes na serapilheira produzida.....55
4.5.2 Aporte de nutrientes via deposição de serapilheira.....57
4.5.3 Concentração de nutrientes na serapilheira acumulada.....59
4.5.4 Aporte de nutrientes na serapilheira acumulada.....61
5 CONCLUSÕES.....63
6 RECOMENDAÇÕES.....64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....65
APÊNDICES.....79

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o eucalipto foi introduzido em 1825, inicialmente como planta ornamental e a partir do século XX, teve início do seu aproveitamento econômico com a produção de dormentes ferroviários e lenha para movimentar as locomotivas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Mas foi nos anos 50 que a importância econômica do eucalipto ganhou impulso no Brasil, com o início de sua utilização como matéria-prima para a produção de celulose e papel (FERREIRA e GALVÃO, 2000; HASSE, 2006).

As plantações comerciais estão em constante crescimento, em 2012, o crescimento médio anual foi de 4,5%. A área ocupada por plantios florestais de *Eucalyptus* totalizou 5.102,030 ha, os plantios de *Eucalyptus* tem importante papel no consumo dos produtos florestais do Brasil (ABRAF, 2013).

O melhoramento de plantas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* consistiu basicamente em modificar seu patrimônio genético com a finalidade de obter híbridos com maior rendimento possível, com capacidade de se adaptar às condições de um determinado ambiente, além de exibirem resistência às pragas e doenças.

Este híbrido é conhecido como *urograndis*, possui uma ótima resistência à deficiência hídrica e em solos de baixa fertilidade natural, principalmente, deficientes de boro, podendo haver á necessidade de pequena adubação, além de uma madeira de maior densidade em relação às espécies que o originou, sendo um dos clones mais plantados em reflorestamentos no Brasil, devido a sua grande capacidade de produção de celulose e maior ritmo de crescimento e rendimento volumétrico quando comparados a outras espécies convencionais podendo ser considerado sensível a geadas severas.

O uso deste gênero nas novas plantações florestais, em locais antes sem tradição silvicultural para as mesma pode estar ligado com a baixa exigência nutricional e com a eficiência de utilização de nutrientes dessas plantas (REIS et al. 1987).

Conforme Viera (2007), um dos principais benefícios do cultivo dos eucaliptos, um bem natural renovável, é oferecer alternativa para o suprimento de madeira, diminuindo a pressão sobre as florestas nativas. Pois mesmo que estas pudessem ser utilizadas de forma sustentável, não seriam suficientes para atender a crescente demanda de madeira, devido às dificuldades técnicas de manejo para que se obtenha a produtividade compatível com as necessidades das empresas.

O emprego inadequado de técnicas de manejo aumenta o cuidado com relação à produtividade e conservação do sítio, visto que o setor florestal da região sul ocupa solos de baixa fertilidade natural. Logo, nestes solos seria recomendável utilizar espécies com grande capacidade de utilização de nutrientes que proporcionam a maior produção de biomassa (SILVA et al. 1983).

Devido ao aumento da implantação de povoamentos em solos extremamente pobres, o estudo sobre a ciclagem de nutrientes nesses locais é de importância fundamental, 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 (SCHUMACHER et al. 2008).

A arenização dos solos no bioma pampa acarreta dificuldade de fixação da vegetação da cobertura vegetal devido à intensa mobilidade de sedimentos pela ação das águas e dos ventos e alta suscetibilidade aos processos erosivos. A existência desta arenização deve ser combatida, para que não aumentem e para que não tornem as terras improdutivas. A maior intensidade desses areais está presente nos municípios de Alegrete, São Francisco de Assis, Manoel Viana, entre outros.

Suertegaray et al. (2001), cita que esses depósitos arenosos eram originários de ambientes mais secos de um passado relativamente recente. Estudos experimentais com plantios do eucalipto gera a possibilidade de recompor ambientalmente estes areais. Atualmente, este tipo de estudo passa ser defesa da mudança na matriz econômica da região em que a mudança mais marcante é a transformação de áreas antes pastoris, em áreas de plantios de eucaliptos.

A deposição de serapilheira é um processo pelo qual as árvores realizam parte da ciclagem biogeoquímica de nutrientes nos povoamentos florestais. Existe uma relação direta entre as quantidades de serapilheira depositada e a produtividade dos povoamentos florestais. Havendo também uma tendência de maior velocidade de decomposição dessa serapilheira quando em sítios de maior produtividade (FERREIRA et al. 1995; REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000). Para Vital et al. (2004) é mediante a produção de serapilheira que ocorre parte do processo de retorno de matéria orgânica e de nutrientes para o solo, sendo ela considerada o meio mais importante de transferência de elementos essenciais da vegetação (nutrientes) para o solo.

È essencial compreender como ocorre a ciclagem dos nutrientes no ecossistema, pois a mesma faz parte do processo de reciclagem da matéria orgânica após se decompor. A interação entre solo-planta é fundamental para novas tecnologias de manejo florestal ligada a

produtividade dos plantios. No que diz respeito à velocidade de fluxo, entradas e perdas, interação solo-planta, distribuição de componentes da parte aérea e sistema radicular ao longo do tempo são fundamentais para a definição de tecnologias adequadas de manejo florestal (GONÇALVES et al., 2000).

Esta ciclagem de nutrientes pode ser analisada por meio da distribuição da biomassa acumulada nos diferentes estratos e da quantificação das taxas de nutrientes que se movem através dos diferentes compartimentos. A biomassa aérea e abaixo do solo, o piso florestal, a e outros fatores podem ser considerados compartimentos da floresta (POGGIANI e SCHUMACHER, 2004). De acordo com os autores, pelos processos de lixiviação e decomposição, os nutrientes chegam ao solo e novamente são absorvidos pelo sistema radicular das árvores.

Estudos sobre a distribuição da biomassa e de nutrientes nos diferentes compartimentos de uma árvore é de grande importância para a determinação da idade ideal de corte e do componente a ser colhido, de forma a diminuir a exportação de nutrientes e, por sua vez, minimizar os impactos no sítio (REIS e BARROS, 1990; SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001). Após esta compreensão, este trabalho e os demais relacionados terá a relevância de contribuírem para o desenvolvimento de uma melhor elaboração e estratégias de gestão, tendo em conta a produção de madeira, sustentabilidade ambiental e conservação da biodiversidade (HARTLEY, 2002 e CARNUS et al., 2003).

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar a dinâmica nutricional em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil.

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

a) Estimar a biomassa dos diferentes componentes das árvores de *E. urograndis*;
b) Quantificar o estoque de biomassa e nutrientes armazenados acima e abaixo do solo;
c) Simular três cenários de colheita de biomassa (madeira, madeira + casca e remoção de toda biomassa) e seus impactos no solo;
d) Avaliar a produção de serapilheira e a ciclagem dos nutrientes no povoamento de *E. urograndis*;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivo do eucalipto

O Estado do Rio Grande do Sul, em 2000, contava com uma significativa área de plantações, com aproximadamente de 253 mil hectares (ha) de *Pinus* e *Eucalyptus* (SBS, 2013). Entretanto, em meados de 2005, iniciaram novos plantios no RS, em locais onde não havia, até então, expressiva área com silvicultura, como em regiões do Bioma Pampa.

A maior concentração de plantios florestais fica nas regiões Sul e Sudeste do país com 72,3%, isto foi alavancado devido os investimentos realizados por empresas nacionais do segmento de Papel e Celulose (ABRAF, 2013). As plantações com híbridos, principalmente de *E. grandis* x *E. urophylla*, representam 11% do total da área plantada e têm aumentado nos últimos anos.

A espécie em estudo é uma das principais entre os eucaliptos e seu uso está diretamente ligado aos reflorestamentos brasileiros. *Eucalyptus urograndis*, é um clone híbrido interespecífico proveniente do cruzamento do *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, apresentando assim boas características quanto à adaptação aos diferentes sítios florestais e, além disso, é mais produtivo e/ou apresenta melhor características da madeira (MONTANARI et al., 2007).

As espécies do gênero *Eucalyptus*, introduzidas no Brasil para fins de reflorestamento, permitem um ciclo de corte relativamente curto e elevada produtividade. Com a demanda do consumo de madeira, optou-se por práticas silviculturais como a redução do ciclo de corte e aumento da densidade de populações florestais (SCHUMACHER e POGGIANI 1993).

A ocorrência do eucalipto (*Eucalyptus* spp.) acontece naturalmente na Austrália, Indonésia e ilhas próximas, tais como Flores, Alor e Wetar. O gênero *Eucalyptus* pertence á família das Myrtaceas, com cerca de 600 espécies dos gêneros *Eucalyptus, Corymbia* (113 espécies) e *Angophora* (13 espécies), e apresenta uma ampla plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, extrapolando aquelas das regiões de origem (VITTI, 2002; SCHUMACHER et al. 2005).

Sabe-se que grande parte dos reflorestamentos no Brasil é com eucalipto, logo a aptidão especial do gênero *Eucalyptus* para as plantações com fins comerciais, decorre especialmente dos seguintes aspectos: crescimento extremamente rápido de algumas espécies,

em sítios apropriados; caráter de espécie pioneira, isto é, baixa exigência e larga amplitude ecológica; grande quantidade de espécies (cerca de 600) com diferentes exigências de sítio; simplicidade das culturas e do manejo; reduzido teor de risco do empreendimento, além de excelentes produtividades em amplas áreas reflorestadas (LAMPRECHT, 1990).

Leite (2013) cita que a espécie do eucalipto apresenta alguns efeitos benéficos sobre diversas propriedades do solo, como estrutura, capacidade de armazenamento de água, drenagem e aeração, entre outras.

Com isso, as espécies de eucaliptos possuem a capacidade de responder com aumento das taxas de crescimento em condições mais férteis e, especialmente, para níveis mais altos de nitrogênio e fósforo (TURNBULL; PRYOR, 1984). Os mesmos autores também afirmam que a maior importância do solo com relação à produtividade da espécie está relacionada à profundidade do solo.

Conforme Silva (2005), os plantios de eucalipto evoluíram rapidamente nos últimos anos, ao adotarem práticas sustentáveis de manejo florestal, que hoje, inclusive, são objetos de certificação independente e um dos grandes feitos da pesquisa florestal no Brasil foi o desenvolvimento de tecnologia silvicultural de plantações, reconhecida no mundo todo.

A maioria das espécies de eucalipto plantadas no Brasil possui diferenças em condições de clima e solo, mas com um rápido crescimento, considerada uma espécie recuperadora de solo, pois ela busca nutrientes nas camadas inferiores do solo. Por esse motivo, o eucalipto pode ocupar áreas que são impróprias para a agricultura (REMADE, 2006).

Uma vantagem importante de ressaltar sobre o que o eucalipto apresenta em relação a plantios de monoculturas é a diferença no ciclo de cultivo. Enquanto o ciclo da soja ou do milho, por exemplo, precisa ser renovado a cada ano, o eucalipto só precisa ser replantado a cada seis/oito anos ou conduzido via talhadia. Esse tempo maior é garantia de maior sustentabilidade do solo. Nas plantações, o solo é menos exposto às longas exposições de luz e altas temperaturas, sobretudo em solos mais velhos ou intemperizados, uma vez que as árvores agem como um protetor solar para o solo (SIF, 2013).

A questão da manutenção da produtividade de plantações de eucalipto em regime de curtas rotações está relacionada com a espécie, com as práticas de manejo aplicadas e com a densidade de plantio (LEITE et al., 1998; LIMA 1996; GUO e SIMS 1999).

2.2 Ciclagem de nutrientes

Em geral, o eucalipto produz serapilheira relativamente baixa em nutrientes, mas possui alta eficiência na ciclagem bioquímica (GAMA – RODRIGUES e BARROS, 2002). Mesmo que a serapilheira em solos mais pobres possua o teor de nutrientes menor que em solos férteis, ela constitui uma das principais fontes da ciclagem de nutrientes no sistema.

Conforme Lima (1996) o conhecimento das quantidades de nutrientes presentes no solo e na biomassa acima do solo é de fundamental importância para o entendimento de estrutura de um dado ecossistema e da eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas. Isso mostra que a alta produtividade apresentada pelos eucaliptos em solos de baixa fertilidade pode estar relacionada com uma grande capacidade de utilização de nutrientes (SILVA et al.1983).

A grande vantagem fisiológica que permite a sobrevivência de árvores em solos onde seria tecnicamente e economicamente impossível desenvolver atividades agrícolas consiste na ciclagem de nutrientes, tanto bioquímica como biogeoquímica (KOLM, 2001).

A Figura 1, representa todo o processo de ciclagem de nutrientes por meio da queda de folhas e outras estruturas das árvores, constituindo a via mais importante do ciclo biogeoquímico, e que se torna mais relevante em condição de solos de baixa fertilidade natural. Assim também com as deposições atmosféricas, intemperismo geológico, fixação biológica do nitrogênio e fertilização. Já as saídas incluem lixiviação, erosão hídrica e eólica, volatilização pelas queimadas ou pela desnitrificação, além de remoção pelas colheitas (REIS E BARROS, 1990; PRITCHETT, 1990).

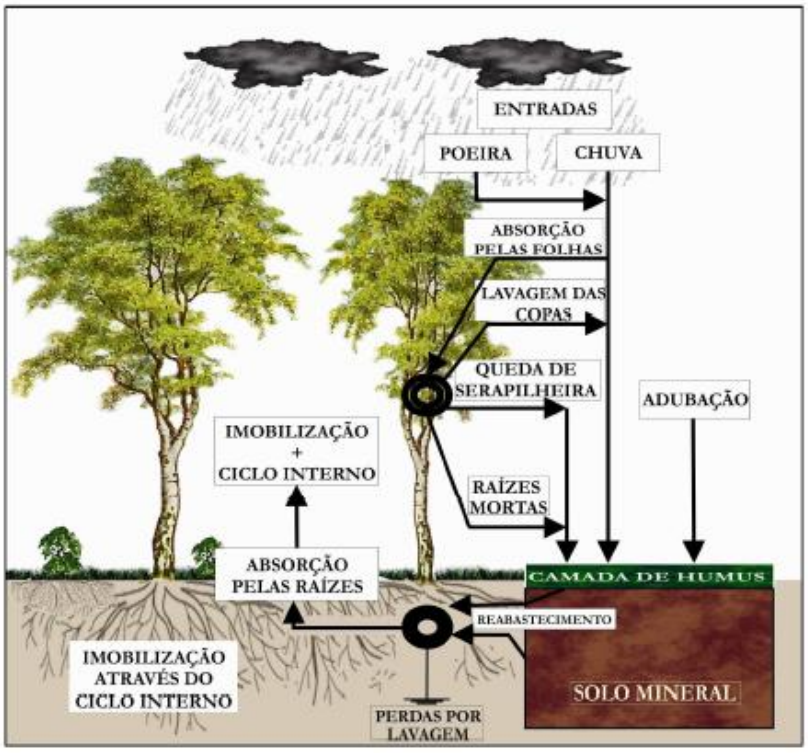


Figura 1 - Dinâmica da ciclagem de nutrientes em uma floresta.

Fonte: Adaptado de Miller (1984); Por: Lopes, V. G.

Vezzani et al. (2001) afirma que cada compartimento de uma árvore apresenta diferentes concentrações de elementos químicos em seu tecido, as árvores de eucalipto mostram alta demanda por nutrientes e a quantidade de nutrientes em um ecossistema florestal é determinada pelo somatório dos diferentes componentes das árvores (folhas, galhos, casca, madeira e raíz), vegetação do sub-bosque, serapilheira e solo.

Em plantios com o gênero *Eucalyptus* sp. são relatadas baixas taxas de decomposição, acarretando acúmulo de material orgânico e, por conseguinte, aumento da quantidade de nutrientes na interface serapilheira-solo (GAMA-RODRIGUES e BARROS, 2002).

Observa-se, geralmente, um gradiente nutricional com a seguinte tendência: folhas > casca > galhos > madeira (SCHUMACHER e POGGIANI 1993). Após a copa se estabelecer, a ciclagem de nutrientes da serapilheira para o solo torna-se a via mais importante de fornecimento de nutrientes para a floresta (NOVAIS et al. 1990).

No tronco, a concentração de nutrientes é muito mais baixa do que nas folhas, o único elemento que se conserva no lenho com um teor aproximado das folhas é o cálcio, por ser um elemento fixo nos tecidos da árvore (DIVIGNEAUD e DENAEYER de SMET 1973).

Com base nisso, a maioria dos nutrientes (exceção do cálcio), são transportados dos tecidos velhos e fotossinteticamente inativos para os tecidos jovens e com grande atividade de crescimento (POGGIANI, 1981). Conforme Switzer e Nelson (1973) até 40% do nitrogênio e do potássio são supridos pela reciclagem interna da árvore, sendo que a maior parte do fósforo seria também fornecida desta forma.

Conforme Andrade et al. (2000), a camada de serapilheira, juntamente com a parte aérea e radicular das plantas, protege o solo dos agentes desagregadores e propicia condições para o restabelecimento de suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Cada espécie possui características diferentes, levando a uma variação na biomassa da serapilheira acumulada sobre o solo de povoamentos florestais, seja a taxa de incremento, condições climáticas e propriedades do solo. Outros aspectos desfavoráveis, que interferem no acúmulo de serapilheira, referem-se à composição química, baixo nível de nutrientes na serapilheira e no solo, déficit de água, temperaturas muito altas ou baixas, pH alto ou baixo, baixa densidade populacional de organismos decompositores (WATZLAWICK et al., 2002).

A ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucalipto permite avaliar possíveis alterações decorrentes de técnicas de manejo aplicadas e conhecimento sobre a sustentabilidade das plantações (GAMA – RODRIGUES e BARROS, 2002).

Nas recomendações enfatizadas por Schumacher e Hoppe (1997) para manter a capacidade produtiva do sítio com eucalipto, os autores sugerem que a rotação silvicultural seja mais longa que a usual (5-7 anos), e que apenas a madeira do tronco seja colhida do talhão, permanecendo as folhas, os ramos e a casca sobre o solo, conservando assim maior quantidade de nutrientes no ecossistema, e aumentando a quantidade de matéria orgânica na camada superficial do solo.

Lopes (2009) cita que a serapilheira pode acumular significativa quantidade de água junto aos seus tecidos, fazendo a função de uma grande esponja e filtro, que se encharca logo após uma precipitação e, vai liberando lentamente a água acumulada para o solo, onde irá abastecer as raízes das plantas. O mesmo autor afirma que o retorno de nutrientes através da serapilheira tende a aumentar com o aumento da idade do povoamento. Camadas muito espessas de manta podem fixar grandes quantidades de nutrientes. Fatores como o teor de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, estão intimamente ligados à rapidez com que ocorre a decomposição desse material.

À medida que a serapilheira se decompõe, os nutrientes nela contidos vão sendo liberados, dando sequência à ciclagem de nutrientes (relação planta–solo-planta), (KOEHLER

et al., 1987; SCHUMACHER et al., 2004), que são passíveis de serem reabsorvidos pelas raízes das plantas (POGGIANI e SCHUMACHER, 2000; SCHUMACHER et al., 2003).

Em plantações comerciais o ciclo de nutrientes se dá com a sua absorção pelas plantas em camadas mais profundas do solo e o seu retorno à superfície pela lavagem da parte aérea e pelo ciclo biogeoquímico, liberando nutrientes do material vegetal depositado na superfície do solo, por meio da decomposição microbiana. A exsudação de substâncias pelas raízes também pode ser distinta, o que propicia maior diversidade e atividade dos microrganismos do solo, afetando a decomposição e a liberação de nutrientes da serapilheira (VEZZANI et al., 2001).

2.3 Produção de biomassa e nutrientes

As informações a respeito das quantidades de nutrientes encontradas no solo, na biomassa da parte aérea e na serapilheira são importantes para a compreensão da estrutura do ecossistema e para definição de estratégias para manutenção da sustentabilidade do ecossistema florestal (LIMA, 1996; SPANGENBERG et al., 1996). Com a quantidade de biomassa e o seu teor de nutrientes, é possível calcular o reservatório de nutrientes minerais na floresta (GOLLEY et al., 1978).

Em um ecossistema florestal, existe uma grande dinâmica na produção de biomassa. À medida que a floresta se desenvolve, ocorre uma gradual redução da biomassa da copa das árvores, e simultaneamente verifica-se um aumento na proporção dos componentes madeira e casca (os troncos das árvores geralmente representam em média mais de 80% da biomassa acima do solo em uma floresta madura) (SCHUMACHER E HOPPE, 1997).

Gonçalves et al. (2004) também afirma que antes do fechamento de copas, a prioridade de alocação é para a expansão da área foliar e desenvolvimento do sistema radicular (principalmente raízes finas), ao passo que, depois que o auto-sombreamento impõe uma área foliar máxima, o acúmulo de carbohidratos ocorre com mais intensidade no tronco. Segundo o mesmo autor, é nessa fase que o acúmulo de resíduos na serapilheira atinge o máximo.

A acumulação de biomassa é influenciada por fatores que afetam a fotossíntese e a respiração. Então, segundo estes autores, os principais fatores são: luz, temperatura, concentração de CO_2 do ar, umidade e fertilidade do solo, e doenças, além dos fatores internos, como: idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos

estômatos, teor de clorofila e acumulação de carboidratos (KRAMER E KOZLOWSKI, 1972).

Em estudos sobre a ciclagem de nutrientes Poggiani e Schumacher (2005), citam que a partir da compartimentalização 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, é possível entender a ciclagem dos nutrientes e a manutenção da capacidade produtiva de uma floresta.

Ao estimar a biomassa e a distribuição de nutrientes em plantações de *E. grandis* em cinco idades diferentes (3, 5, 7, 9 e 11 anos), a percentagem de contribuição da biomassa do tronco para o total acima do solo aumenta com o diâmetro e a idade, variando entre 28 e 86%.

A Figura 2 apresenta a distribuição da biomassa em função da idade das plantações de *Eucalyptus*, em que a biomassa na madeira aumenta enquanto nas folhas e galhos diminuem nas diferentes idades (SCHUMACHER et al., 2003).

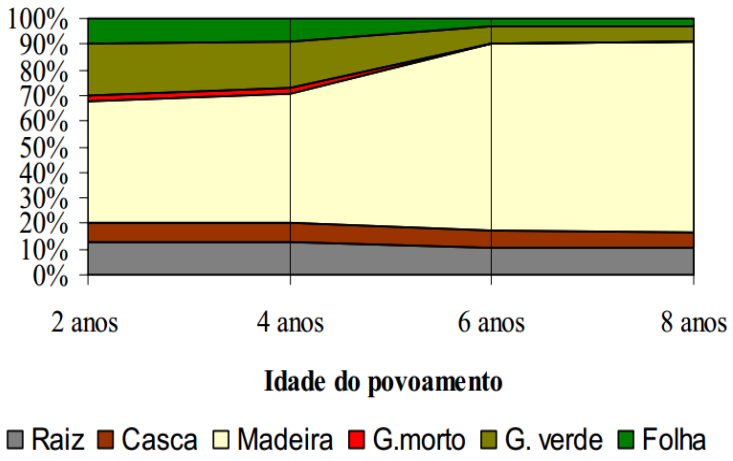


Figura 2 - Percentual da biomassa em plantações de *Eucalyptus* spp. em diferentes idades.
Fonte: Schumacher et al. (2003).

No ecossistema florestal, a manutenção da capacidade produtiva do sítio, só será mantida em longo prazo, quando as perdas de nutrientes, pela erosão e utilização da biomassa, forem repostas de forma eficiente. No entanto, é fundamental estabelecer quanto de biomassa é produzida e a quantidade de nutrientes que é exportada pelas espécies florestais (SCHUMACHER, 1996).

Em estudos com *Eucalyptus camaldulensis*, Oliveira Neto et al. (2003) observou que a proporção de biomassa acumulada na madeira aumentou com a idade do povoamento, principalmente nos menores espaçamentos (3 m x 2 m e 3 m x 3 m), em razão da diminuição do acúmulo em outros componentes, como folha e raízes.

Neves (2000) na região litorânea do Espírito Santo, em oito plantios de *Eucalyptus urograndis*, aos nove anos de idade, obteve de biomassa na madeira do tronco, raiz, casca do tronco, galho e folha: 74%; 12%; 7%; 4% e 3% respectivamente.

O conhecimento da distribuição da biomassa e dos nutrientes nos diferentes componentes e fases de desenvolvimento dos povoamentos florestais são indispensáveis para definição do manejo mais adequado, principalmente no que diz respeito a práticas que visam à manutenção da produtividade, tais como: definição da idade e intensidade de colheita, manejo dos resíduos florestais, adubação de reposição, preparo de solo, entre outras (WITSCHORECK, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do sítio

O presente estudo foi realizado em uma área com povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*), localizada na Fazenda Sesmaria Santo Inácio, pertencente à empresa Stora Enso S/A, no município de Alegrete – RS. Próximo às coordenadas geográficas 29º 47’ S e 55º 17’ O (Figura 3).

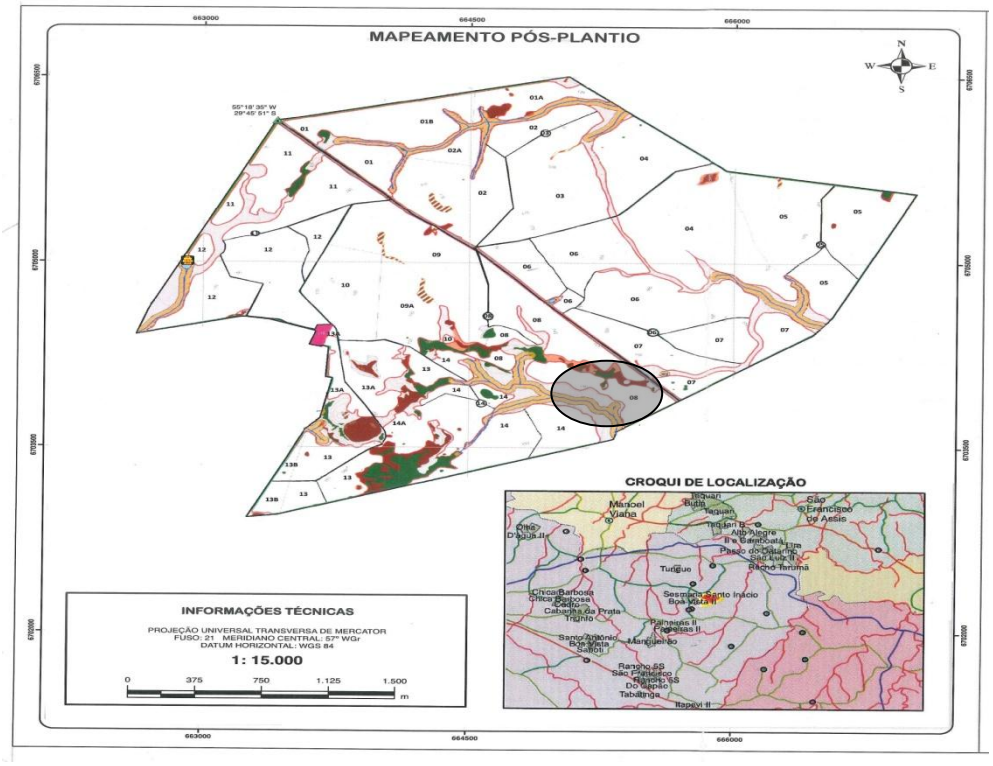


Figura 3 – Localização da área do povoamento de eucalipto no município de Alegrete – RS.

Fonte: StoraEnso Florestal RS, (2012).

3.1.1 Clima

A partir da classificação climática proposta por Maluf (2000), Alegrete possui clima regional subtemperado úmido do tipo Cfa, sendo as chuvas mais frequentes no outono-inverno, em que os verões podem apresentar período de seca. A temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C e a do mês mais frio oscila entre 3 °C e 18 °C. Com a temperatura média anual de 18,6 ºC. A precipitação total média foi de 1.270,88 mm.

A Figura 4 apresenta os valores da precipitação mensal (média) para o período de 2011 a 2012.

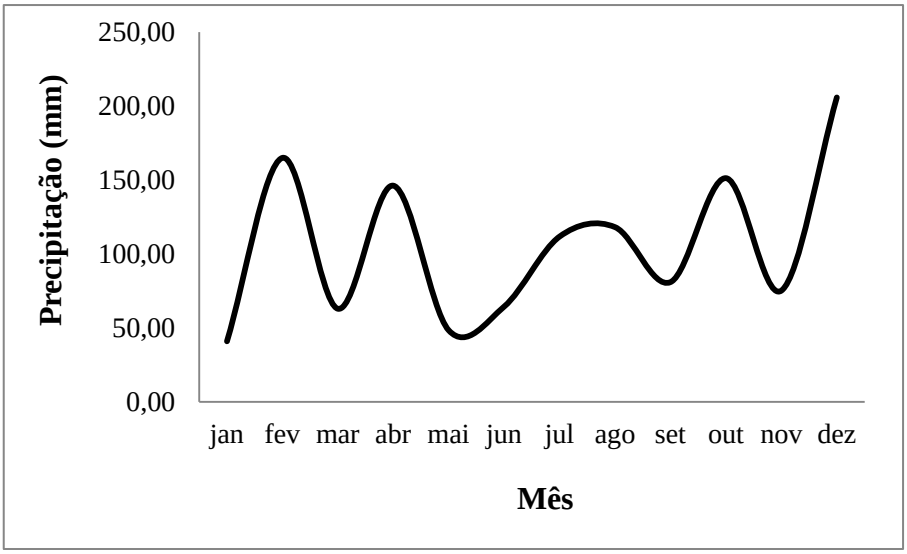


Figura 4: Precipitação média anual da região de Alegrete – RS.

Fonte: StoraEnso Florestal RS, (2012).

3.1.2 Solo

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2006) a área do experimento encontra-se em um Argissolo Vermelho Distrófico típico. Solos profundos, bem drenados, de textura areia franca ou franco arenosa em superfície, seguidos de textura franco argilo arenosa nos horizontes mais profundos.

Segundo Klamt e Schneider (1995), a fonte de sedimentos arenosos, dos quais desenvolve este tipo de solo é definido pela alteração do arenito da Formação Botucatu, de

origem eólica e outra tipicamente fluvial. Destaca-se que não apresentam componentes argilosos nem estratificação (AB'SABER, 1995).

Os atributos químicos e físicos foram avaliados através da coleta de solo em três trincheiras e em cinco profundidades; 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, distribuídas aleatoriamente no interior de cada parcela. O material coletado foi levado ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Onde foi seco em estufa de renovação de circulação de ar forçada a 40 ^{o}C até atingir peso constante, posteriormente foi moído afim de desagregação do solo em partículas menores e encaminhado para análise química segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995).

Para determinar a densidade do solo, coletou-se apenas uma amostra localizada em uma trincheira na meia encosta. As amostras foram obtidas através de um anel de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume interno de 71,25 cm^3 em 5 diferentes profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm). O material coletado foi levado ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Conforme a metodologia da Embrapa (1997) o material foi seco em estufa de renovação de circulação de ar forçada a 105 ^{o}C até atingir peso constante e posteriormente pesado.

Na Tabela 1, verificam-se os valores dos atributos químicos e físicos do solo.

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos do Argissolo Vermelho Distrófico típico em área de *E. urograndis*, localizado em Alegrete, RS.

Atributo	Unidade	Camada (cm)				
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
DS	g cm^{-3}	1,52	1,58	1,53	1,49	1,43
MO	g kg^{-1}	8,70	8,20	8,30	7,00	5,80
pH (H_2O)		4,40	4,50	4,60	4,60	4,70
Al		1,10	1,30	1,00	0,90	0,60
Ca	cmol$_c$ dm^{-3}	0,50	0,90	1,30	1,40	1,50
Mg		0,40	0,30	0,40	0,40	0,50
P	mg dm^{-3}	2,00	1,70	2,00	1,90	2,00
K		13,50	10,30	8,10	7,80	8,20
Al+H		4,90	4,40	4,10	3,40	3,40
CTCefet.	cmol$_c$ dm^{-3}	2,00	2,50	2,70	2,70	2,70
$CTC_{pH\,7}$		5,80	5,60	5,70	5,20	5,50
V	%	17,70	22,40	29,50	35,50	38,00
M		53,30	50,80	38,40	32,20	23,60

Onde: DS = densidade do solo; MO = matéria orgânica.

De acordo com a CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004), o solo apresenta baixa MOS; pH, muito baixo; teores de Ca e Mg, baixos; teores de K e P, muito baixos; CTC_{pH7}, médio; V%, médio; m%, baixo. A partir destes resultados é possível afirmar que o solo é de baixa fertilidade.

3.1.3 Vegetação

A região da campanha ocidental do Rio Grande do Sul possui predominância absoluta de campo gramináceo, mas não constitui uma fisionomia uniforme, podendo visualizar as formações de mata virgem, capões, mata arbustiva, cordões de galeria, mata palustre, vegetação dos tabuleiros, vassourais e parque espinilho (RAMBO, 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, as paisagens mais legítimas situadas no interior de um triângulo formado pelas cidades de Quaraí, Alegrete e Uruguaiana são completamente nivelado e plano, revestido com gramas rasteiras e em touceira, expressão das mais clássicas desta vegetação (RAMBO, 2000).

3.1.4 Relevo e geografia

A região em que o estudo foi realizado apresenta relevo plano a ondulado, com formação de coxilhas, afloramentos rochosos, campos úmidos, banhados e solos arenosos, sejam eles preservados ou degradados, por vezes, atingindo grandes extensões, com presença de capões de eucalipto nos areais degradados e em alguns afloramentos rochosos (ROVEDDER, 2007).

Conforme Medeiros et al. (1995) e Suertegaray (1995) a vegetação regional apresenta aspectos de xeromorfia, por este motivo é considerada uma vegetação testemunha de um período semi-árido ou semi-úmido estepário, o qual sofreu uma umidificação a partir do Holoceno, contudo insuficiente para eliminar a influência do período anterior na paisagem moderna. A vegetação também sofre grande influência das características edáficas, com formações campestres de cobertura escassa.

3.1.5 Histórico de uso da área

A região é caracterizada por campos degradados e regenerados, porém áreas agrícolas também estão presentes, havendo focos de arenização em algumas fazendas. Na região do experimento, a pecuária de corte é a principal atividade econômica e vem sendo manejada, na grande maioria das propriedades, com uma pressão de pastejo muito além da capacidade de suporte dos campos que se desenvolvem sobre solos arenosos.

3.2 Implantação do experimento

O estudo foi realizado em um povoamento de *Eucalyptus urograndis*. O plantio foi realizado em dezembro de 2008, com espaçamento de 2,5 m x 3,5 m. O experimento foi instalado no mês de setembro de 2012, quando o povoamento encontrava-se com quase quatro anos de idade. Inicialmente foram instaladas quatro parcelas, com dimensões de 21,0 m x 27,5 m. Em seguida foi feito um inventário de todas as parcelas.

No inventário, foram realizadas as medições de diâmetro à altura do peito (DAP), com o auxílio de uma fita diamétrica, e de altura total, com hipsômetro Vertex III. A partir dos resultados obtidos foi calculado o volume e área basal de cada parcela. Foram medidas 208 árvores numa área total de 2310 m². Somando ± 900 árvores por hectare.

3.3 Avaliação de serapilheira depositada e acumulada

A produção de serapilheira foi estimada através de coletores instalados no mês de setembro de 2012. Os coletores foram confeccionados de madeira utilizando-se sombrite e pregos. A área amostral de cada coletor era de 0,5 m^2, com fundo em tela de nylon tipo sombrite (malha de 1 mm), e foram instalados a 50 cm de altura em relação ao nível médio do solo (Apêndice A1).

Em cada uma das 4 parcelas foram distribuídos sistematicamente quatro coletores, alocados em quatro diferentes posições: na linha, na entre-linha, na diagonal, entre quatro

árvores e o último encostado ao tronco de uma das árvores. Foram realizadas coletas quinzenais dos materiais depositados sobre os mesmos e separadas nas frações folhas, miscelânea e galhos finos (diâmetro inferior a 0,5 cm).

A área útil da coleta de determinação da biomassa de galhos grossos (diâmetro superior a 0,5 cm) alocaram-se, em cada uma das quatro parcelas principais, três subparcelas de 3,5 m x 2,5 m, onde foi realizada a coleta quinzenal de galhos grossos depositados sobre o solo (Apêndice A2).

Para a serapilheira acumulada, foram coletadas aleatoriamente nove amostras em três parcelas. Para a coleta do material foi utilizada uma moldura quadrada com 25 cm x 25 cm (Apêndice A3).

Após cada coleta, o material foi acondicionado em embalagens, devidamente identificado e enviado para o Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Em laboratório, as amostras provenientes dos coletores de serapilheira acumulada foram limpos com pincel para retirar possíveis partículas de solo aderidas à superfície.

As amostras foram colocadas em sacos de papel pardo e postos para secagem, em estufa de circulação e renovação de ar, a uma temperatura de 70 ºC, até atingir peso constante, com determinação da massa seca em balança de precisão (0,01 g). Após o término das pesagens, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Willey, com peneira de 30 *mesh*, para posterior análise de nutrientes conforme a metodologia de Tedesco et al., (1995) e Miyazawa et al., (1999).

Para cada coletor, estimou-se o valor de serapilheira depositada, multiplicando-se a massa de tecido vegetal coletado pela respectiva área. Para estimar o valor médio de serapilheira depositada em cada parcela, foi feita a média aritmética da deposição, seja em coletores de serapilheira ou área de coleta para galho grosso. O aporte dos nutrientes foi calculado multiplicando-se a concentração dos nutrientes pela quantidade depositada, em cada fração.

O delineamento experimental considerado foi o inteiramente casualizado. A análise estatística foi realizada com o auxílio do programa SAS ao nível de 5% de probabilidade de erro e para a comparação das médias das frações, utilizou-se o teste de Tukey. Também foram realizados testes de correlação de Pearson entre variáveis de precipitação e entre variáveis meteorológicas (precipitação e temperatura) com a deposição de serapilheira e das frações de serapilheira. Os dados meteorológicos de temperatura foram obtidos de Agritempo (2014), que disponibilizou valores médios mensais das temperaturas mínimas e máximas da Estação

Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Alegrete-RS, localizada a 24 km do local. A relação entre quantidade de serapilheira e variáveis climáticas foi avaliada através da análise de correlação de Pearson (r).

3.4 Quantificação da biomassa

A partir das informações obtidas no inventário das parcelas, foram determinadas quatro classes de diâmetro, de maneira a abranger a maior variação possível do povoamento.

A determinação da biomassa baseou-se na amostragem de 12 árvores, três em cada classe diamétrica (limite inferior, médio e superior), nas respectivas parcelas (P1, P2, P3, P4).

Na Figura 5, verifica-se a frequência de indivíduos por hectare em cada classe diâmetrica.

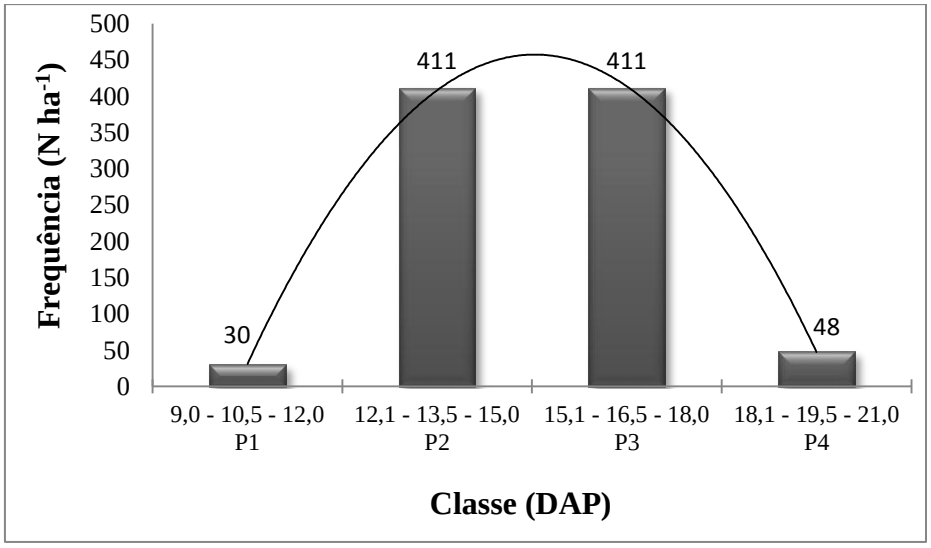


Figura 5 – Distribuição diâmetrica e suas respectivas frequências.

Uma vez identificadas às árvores, elas foram abatidas com uso de motosserra e fracionadas nos componentes; folha, galho, casca do tronco e madeira do tronco (Apêndice A4). Quanto à casca e à madeira, a amostragem procedeu-se da seguinte maneira: distribuíram-se três pontos de amostragem ao longo do fuste, nas posições medianas das

secções resultantes (madeira base, madeira média, madeira do topo, casca da madeira base, casca da madeira média, casca da madeira do topo).

Na figura 6 verifica-se a metodologia utilizada para determinação de biomassa e os três pontos de amostragem.

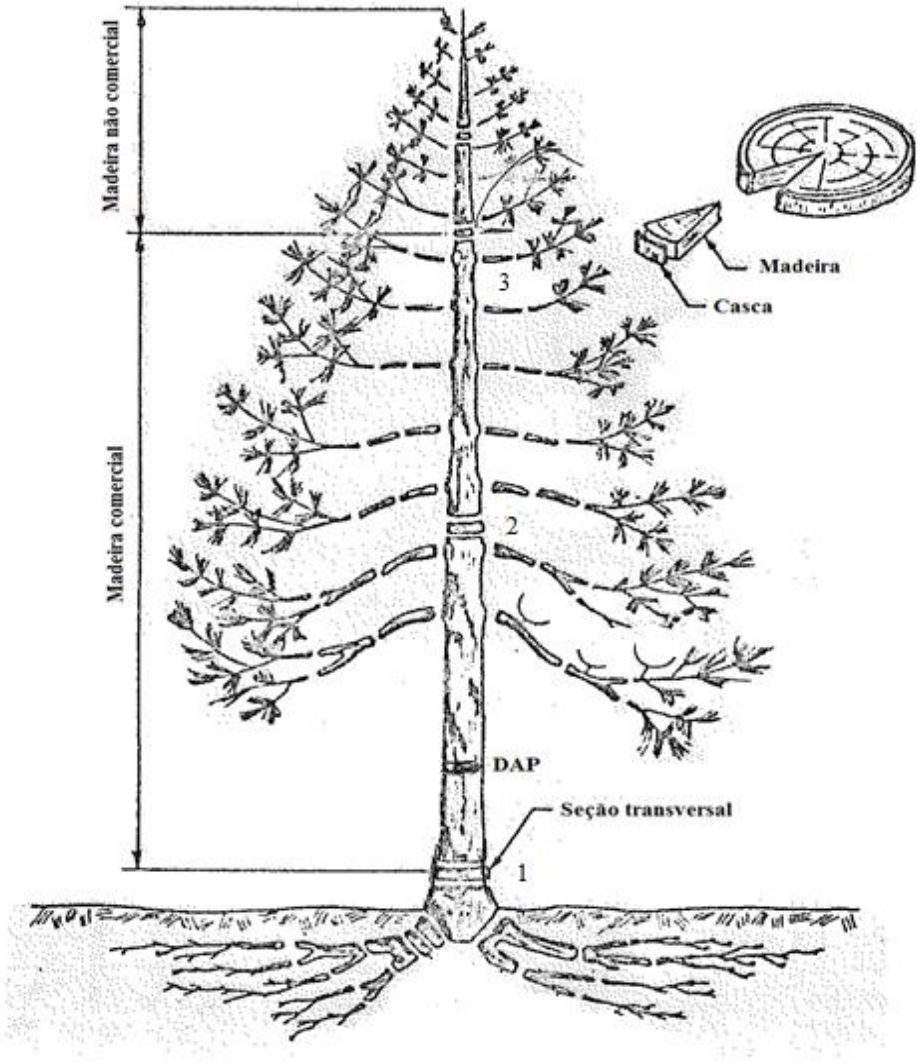


Figura 6: Metodologia de determinação de biomassa.

Fonte: Adaptado de Schumacher et al., (2011).

Para a biomassa, a pesagem das amostras úmidas foi através de uma balança de gancho (Apêndice A5) e para a pesagem das amostras secas foi utilizado uma balança digital. Após a amostragem de cada componente, eles foram colocados em embalagens de papel

pardo, devidamente identificadas e posteriormente levadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Em laboratório, foram postas para secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 70 ºC, até atingirem peso seco constante, sendo, então, determinada a massa seca em balança digital de precisão (0,01g). Em seguida foram moídas em moinho de lâminas do tipo Willey, com peneira de 30 *mesh* e posteriormente encaminhadas para análise química de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

A estimativa da biomassa de cada componente das árvores foi obtida pelo uso da equação:

$$\ln y = b_0 + b_1 {}^{*} (\ln DAP)$$

Onde:

lny = logaritmo do componente (folha, galho, casca e madeira).

b_0 e b_1 = coeficientes da equação.

lnDAP = logaritmo do diâmetro a altura do peito (1,30 m de altura).

O coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes foi obtido pela razão entre a quantidade de biomassa e nutrientes, ambos com a mesma unidade.

3.5 Biomassa de raízes

Para estimar a biomassa radicular, a coleta foi realizada a partir da árvore do limite central de cada classe de diametro, somando 4 árvores. A área útil da árvore selecionada foi escavada com auxílio de pás, enxadas e máquina retroescavadeira até a profundidade de 1 m (Apêndice A6). O solo foi peneirado em peneiras de 7 mm de malha, do qual foram retiradas as raízes e pesadas na sua totalidade em balança de gancho.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal, onde passaram por um processo de limpeza, visando à retirada de restos de solo. Colocadas em sacos de papel pardo, postos para secagem, em estufa de circulação e renovação de ar, a uma temperatura de 70 ºC, até atingir peso constante, com determinação da

massa seca em balança de precisão (0,01g). Logo em seguida, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Willey, com peneira de 30 *mesh* para posterior análise química segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

Os cálculos da biomassa de raízes foram realizados a partir da multiplicação do número de árvores de cada classe pela biomassa das raízes da árvore escavada na classe.

3.6 Determinação do índice de área foliar (IAF)

Para a obtenção da área foliar, a cada árvore abatida foi coletado 150 g de folhas. As mesmas foram pesadas no campo em balança digital de precisão (0,01 g), levadas ao laboratório.

Em laboratório, a área foliar específica (AFE) foi determinada através de uma alíquota de folhas (100 g) na ocasião da determinação da biomassa desta fração, onde foram fotografadas com auxílio de uma câmera fotográfica digital apoiada em uma estrutura metálica com altura fixa de 0,5 m depois de terem sido prensadas entre uma superfície de cor branca e um vidro transparente, em seguida foram processadas no software UTHSCSA, *Image tool* for Windons version 3.0©, para determinar área foliar.

De posse da área foliar e peso úmido das amostras, foi determinada a área foliar específica, sendo a razão entre área foliar (m²) e peso úmido da amostra (kg).

O índice de área foliar foi calculado através da equação:

$$IAF = \frac{(\sum PUFP \times AFE)}{AP}$$

Onde:

IAF = índice de área foliar, $m^2\ m^{-2}$;

∑PUFP = peso úmido total de folhas da parcela, kg;

AFE = área foliar específica, kg m^{-2};

AP = área da parcela, m^2.

3.7 Estimativas do número de rotações com base no balanço de nutrientes

As intensidades de colheita aplicadas foram as seguintes; colheita da madeira sem casca, colheita da madeira do tronco + casca do tronco, colheita da biomassa total acima do solo.

A estimativa do número de rotações (NR) de 4,5 anos para *Eucalyptus urograndis* necessárias para esgotar o estoque de nutrientes do sítio, conforme o sistema de colheita florestal foi através do balanço de nutrientes entre o sistema solo – planta com até 1 m de profundidade; os nutrientes na biomassa da parte aérea e os efeitos da colheita dos diferentes componentes da biomassa na remoção dos nutrientes; baseada na metodologia utilizada por Bizon (2005)

$$NR = \frac{ES + EB}{SC}$$

Onde:

NR = número de rotações de 4,5 anos de *Eucalyptus urograndis*.

ES = estoque de nutrientes no solo disponíveis ou trocáveis, até 1 m de profundidade (kg ha^{-1}).

EB = estoque de nutrientes contidos na biomassa aérea (folhas, galhos, casca do tronco e madeira do tronco), (kg ha^{-1}).

SC = saída de nutrientes pela colheita, dependendo do método de colheita, (kg ha^{-1} $rotação^{-1}$).

A taxa de remoção de nutrientes foi baseada na metodologia utilizada por Viera (2012), conforme a intensidade de colheita utilizada foi realizada segundo as equações;

$$TR_{\text{árvore inteira}} = \frac{NBT}{BT}$$

$$TR_{\text{madeira do tronco + casca do tronco}} = \frac{NM + NC}{BM + BC}$$

$$TR_{madeira} = \frac{NM}{BM}$$

Onde:

NBT = quantidade de nutrientes na biomassa total acima do solo, em kg ha^{-1};

BT = biomassa total acima do solo, em Mg ha^{-1};

NE = quantidade de nutrientes no eucalipto, em kg ha^{-1};

BE = biomassa total do eucalipto, em Mg ha^{-1}.

NM = quantidade de nutrientes no componente madeira, em kg ha^{-1};

NC = quantidade de nutrientes no componente casca, em kg ha^{-1};

BM = biomassa de madeira, em Mg ha^{-1};

BC = biomassa de casca, em Mg ha^{-1}.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dendrométrica do povoamento

Na Tabela 2, verificam-se as variáveis dendrométricas do povoamento de *Eucalyptus urograndis.*

Tabela 2 - Variáveis dendrométricas obtidas através do inventário realizado no plantio de *Eucalyptus urograndis* localizado em Alegrete, RS.

Variável	Unidade	Valor
DAP	(cm)	15,2
H	(m)	17,3
G	(m^2 ha^{-1})	16,5
IMA	(m^3 ha^{-1} ano^{-1})	38,2
V	(m^3 ha^{-1})	171,9
N	(ha)	900,4
IAF	(m^2 m^{-2})	3,4

Onde: DAP = diâmetro à altura do peito (1,3 m da superfície do solo); H = altura média; G = área basal média por hectare; IMA = incremento médio anual, V = volume médio por hectare, N = número de árvores por hectare, IAF = índice de área foliar.

O espaçamento está diretamente ligado ao volume final do desenvolvimento da espécie. Corrêa (2011) afirma que espaçamento de plantio do *Eucalyptus dunnii* afetou o diâmetro e a área basal por hectare aos 12 meses de idade, onde se observou um maior crescimento em diâmetro nos espaçamentos mais amplos. Entretanto, a área basal por hectare foi maior nos espaçamentos menores.

As plantações de eucalipto, quando manejadas de forma adequada, contribuem para manutenção de características químicas do solo, bem como para a manutenção ou aumento dos teores e estoques de carbono orgânico do solo, principalmente para solos de baixa fertilidade como a do presente trabalho.

A espécie *Eucalyptus urograndis* tem a capacidade de se adaptar às condições de um determinado ambiente, inclusive em solo arenoso, além de exibirem resistência às pragas. Carvalho (2000), cita que este híbrido possui um bom crescimento conforme as características do *E. grandis*. O leve aumento na densidade da madeira, a resistência ao déficit hídrico e

melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose são características provenientes do *E. urophylla*.

A área foliar diminui com o passar da idade, isto é, as folhas ficam mais coriáceas, duras e espessas, implicando diretamente nos modelos ecofisiológicos. Neste caso, isto explica os altos valores de IAF na fase juvenil, ou seja, apresentam crescentes teores de fotossíntese e encontram-se no ápice do desenvolvimento, aumentado a sua biomassa total (LANDSBERG, 1986 e STAPE et al. 2004).

Xavier et al. (2002) estudando a área foliar de *Eucalyptus* encontrou o maior valor do IAF de 4,31 em um povoamento de 24 meses, enquanto o menor valor foi de 1,72 aos 60 meses. Com os resultados do presente trabalho podemos esperar que o valor do IAF = 3,4 deverá diminui conforme irá aumenta a idade do povoamento.

Para o IAF em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, com 10 anos de idade foi encontrado 2,55 de área foliar (VIERA et al. 2013). O mesmo autor ao estimar a área foliar de povoamentos de *Eucalyptus urograndis*, com 18 meses de idade, encontrou índices de área foliar de 3,7 e 4,6.

Em *Eucalyptus* sp. os maiores valores de massa seca que foram 6.112,8 kg ha^{-1} e 4,27, respectivamente para tronco e IAF (LONDERO et al. 2012). Comparando com o presente estudo o menor desenvolvimento da área foliar, a planta passa a ter uma série de restrições de crescimento.

4.2 Biomassa

A biomassa da parte aérea foi estimada por meio do modelo da equação (Tabela 3). Com o modelo selecionado calculou-se a biomassa por árvore nas diferentes classes diâmetricas do povoamento.

Tabela 3 - Parâmetros e estatísticas de ajuste do modelo de regressão utilizado para estimar a biomassa das árvores de *E. urograndis*.

	Componentes	**Equação**
1	Folha	$\ln y = b_0 + b_1 * (\ln d)$
2	Galho	
3	Casca do Tronco	
4	Madeira do Tronco	

Coeficientes e estatísticas de ajustes

	Componentes	b_0	b_1	**Prob.>F**	$R^2_{ajust.}$	**Syx**
1	Folha	-4,2980435	2,2030069	0,00	0,872	0,2550
2	Galho	-4,3265942	2,3703779	0,00	0,865	0,2405
3	Casca do Tronco	-4,6788406	2,3933360	0,00	0,904	0,2006
4	Madeira do Tronco	-2,3013134	2,2839591	0,00	0,951	0,1333

A equação obtida já foi utilizada em outros trabalhos, assim como indicadores da precisão do ajuste da equação, são eles; o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (Syx), ambos descritos por Finger (1992). A análise de regressão apresentou alto coeficiente de determinação ajustado e baixo erro padrão das estimativas tendo demonstrado, com isso, boa predição das variáveis analisadas. O mesmo autor cita que apesar do coeficiente de determinação seja inadequado para comparar modelos distintos, este pode representar a proporção de variação total apresentada pelo modelo considerado.

Em plantios de *Eucalyptus* no Quênia, *E. globulus* na Etiópia e *E. nitens* na costa de Arauco no Chile (KUYAH et al., 2013; ZEWDIE et al., 2009 e MUÑOZ et al., 2008), respectivamente, todos os estudos relataram a proporção de biomassa do caule superior a 75%. A proporção de biomassa nessa componente foi semelhante ao presente trabalho.

Aproximadamente 80% desta biomassa ocorre acima do solo e 60% da biomassa corresponde à madeira do tronco: A sequência decrescente da distribuição de biomassa total nos diferentes componentes de *E. urograndis* foi; madeira > raiz > galho > casca > folha (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores da biomassa (Mg ha^{-1}) do povoamento de *E. urograndis* nos diferentes componentes das árvores.

Componente	**Biomassa (Mg ha^{-1})**	**%**
Folha	4,11	5,5
Galho	7,67	10,2
Copa	**11,78**	**15,7**
Casca do tronco	5,74	7,7
Madeira do tronco	45,86	61,2
Fuste	**51,60**	**68,9**
Raízes	**11,55**	**15,4**
Total	**74,93**	**100**

O percentual de biomassa acima do solo em cada compartimento da espécie de *Eucalyptus urograndis* foi; madeira (60%), galhos (10%), casca (8%) e folhas (5%).

O valor total de biomassa encontrada para o povoamento de *Eucalyptus urograndis* foi 74,93 Mg ha^{-1}, este resultado é similar com o de Schumacher e Caldeira (2004) em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos quatro anos de idade, encontraram 79,6 Mg ha^{-1} biomassa total. Resultado semelhante foi visto por Schumacher e Caldeira (2001) em um povoamento de *Eucalyptus globulus*, com a mesma idade, a biomassa aérea foi de 83,2 Mg ha^{-1}.

A porcentagem de madeira do tronco e casca do tronco deve aumentar conforme a idade do povoamento. Porém o percentual de contribuição das folhas, galhos finos e ramos decrescem com o aumento da idade e diâmetro (TANDON et al. 1988).

Na biomassa radicular do povoamento de *E. urograndis* foi encontrado 15% do total da biomassa. Esta porcentagem é semelhante para plantios em solo arenoso, tratando-se apenas da espécie e da qualidade do povoamento.

Bouillet et al. (2002) estudando as raízes de plantios clonais de *Eucalyptus* estabelecidos em solos arenosos, na região de Pointe-Noire no Congo, observou que as árvores desenvolveram rapidamente um grande sistema radicular, após o plantio. A alta variabilidade na densidade de raízes foi observada nas camadas superficiais do solo, isto reflete na maior concentração de nutrientes nas camadas superficiais.

Em estudos com eucaliptos foram encontrados os maiores valores de produção de biomassa na espécie *E. grandis* (SCHUMACHER e POGGIANI, 1993). Apenas para os ramos grossos a maior produção de biomassa foi registrada nas árvores de *E. torelliana*. Verificou-se, ainda, que o tronco (casca + madeira) representou em média 90% do total da

biomassa acima do solo. Entretanto, as copas acumularam em média 24% dos nutrientes contidos na biomassa total das árvores.

Schumacher e Caldeira (2001) afirmam que a biomassa da copa (folhas e ramos) e a biomassa do tronco (casca + madeira) em plantios de *Eucalyptus* representam 25 e 75% da biomassa total acima do solo do povoamento. Conforme Caldeira et al. (2000) a parte aérea das árvores tem sua biomassa distribuída na seguinte ordem: madeira > galhos > casca > folhas.

Alguns fatores que afetam na distribuição percentual da biomassa, nos diferentes componentes das árvores, além da idade, são; a espécie, a fertilidade do solo e a densidade de plantio (SCHUMACHER et al., 2011).

4.2.1 Teores de nutrientes na biomassa

O componente folha apresentou os maiores teores para o nitrogênio com exceção do Ca e Mg que foram maiores na casca (Tabela 5).

Tabela 5 – Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) na biomassa.

Componente	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg^{-1})					
Folha	17,34	1,08	6,73	7,81	1,79	1,05
Galho	4,68	0,48	5,68	8,83	1,72	0,30
Casca	4,26	0,50	6,73	15,52	2,32	0,26
Madeira	1,59	0,13	2,46	1,38	0,33	0,21
Raíz	4,03	0,27	3,67	8,78	1,28	0,30

Conforme a Tabela 12, o resultado é o mesmo encontrado por Viera et al., (2012). O menor teor foi encontrado na madeira, sendo que as frações galho, casca e raiz possuem valores intermediários. O mesmo autor também encontrou este resultado para mesma espécie com 18 meses de idade instalados em um solo do tipo Neossolo Litólico Distrófico caracterizado por ser raso e pouco profundo.

De acordo com Brun (2004), o nitrogênio e o fósforo têm ampla mobilidade dentro da planta e, com isso, eles tendem a se concentrar nos órgãos mais novos, no caso desse estudo, no componente folha. Além disso, são nas folhas que se encontram a maior parte das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e transpiração.

Curlin (1970) afirma que a partir dos componentes da parte aérea da árvore, o maior teor de nutrientes é encontrado nas folhas, em seguida na casca, nos ramos, troncos e depois nas raízes.

O fósforo apresentou concentração extremamente baixa, sendo a maior parte acumulada nos tecidos da biomassa arbórea. O cálcio e o magnésio tiveram a maior concentração no componente casca. As espécies provenientes de clones possuem uma eficiência mais elevada na utilização dos nutrientes com o objetivo de aumentar a produção de biomassa com uma menor exportação de nutrientes do sitio.

Verifica-se que o enxofre foi o nutriente que as plantas apresentam baixos teores. Malavolta (1984) cita que este tipo de deficiência pode ser devido aos baixos teores de matéria orgânica no solo.

Para os micronutrientes, o componente folha apresentou os maiores teores com exceção do Fe (Tabela 6).

Tabela 6 - Teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) na biomassa.

Componente	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			(mg kg^{-1})		
Folha	35,78	9,60	131,61	1.020,52	9,44
Galho	12,12	8,60	57,48	591,93	8,16
Casca	12,84	5,53	59,24	955,67	6,59
Madeira	1,53	4,65	20,88	87,56	3,72
Raíz	18,75	6,98	757,49	208,89	15,19

A madeira apresentou os menores teores de micronutrientes comparados aos demais componentes. Entre os micronutrientes as raízes apresentaram o maior teor de Fe.

De acordo com Barros e Novais (1990), em regiões de baixa pluviosidade e com solos extremamente arenosos, os sintomas de deficiência de boro e de zinco nos estágios iniciais de crescimento do eucalipto são muito severos. Podem ocorrer sintomas como morte apical e a super-brotação com entrenós muito curtos, devido à planta perder sua dominância apical.

Os teores de nutrientes na copa são mais baixos em relação aos teores de nutrientes usualmente encontrados apenas nas folhas dos eucaliptos nesta faixa de idade (MALAVOLTA et al. 1974). Os dados de concentração evidenciam que os nutrientes na biomassa são elevados, em relação ao solo que é de baixa fertilidade.

4.2.2 Quantidade de nutrientes na biomassa

A magnitude do macronutrientes foi da seguinte forma: Ca > K > N > Mg > S > P. (Tabela 7).

Tabela 7 - Quantidade de macronutrientes (kg ha^{-1}) no povoamento de *Eucalyptus urograndis.*

Componente	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha^{-1}					
Folha	71,27	4,44	27,66	32,08	7,35	4,32
Galho	35,93	3,67	43,60	67,70	13,15	2,28
Casca	24,44	2,88	38,65	89,11	13,32	1,52
Madeira	73,01	6,05	112,88	63,50	15,31	9,66
Raiz	46,54	3,11	42,41	101,36	14,78	3,47
Total	251,19	20,14	265,20	353,76	63,93	21,25

Santana et al. (2008) explica que até os 4,5 anos de idade do plantio, acumulam-se as maiores proporções de nutrientes na copa.

O elemento Ca é comumente encontrado na literatura como elemento imóvel. Para a espécie de eucalipto o fato também foi relatado por Shammas et al. (2003), Zaia e Gama-Rodrigues (2004), Alvarez et al. (2008), Goya et al. (2008) e Hernández et al. (2009).

Alguns autores como Nzila et al. (2002) e Hernández et al. (2009) obtiveram o Ca como o nutriente em menor liberação em um povoamento de *Eucalyptus sp.,* no Congo e *E. dunni* Maiden, no Uruguai, respectivamente. Este elemento é um componente estrutural importante da parede celular, sua liberação está ligada à destruição dessas estruturas.

O K teve a maior quantidade na madeira do tronco. Este nutriente é frequentemente relatado na literatura como o nutriente com liberação mais acelerada, isto ocorre porque o

elemento é facilmente dissolvido e lixiviado dos tecidos vegetais, não dependendo dos processos de decomposição (FERREIRA, 2012).

Na Figura 7 verificam-se os percentuais de cada componente da biomassa.

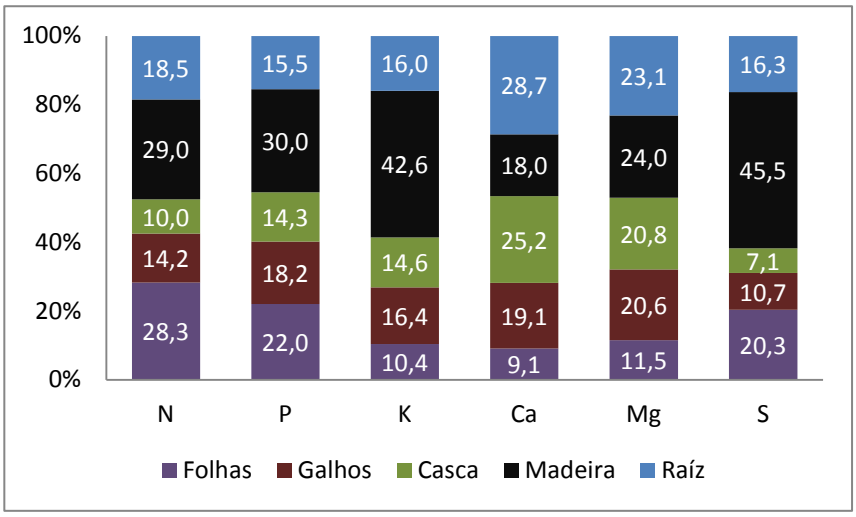


Figura 7 - Percentual de macronutrientes na biomassa da espécie *E. urograndis.*

As folhas apresentaram a maior percentual de N (28,3%) e P (22,0%) e a menor porcentagem foi do Ca (9,1%). Diferente da madeira a raiz apresentou o maior percentual de Ca seguindo do Mg > N > S > P > K. Os galhos apresentaram 20,6% de Mg e apenas 14,2% de N e 10,7% de S.

O elemento Ca apresentou o maior percentual na casca do tronco (25,2%). A madeira do tronco apresentou os maiores percentuais nos elementos N, P, K, Mg, S. Para Muñoz et al. (2008) esta porcentagem encontrada é importantes nas plantações com *Eucalyptus* porque este componente pode exportar mais de 50% do total de Ca e Mg na superfície na altura da colheita.

Santana et al. (2008) concluiu que em um ciclo de 6,5 anos, no tronco estão contidos 50% dos nutrientes da biomassa aérea, podendo estes percentuais ser reduzidos se ocorrer o descascamento no campo durante a colheita. Ou seja, quanto mais pobre for o solo, mais relevante será a permanência da casca, o que contribuirá para manter a qualidade e a capacidade produtiva dos solos. Para o presente trabalho esta informação contribui justamente, devido o solo ser arenoso e de baixa fertilidade.

Na Tabela 8, observa-se a quantidade de micronutrientes (g ha^{-1}) presentes em cada compartimento na árvore de *E. urograndis.*

Tabela 8 - Quantidade de micronutrientes (g ha^{-1}) no povoamento de *Eucalyptus urograndis.*

Componente	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			(g ha^{-1})		
Folha	147,07	39,45	540,91	4.194,33	38,81
Galho	92,93	65,94	440,88	4.540,06	62,61
Casca	73,70	31,72	340,02	5.485,56	37,81
Madeira	70,06	213,10	957,67	4.015,45	170,45
Raiz	216,56	80,57	8.749,00	2.412,72	175,47
Total	600,33	430,77	11.028,48	20.648,13	485,15

A maior quantidade de micronutrientes com exceção do Cu e Mn esteve nas raízes. O elemento Cu apresentou a maior quantidade na madeira e o Mn apresentou a maior quantidade na casca.

A magnitude dos micronutrientes na biomassa foi; Mn > Fe > B > Zn > Cu. A diferença de quantidade de nutrientes entre os componentes e dentro dos componentes da planta é decorrente do ciclo bioquímico que envolve a retranslocação de um determinado elemento de um órgão para outro, como, por exemplo, de uma folha velha para uma nova constituido-se em uma fonte de suprimento importante (NAMBIAR e FIFE, 1987; VIERA e SCHUMACHER 2009).

Na Figura 8, observar-se que o percentual dos micronutrientes nos componentes da biomassa em *E. urograndis.*

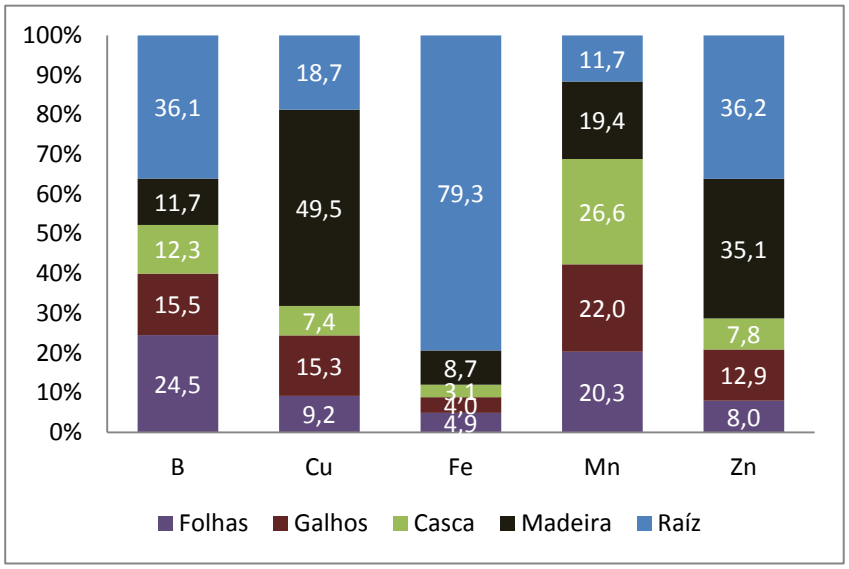


Figura 8 - Percentual de micronutrientes na biomassa da espécie *E. urograndis.*

Verifica-se que o ferro teve um percentual de 79,3% na raiz e menor percentual nos galhos, madeira, casca e folhas com a seguinte ordem decrescente Fe > Zn > B > Cu > Mn.

Nas folhas, o boro foi 24,5% maior que os demais elementos, com a seguinte ordem B > Mn > Cu > Zn > Fe. Os galhos foram 22% maiores que os demais elementos nesta mesma fração, o Fe foi a menor porcentagem encontrada nos galhos.

A madeira possui 49,5% de Cu seguido do Zn > Mn > B > Fe, no ferro encontra-se apenas 8,7% deste nutriente na madeira. Na casca o maior percentual foi para o Mn com 26,6% enquanto que para o Cu foi apenas 7,4%.

O zinco é importante para a formação de ácidos nucléicos, pois compõe fatores de transcrição e enzimas. Também interfere na fotossíntese e síntese de auxina (ALFENAS et al., 2004). Os sintomas de deficiência de zinco, por exemplo, tendem a desaparecer com o aumento da idade da planta (RODRIGUES, 2010). Conforme Oliveira et al., (1999) o fluxo difusivo do zinco é maior em solos com concentrações menores de argila. Portanto, nessas condições, há maior absorção do nutriente pelas raízes.

Conforme Viera (2012), 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.

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 explorada.

4.3 Coeficiente de utilização biológica (CUB)

O teor nutricional e a distribuição de biomassa que condicionam o CUB podem variar em função de vários fatores: espécie (capacidade de absorção, distribuição e utilização dos nutrientes); componente da biomassa; solo (disponibilidade de nutrientes); idade da floresta e condições de desenvolvimento (densidade de plantio, competição) (PALLARDY, 2008).

A diferença do CUB nos componentes das árvores faz com que o incremento na exportação de nutrientes, em função da intensidade de colheita florestal, não ocorra na mesma ordem de grandeza da remoção de biomassa.

A colheita, principalmente dos componentes da copa, que, em média, apresentam CUBs bem mais baixos, quando comparados com os da madeira, pode dobrar a exportação de nutrientes (SCHUMACHER et al., 2013).

No presente estudo observa-se a magnitude dos macronutrientes da seguinte forma: P > S > Mg > N > K > Ca. Em se tratando dos componentes, seguiu a sequência madeira > raiz > galhos > casca > folhas (Tabela 9).

Tabela 9 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes dos diferentes componentes da biomassa de eucalipto.

Componente	Macronutrientes						Micronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folhas	58	926	149	128	559	951	27946	104185	7598	980	105904
Galhos	213	2092	176	113	583	3368	82531	116324	17397	1689	122504
Casca	235	1996	148	64	431	3778	77888	180950	16882	1046	151809
Madeira	628	7583	406	722	2995	4746	654545	215208	47887	11421	269058
Raíz	248	3711	272	114	781	3325	53333	143352	1320	4787	65822

Para a produção de todos os componentes da biomassa, os elementos enxofre e fósforo são os macronutrientes mais eficientemente utilizados. O coeficiente de utilização de macronutrientes da madeira apresentou a seguinte ordem: P > S > Mg > Ca > N > K. Esta mesma ordem foi encontrada para o híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (VIERA, 2012).

Pode-se observar na Tabela 9, que a madeira apresenta os maiores valores do CUB. esta é de maior interesse comercial. Nas folhas estão os menores valores do CUB, com exceção do Ca e Mg que estão na casca, indicando a importância da manutenção destes componentes no solo após a colheita.

Trabalhando com clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* aos 8 anos de idade, em Minas Gerais, concluiu em seus resultados que o CUB decresceu no tronco sob o espaçamento 3,0 m x 3,0 m na seguinte ordem de macronutrientes: P > Mg > S > K > N > Ca (LAFETÁ, 2012). Fato que também foi registrado por Faria et al. (2008) e Santana et al. (2002). Enquanto isso, nos espaçamentos mais adensados ocorreu apenas a inversão de posição entre N e o K.

Ataíde et al. (2013) encontrou altos valores de CUB do eucalipto quando consorciado com *Acacia mangium*, mostra que é uma alternativa interessante para produção em solos de baixa fertilidade, devido à alta eficiência de conversão do nutriente absorvido em madeira.

Em relação à eficiência de utilização de micronutrientes, boro e cobre são os nutrientes mais eficientemente utilizados em todos os componentes da biomassa, seguido pelo Zn, Fe e Mn. Quanto maior a eficiência apresentada por uma espécie na utilização de nutrientes representa que ela tenha menor exigência nutricional, portanto, o coeficiente de utilização é um parâmetro de grande utilidade na seleção de espécies a serem utilizadas nos plantios, principalmente em solos de baixa fertilidade natural, como o solo do presente estudo (SILVA, et al., 1983). A partir desses dados é indispensável, a utilização de técnicas de manejo que optem por plantas mais eficientes em utilizar nutrientes para manter a capacidade produtiva do sítio florestal (SANTANA et al., 2002).

Utilizando os resultados do CUB podemos concluir que se removermos apenas a madeira comercial, que apresenta o maior coeficiente de utilização de nutrientes, a porcentagem de remoção para os nutrientes, com exceção ao Cu e Zn, seria inferior a 50%.

4.4 Balanço de nutrientes

Os dados de biomassa apresentados neste estudo foram utilizados para calcular as diferentes intensidades de utilização da biomassa florestal

Na Figura 9 verifica-se a distribuição desses nutrientes nos componentes das árvores de total importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas.

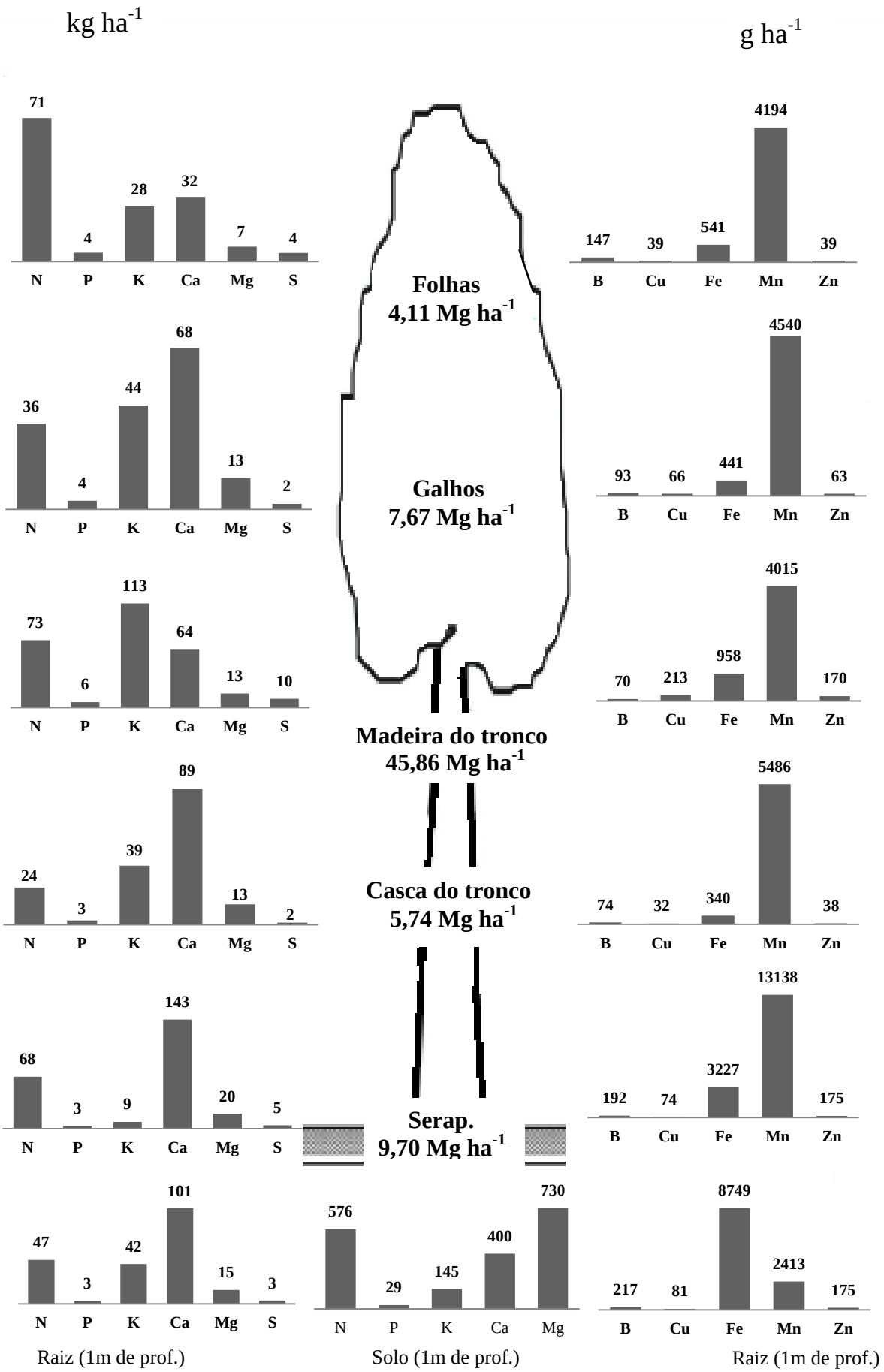


Figura 9 - Estoque de nutrientes disponíveis nos diferentes compartimentos da árvore.

Observa-se nas folhas a menor quantidade de biomassa e elevado estoque de nutrientes, como, por exemplo, de nitrogênio (71 kg ha^{-1}) sendo o valor do estoque aproximado a mesma quantidade encontrada do nitrogênio na madeira do tronco (73 kg ha^{-1}), que apresentou a maior quantidade de biomassa (45,86 Mg ha^{-1}).

A partir dos dados de biomassa é possível estabelecer quais os critérios que devem ser levados em consideração durante a colheita do povoamento florestal. Essas informações possibilitam realizar um planejamento de técnicas silviculturais para serem aplicadas com intuito de conservar a produtividade do sítio florestal para futuras rotações.

4.4.1 Simulação de colheita

Utilizando-se a intensidade de colheita e a remoção de nutrientes. A colheita somente da madeira do tronco é a modalidade mais conservadora de utilização da biomassa e a condição ideal no que se refere à redução do impacto nutricional dessa atividade (Tabela 10).

Tabela 10 – Exportação de nutrientes em função da intensidade de colheita da biomassa de *Eucalyptus urograndis* com 4,5 anos de idade.

Nutriente		Intensidade de colheita na biomassa		
		Madeira	Madeira + casca	Árvore inteira
Biomassa	(Mg ha^{-1})	45,86	51,6 (12,5)	63,38 (38,2)
N	(kg ha^{-1})	73,01	97,45 (33,5)	204,65 (180,3)
P		6,05	8,93 (47,6)	17,04 (181,7)
K		112,88	151,53 (34,2)	222,79 (97,4)
Ca		63,5	152,61 (140,3)	252,39 (297,5)
Mg		15,31	28,63 (87,0)	49,13 (220,9)
S		9,66	11,18 (15,7)	17,78 (84,1)
B	(g ha^{-1})	70,06	143,76 (105,2)	383,76 (447,8)
Cu		213,1	244,82 (14,9)	350,21 (64,3)
Fe		957,67	1297,69 (35,5)	2279,48 (138,0)
Mn		4015,45	9501,01 (136,6)	18235,4 (354,1)
Zn		170,45	208,26 (22,2)	309,68 (81,7)

Onde: Valores entre parênteses referem-se ao aumento percentual de biomassa ou nutrientes, em relação à colheita apenas da madeira.

A colheita da casca, além da madeira, reflete um aumento de 12,5% na biomassa, enquanto a exportação de macronutrientes acresce 140,3% para o Ca e 87,0% para o Mg. Os micronutrientes acrescem 136,6% para o Mn e 35,5% para o Fe. Se considerado os outros componentes da árvore, acima do solo, a elevação na exportação de nutrientes é de 297,5% para o Ca e 220,9% para o Mg assim como 447,8% para o B e 354,1% para o Mn. Enquanto a biomassa aumenta apenas 38,2%.

A partir dos dados de simulação de intensidade de colheita pode-se afirmar que todos os nutrientes sofreriam remoção superior a 50% de sua quantidade de biomassa acima do solo do sítio florestal. Sendo necessário, acrescentar grandes quantidades de fertilizante para manter a produtividade.

4.4.2 Número potencial de rotações

Para avaliar o impacto de diferentes intensidades de colheita da biomassa, na sustentabilidade nutricional, através da estimativa do balanço de nutrientes e do número de rotações, foram analisados três métodos de colheita florestal: Colheita somente da madeira do tronco; Colheita da madeira e da casca do tronco; Colheita de toda a biomassa acima do solo, permanecendo como resíduo apenas a serapilheira e o sistema radicular das árvores. Determinou-se, conforme o sistema de exploração aplicado, o número potencial de rotações (NPR) que a área poderá suportar e continuar a proporcionar ao cultivo florestal.

Para o número potencial de rotações não foi considerada a entrada de nutrientes via precipitação úmida e seca, além da disponibilização pela rocha matriz, fixação biológica e os nutrientes em formas totais no solo. O cálculo foi com base no estoque de nutrientes acumulados na árvore e no estoque de nutrientes no solo, em formas trocáveis e em seu total, considerando uma camada de solo com um metro de profundidade.

A Tabela 11 apresenta o número potencial de rotações (NPR) para a espécie de *Eucalyptus urograndis* com 4,5 anos.

Tabela 11 - Estimativa do número potencial de rotações (NPR) com base no estoque de nutrientes na biomassa e disponíveis no solo (1m de profundidade) e na saída via colheita.

Intensidade da Colheita (NPR)	N	P	K	Ca	Mg
Madeira do tronco	10,69	7,60	3,26	57,01	50,90
Madeira do tronco + casca do tronco	8,01	5,15	2,43	23,72	27,22
Árvore inteira	3,81	2,70	1,65	14,34	15,86

Para o resultado das intensidades da colheita, o que pode manter um número razoável de rotações para N, Ca e Mg, pelo menos para métodos menos intensivos de colheita da biomassa, são os grandes estoques desses elementos no solo.

Para Witschoreck (2008), o número de rotações é uma ferramenta de manejo e indica uma transição para um nível de produtividade inferior, porém o mesmo autor ressalta que esta análise não prevê reações distintas por parte da espécie, podendo citar o solo em que a espécie *Eucalyptus urograndis* se encontra, sendo de baixa fertilidade restringindo as condições nutricionais do meio.

Assim, se considerarmos o P e o K em três rotações sucessivas, com colheita total da biomassa, provavelmente, no quarto ciclo produtivo será verificado uma maior redução da produtividade, em decorrência da limitação por esse nutriente.

A intensidade de colheita mais adequada é somente da madeira do tronco. Observando o elemento Ca na colheita da madeira do tronco + casca do tronco este elemento será o de maior limitação para a produtividade, pois o mesmo encontra-se exclusivamente na casca, o qual seria exportado pela retirada do sítio através da colheita florestal.

4.4.3 Taxa de remoção de nutrientes

A Tabela 12 verifica-se a partir da intensidade de exploração realizada, ocorrerá variação na taxa de remoção de nutrientes.

Tabela 12 - Taxa de remoção de macronutrientes (kg de nutrientes/Mg de biomassa) conforme intensidade de colheita da biomassa acima do solo.

Taxa de remoção (TR)	N	P	K	Ca	Mg	S
TR árvore inteira	3,96	0,32	4,18	5,58	1,01	0,34
TR madeira do tronco + casca do tronco	1,89	0,17	2,94	2,96	0,55	0,22
TR madeira	1,59	0,13	2,46	1,38	0,33	0,21

Observa-se que a colheita da biomassa da árvore inteira tem a maior taxa de remoção de nutrientes seguida de madeira do tronco com casca do tronco apresentando a seguinte magnitude de remoção de nutrientes: Ca > K > N > Mg > S > P. Efetuando-se a colheita apenas da madeira, a taxa de remoção de nutrientes reduzirá para todos os elementos analisados, e a magnitude de remoção seria: K > N > Ca > Mg > S > P. Viera et al. (2010); Santana et al. (1999) encontraram entre alguns elementos a seguinte magnitude de taxa de remoção em povoamentos de *Eucalyptus* o N > K para madeira do tronco e o S = P para colheita da árvore inteira.

4.5 Produção de serapilheira

Para todos os meses avaliados os valores da deposição foi estatisticamente diferente entre os períodos (Tabela 13).

Tabela 13 - Produção de serapilheira nas diferentes frações ao longo de um ano no plantio de *Eucalyptus urograndis* localizado em Alegrete, RS.

Período	Folhas	Galhos Finos	Miscelânea	Galhos Grossos	Total
	(kg ha^{-1})				
out/12	242,0c*	65,7b*	51,8b*	194,7b*	554,2#
	6,0%	7,9%	7,7%	7,7%	6,8%
nov/12	870,0a	40,1c	120,1b	466,9b	1497,1
	21,4%	4,8%	17,8%	18,5%	18,5%
dez/12	488,0b	325,6a	305,5a	542,6a	1661,7
	12,0%	39,9%	45,3%	21,5%	20,5%
jan/13	315,3b	106,9b	22,5b	288,8b	733,5
	7,8%	12,8%	3,3%	11,4%	9,1%
fev/13	410,2b	33,8c	32,1b	249,6b	725,7
	10,1%	4,1%	4,8%	9,9%	9,0%
mar/13	342,0b	6,1c	45,3b	72,5c	466,0
	8,4%	0,7%	6,7%	2,9%	5,8%
abr/13	474,5b	18,7c	17,2b	151,8c	662,2
	11,7%	2,2%	2,6%	6,0%	8,2%
mai/13	372,6b	116,0b	40,7b	109,2c	638,5
	9,2%	13,9%	6,0%	4,3%	7,9%
jun/13	96,6c	7,6c	7,9b	166,5c	278,6
	2,4%	0,9%	1,2%	6,6%	3,4%
jul/13	64,8c	13,9c	7,3b	132,6c	218,6
	1,6%	1,7%	1,1%	5,3%	2,7%
ago/13	114,4c	43,2c	13,8b	75,4c	246,8
	2,8%	5,2%	2,0%	3,0%	3,1%
set/13	267,2c	56,8b	9,8b	73,8c	407,6
	6,6%	6,8%	1,5%	2,9%	5,0%
Soma	4.057,7	834,5	674,1	2.524,5	8.090,7
%	50,2	10,3	8,3	31,2	100,0

Nota: * % da deposição mensal; # % da deposição no ano. letras diferentes dentro de uma mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A produção total de serapilheira foi de 8,1 Mg ha^{-1} ano^{-1}. Deste valor as frações folhas, galhos finos, miscelâneas e galhos grossos representaram 50,2; 10,3; 8,3 e 31,2% respectivamente.

Trabalhando com a mesma espécie de eucalipto com idade de 7 a 8 anos, obteve um total de 5,7 Mg ha^{-1} de serapilheira depositada (VIEIRA et al. 2009). Comparando com o presente trabalho em solo arenoso, a produção mensal foi semelhante.

Silva et al. (2004) explica que no futuro, a contribuição de 93% da folha poderá diminuir, pois a proporção de biomassa foliar, nas árvores, diminui com a idade do povoamento. O grande pico de devolução de serapilheira do mês de novembro e dezembro

pode está associado a maior atividade fisiológica dos indivíduos, fazendo com que seja intensificada a troca da folhagem e liberação do material senescente.

A deposição de serapilheira foi maior no período de outubro a março, representado pelas letras A, B e C do teste de Tukey. Os meses com maior deposição de serapilheira foram semelhantes ao observado por Correa et al. (2011), que encontraram maior deposição no mês de dezembro, período com maior precipitação.

A variação mensal das deposições de serapilheira e suas frações apresentaram correlação com dados de temperatura e precipitação (Tabela 14).

Tabela 14- Coeficientes de correlação de Pearson entre os componentes da serapilheira

Variável climática	Serapilheira	Folha	Miscelânea	Galhos finos	Galho grosso
Temperatura (°C)	0,81*	0,80*	0,90*	0,50*	0,48*
Precipitação (mm)	-0,22 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,04^{ns}	-0,08^{ns}

Obs.: * significativo a 1%; ** significativo a 5%; ns não significativo.

A distribuição da precipitação é aproximadamente homogênea ao longo do ano. O aumento das temperaturas apresenta uma maior deposição. Mesmo não mostrando significância, o sinal negativo da correlação da precipitação com a deposição de serapilheira indica que períodos de menor disponibilidade hídrica aumentam a deposição de serapilheira.

Para a espécie *Eucalyptus dunnii*, com 1,3 anos de idade, localizado na mesma área do estudo foi encontrado aproximadamente 4,1 Mg ha^{-1} ano^{-1} de serapilheira, este resultado diferiu do presente estudo devido a espécie ser proveniente de sementes com espaçamento diferenciado e a idade em que se realizou o estudo (CORRÊA 2011). Cunha et al. (2005) utilizando a mesma espécie e uma rebrota de um ano e meio de idade, obteve na deposição de serapilheira de 3,8 Mg ha^{-1} ano^{-1}.

A maior deposição de material orgânico e de nutrientes acontece no final da estação da primavera e do verão, com períodos quentes e chuvosos (POGGIANI, 1985; SCHUMACHER, 1992). Diante desses dados e dos resultados encontrados neste estudo pode-se concluir que a formação da serapilheira segue uma sazonalidade em função das condições climáticas ao longo do ano.

Estudando a deposição da espécie *E. grandis*, com 8 anos de idade e *E. urophylla*, com 5 anos de idade, respectivamente, encontraram maior deposição no mês de dezembro, período

em que ocorreu maior precipitação, sendo este o mesmo resultado encontrado no presente estudo com a espécie *E. urograndis*, com 4,5 de idade (CUNHA et al. 2005; BARLOW et al. 2007). Os mesmos autores também ressaltaram que, no período de maior deposição, também se iniciou o período de crescimento vegetativo e o fechamento do dossel. Além disso, as árvores dobram as dimensões representadas pela altura e DAP do início para o fim do monitoramento e, consequentemente, a biomassa.

A fração folhas correspondeu em média a 50% da serapilheira total, seguida pelo galho grosso, galhos finos e miscelânea. Os meses de maior deposição da fração folhas foi entre Outubro e Dezembro.

Em um estudo com a espécie *E. grandis* mostrou que a maior quantidade de serapilheira é marcadamente associado com a variação da precipitação ao longo do ano, isto é, suas folhas foram lançadas no período mais seco do ano (GARAY et al., 2004; LOUZADA et al., 1997).

4.5.1 Concentração de nutrientes na serapilheira produzida

Os teores de macronutrientes na serapilheira apresentaram a seguinte ordem decrescente Ca > N > K > Mg > S > P, exceto na fração miscelânea em que N > Ca (Tabela 15).

Tabela 15 - Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) na serapilheira produzida.

Fração	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg^{-1})					
Folha	7,68a	0,40a	2,77a	10,97a	1,76b	0,66ª
Galhos finos	3,45c	0,21b	2,87a	11,20a	2,27a	0,28c
Miscelânea	6,49b	0,38b	2,63a	4,69b	1,54b	0,48b
Galho grosso	2,17c	0,14c	1,87a	11,45a	1,62b	0,23c

. A concentração de N, P e S nas frações seguiu a ordem; folha > miscelânea > galhos finos > galho grosso. Para o elemento K seguiu a ordem; galhos finos > folha > miscelânea > galho grosso. Para o elemento Ca seguiu a seguinte ordem; galho grosso > galhos finos >

folha > miscelânea > galho grosso. Para o Mg a ordem foi a seguinte; galhos finos > folha > galho grosso > miscelânea.

As maiores concentrações de Ca foram observadas nas folhas, nos galhos grossos e galhos finos, considerado um elemento imóvel. O Ca na planta não é translocado para tecidos mais jovens (KÖNIG et al., 2002).

O P foi o nutriente com menor concentração em todos os componentes. De acordo com Santana (2005) os baixos teores de P na fração galho grosso podem está associado ao fato de o fósforo ser elemento constituinte de compostos complexos, ricos em energia e facilmente retranslocado dos tecidos mais velhos para os mais novos da planta. Com isso, no presente trabalho foi observado que as maiores concentrações foram identificadas nas folhas novas.

Conforme Dias et al. (2002) quando ocorre maior pluviosidade, pode favorecer maior absorção de alguns nutrientes, colocando-os plenamente disponíveis para as plantas. Com isso, a concentração desses elementos aumenta em todas as partes da planta, sobretudo nas folhas, onde ocorre a maior parte das atividades metabólicas (FERRI, 1985).

Os teores de P, K, Mg e S possuem uma menor disponibilidade no solo devido a sua elevada acidez. Consequentemente, esses elementos apresentam menores teores na serapilheira, o que afeta a disponibilização de nutrientes para a absorção pelas raízes da planta. O elementos K e Mg podem sofrer lixiviação, motivando a menores teores desses elementos na serapilheira.

Talvez, se o solo tivesse melhores condições de fertilidade, poderia haver maiores teores de nutrientes, já que a fertilização altera, e geralmente aumenta a concentração de nutrientes e consequentemente maior aporte de nutrientes (GUEDES e POGGIANI, 2003; ROCHA et al., 2004).

Os micronutrientes Fe e o Mn apresentaram maiores teores que os demais elementos, enquanto Cu verificou-se o menor teor nas frações exceto no galho grosso (Tabela 16).

Tabela 16 – Teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) na serapilheira produzida

Fração	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg kg^{-1})				
Folha	44,45a	7,34b	220,44a	1.583,51a	8,21ª
Galhos finos	16,15b	10,15a	106,82b	752,25b	12,92ª
Miscelânea	18,86b	6,88b	167,32b	466,82c	7,04ª
Galho grosso	8,66c	9,98a	62,32c	682,45b	8,29ª

Os teores de micronutrientes tiveram a seguinte ordem Mn > Fe > B > Zn > Cu. Quanto às frações, os maiores teores foram encontrados exclusivamente nas folhas. Consequentemente, as folhas são as que mais contribuem para a ciclagem de nutrientes. Esta contribuição deve esta relacionada à idade das folhas, no instante que ocorre a distribuição de nutrientes para outros órgãos como folhas novas, podendo esta contribuição diminuir na medida em que ocorre o envelhecimento das mesmas.

Schumacher et al. (2004) cita que o teor de nutrientes na serapilheira pode variar em função das características do solo, da planta e do próprio elemento.

4.5.2 Aporte de nutrientes na serapilheira produzida

O cálcio foi o elemento mais representativo nas frações folhas e galho grosso (Tabela 17). A fração miscelânea apresentou quantidades inferiores às demais frações.

Tabela 17 – Quantidade de macronutrientes (kg ha^{-1}) nas frações formadora da serapilheira.

Fração	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ha^{-1})					
Folhas	31,16	1,62	11,24	44,51	7,14	2,68
	71,0%	67,4%	55,8%	51,8%	50,4%	70,2%
Galhos finos	2,88	0,18	2,39	9,35	1,89	0,23
	6,6%	7,3%	11,9%	10,9%	13,4%	6,1%
Miscelânea	4,37	0,26	1,77	3,16	1,04	0,32
	10,0%	10,6%	8,8%	3,7%	7,3%	8,5%
Galho grosso	5,48	0,35	4,72	28,91	4,09	0,58
	12,5%	14,7%	23,5%	33,6%	28,9%	15,2%
Total	43,90	2,40	20,10	85,90	14,20	3,80

Verifica-se que mais de 50% dos nutrientes foram encontrados na fração folhas. A fração miscelânea apresentou menos que 15% dos nutrientes. A quantidade de macronutrientes seguiu a ordem folhas > galho grosso > galhos finos > miscelânea.

Zaia e Gama-Rodrigues (2004) avaliando a ciclagem de nutrientes e balanço de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis, E. camaldulensis* e *E. pellita* com 6 anos

de idade na região norte fluminense, verificaram que a ordem de acumulação de nutrientes foi Ca > N > K> Mg > P. Esses resultados são semelhante aos encontrados neste estudo para a espécie com 4,5 anos de idade..

O aporte de macronutrientes via deposição de serapilheira foi diferente entre todas as frações. A fração com a menor quantidade de macronutrientes foi à miscelânea. Os elementos P (2,40 kg ha^{-1}) e S (3,80 kg ha^{-1}) apresentaram o menor estoque de nutrientes na serapilheira

O Ca foi o elemento com a maior quantidade nas frações folhas, galho grosso e galhos finos. Em que, nos galhos finos a maior quantidade foi de 9,35 kg ha^{-1}.

Nas frações folhas e galho grosso ambos tiveram as maiores quantidade de N. Para a miscelânea, a quantidade de nitrogênio foi superior à de cálcio. De acordo com Haag (1985) observa-se nas frações folhas e miscelânea a maior quantidade de N em relação ao Ca, resultado encontrado na maioria dos estudos com diferentes formações florestais.

O Ca em árvores com sistema radicular bem desenvolvido, absorve o cálcio em maiores profundidades e o devolvem via serapilheira, na superfície do solo, melhorando a fertilidade, uma vez que disponibilizam este elemento para ser reabsorvido pelas raízes finas que permeiam a camada superficial do solo (VIERA, 2012). Tais características podem ser vistas com a espécie em estudo devido sua boa adaptação em solo de baixa fertilidade natural.

O mês com a maior quantidade de serapilheira e consequentemente de aporte de macronutrientes foi dezembro e o de menor aporte foi julho, o que também foi observado para a deposição de serapilheira de *E. dunnii* (CORRÊA, 2011). Essas alterações na retranslocação com maiores e menores quantidades no período, foi devida à demanda causada pelo crescimento e ao baixo suprimento de nutrientes pelo solo de baixa fertilidade.

Viera, (2012) encontrou na espécie *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* com 10 anos de idade, a mesma ordem que o presente estudo para a quantidade de macronutrientes nas frações folhas, galhos finos e galhos grossos (Ca > N > K > Mg > S > P).

Os elementos P e S tiveram as menores quantidades e variações durante o período avaliado. O elemento P é um nutriente com elevada mobilidade na parte interna das plantas, porém inerte no solo. Isto pode corresponder à elevada intensidade de ciclagem bioquímica de P em uma baixa intensidade de ciclagem biogeoquímica (ZAIA e GAMA RODRIGUES 2004).

Estudando a mesma espécie no estado de Minas Gerais, em um Latossolo Vermelho-Amarelo de baixa fertilidade natural, obteve como retorno de nutrientes o nitrogênio mais representativo que o cálcio, mas que não diferiu do presente trabalho com os demais elementos (VIEIRA, 2009).

No presente estudo, a quantidade de nutrientes foi em função do total depositado na serapilheira, quando analisada cada fração e quantidade de nutrientes na mesma. Algumas alterações podem ser resultados da fertilização (SILVA et al., 2011).

A Tabela 18 apresenta a quantidade de micronutrientes (g ha^{-1}) presentes na serapilheira de *Eucalyptus urograndis.*

Tabela 18 - Quantidade de micronutrientes (g ha^{-1}) nas frações formadora da serapilheira.

Fração	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			(g ha^{-1})		
Folha	180,36	29,78	894,47	6425,34	33,31
	79,0%	43,7%	71,3%	70,7%	47,7%
Galhos finos	13,48	8,47	89,14	627,72	10,78
	5,9%	12,4%	7,1%	6,9%	15,5%
Miscelânea	12,71	4,64	112,79	314,68	4,75
	5,6%	6,8%	9,0%	3,5%	6,8%
Galho grosso	21,86	25,19	157,33	1722,85	20,93
	9,6%	37,0%	12,5%	19,0%	30,0%
Total	228,41	68,09	1.253,72	9.090,59	69,77

Quando se avaliou a quantidade total nos micronutrientes em relação à menor, considerando-se apenas a média no ano, constatou-se que o elemento mais encontrado na serapilheira foi Mn em seguida Fe, B, Zn e Cu. Tal resultado foi semelhante em uma Floresta Estacional Decidual sob um Neossolo Litólico no município de Itaara, RS (VIERA et al., 2010).

A fração folhas apresentou as maiores quantidades de micronutrientes. O Fe teve sua maior quantidade nas folhas seguida do galho grosso. A fração miscelânea apresentou a menor quantidade no elemento Cu.

A quantidade de micronutrientes seguiu a ordem Mn > Fe > B > Cu > Zn em todas as frações semelhantes à encontrada por Corrêa (2011) com a espécie *E. dunnii* estabelecido em um solo arenoso.

4.5.3 Concentração de nutrientes na serapilheira acumulada

Conforme os resultados da Tabela 19, o cálcio apresentou o maior teor comparado aos demais nutrientes 14,77 g kg^{-1}.

Tabela 19 – Teores de nutrientes na serapilheira acumulada.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(g kg^{-1})						(mg kg^{-1})				
7,03	0,35	0,92	14,77	2,02	0,47	19,84	7,67	332,72	1.354,47	18,01

Dias et al. (2002), cita que o Ca fica armazenado nas folhas em forma de cristais e continua nela, mesmo em sua senescência. Para Nilsson et al. (1995), a baixa mobilidade desse macronutriente dentro dos tecidos vegetais é citada como um fator que determina que a sua maior quantidade de ciclagem na natureza seja feita pela queda e decomposição dos tecidos vegetais senescentes.

A ordem decrescente dos teores de macronutrientes foi a seguinte; Ca > N > Mg > K > S > P. Os baixos teores de K na serapilheira acumulada estão relacionados com suas pequenas taxas na ciclagem biogeoquímica. O teor de fósforo é baixo e isto pode ser devido a baixa disponibilidade deste elemento no solo.

O cálcio, nitrogênio e magnésio apresentaram os maiores teores na serapilheira acumulada, assim como o manganês, ferro e boro. Isto ressalta a importância da camada de serapilheira como estoque e fonte de abastecimento de nutrientes, principalmente em solos de baixa fertilidade como o do presente estudo.

Segundo Gonçalves et al. (2001), alguns solos sob povoamentos homogêneos de *Eucalyptus grandis* no planalto ocidental paulista teriam reserva de N suficiente para atender às necessidades das árvores por três a cinco rotações (sete anos cada), se tornando, a partir de então, áreas potenciais de resposta à fertilização nitrogenada. Evidências desse efeito foram constatadas em plantações no Congo, após 50 anos de cultivo em solos de textura arenosa (LACLAU et al., 2004).

Os teores dos micronutrientes mais elevados neste trabalho foram dos elementos Fe e Mn, isto pode ser consequência das altas concentrações desses elementos no solo ou da contaminação das amostras com as partículas de solo. A ordem decrescente dos micronutrientes foi a seguinte; Mn > Fe > B > Zn > Cu.

No momento em que ocorre a separação/limpeza das amostras pode haver algum tipo de contaminação na serapilheira causada pela aderência do solo aos resíduos vegetais, sendo de difícil separação (mesmo com a limpeza), pela presença de resíduos vegetais em avançado processo de decomposição.

De acordo com Vogel (2005) é de grande importância os estudos sobre a devolução de nutrientes pela deposição e acúmulo da serapilheira no piso da floresta, pois a mesma realiza a manutenção do ecossistema do ponto de vista nutricional.

4.5.4 Aporte de nutrientes na serapilheira acumulada

A quantidade total de nutrientes retornada ao solo depende da quantidade de serapilheira acumulada e do teor de nutrientes (Tabela 20).

Tabela 20 – Quantidade de nutrientes na serapilheira acumulada.

Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(Mg ha^{-1})	(kg ha^{-1})						(g ha^{-1})				
9,7	68,19	3,40	8,90	143,27	19,62	4,53	190,0	70,0	3.220,0	13.130,0	170,0

Caldeira et al. [19--] encontrou as seguintes quantidades de serapilheira acumulada para as espécies de eucaliptos aos quatro anos de idade; 4,8 Mg ha^{-1} para *E. globulus*; 5,0 Mg ha^{-1} para *E. bicosta*; 6,0 Mg ha^{-1} para *E. maidenii* e 7,2 Mg ha^{-1} para *E. saligna*.

A magnitude dos macronutrientes na serapilheira acumulada teve a seguinte ordem; Ca > N > Mg > K > S > P. Esta mesma sequência foi encontrada para a mesma espécie por Viera (2012). Para os micronutrientes, a magnitude dos elementos foi: Mn > Fe > B > Zn > Cu. Em relação ao Fe, a quantidade encontrada pode ser decorrente da maior quantidade desse elemento no solo e/ou da contaminação das amostras com partículas de solo. O cálcio é um dos elementos mais presentes na serapilheira produzida, quando se trata deste elemento na serapilheira acumulada.

Ao analisar a serapilheira acumulada de *Eucalyptus grandis* aos 7 anos de idade, localizado em um Neossolo Quartzarênico que apresenta textura arenosa foi relatado uma produção média de serapilheira de 21,3 Mg ha^{-1} (ANDRADE et al., 2006).

Viera et al. (2013) estudando *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* obteve como quantidade de serapilheira estocada sobre o solo de 14,0 Mg ha^{-1}.

Para *E. grandis* e *E. pilularis* o acúmulo de serapilheira foi de 16,4 Mg ha^{-1} ano^{-1} aos 5 anos de idade e 15,7 Mg ha^{-1} ano $^{-1}$ aos 7 anos de idade (TURNER e LAMBERT 2008).

Em um estudo realizado em Minas Gerais por Leite et al. (2011) em um Latossolo Vermelho com *Eucalyptus* spp. aos 6,5 anos de idade, obtiveram 19,3 Mg ha^{-1}.

Em um fragmento de Floresta Estacional Decidual o valor da serapilheira acumulada sobre o solo foi 19,93 Mg ha^{-1} (VIERA et al., 2010). Essa variação na serapilheira acumulada pode ser explicada, com base na variação do clima, sítios, idade, densidade de plantio, diferentes características genéticas de cada espécie e da estabilidade alcançada pelo povoamento (REIS e BARROS, 1990; SCHUMACHER et al., 2002; VIERA et al., 2010). Com isso, a variação da quantidade de material depositado e o tempo necessário para a sua decomposição são refletidos na maior ou menor acumulação de serapilheira sobre o solo florestal.

De acordo com Zaia e Gama-Rodrigues (2004), quanto maior a ciclagem de nutrientes, maior será a disponibilidade de nutrientes no solo para a absorção das plantas. Por isso a importância da ciclagem biogeoquímica para o suprimento de nutrientes no sítio florestal.

5 CONCLUSÕES

O percentual de biomassa em cada compartimento da espécie de *Eucalyptus urograndis* foi; madeira (60%), raiz (15%), galhos (10%), casca (8%) e folhas (5%).

A distribuição dos macronutrientes nos componentes da biomassa teve a seguinte magnitude: Ca > K > N > Mg > S > P. A distribuição dos micronutrientes foi; Mn > Fe > B > Zn > Cu. A maior quantificação dos micronutrientes esteve presente nas raízes.

Quanto à serapilheira, entre os macro e micronutrientes, Ca e Mn foram, respectivamente, aqueles que apresentaram maiores teores e quantidades entre os nutrientes que retornaram ao solo via deposição da serapilheira.

Removendo-se os nutrientes conforme a os cenários de colheita apresentado, apenas a madeira comercial demonstrou o maior coeficiente de utilização de nutrientes.

A porcentagem de remoção para os nutrientes, com exceção do Cu e Zn, seria inferior a 50%, chegando até 10% no caso do Ca, em relação ao total contido na biomassa.

O fósforo e o cálcio poderão ser os principais nutrientes a tornarem-se limitantes na produtividade das próximas rotações, quando realizada a colheita da madeira com casca.

6 RECOMENDAÇÕES

Considerando a idade do povoamento quando o trabalho foi realizado, recomenda-se repetir o estudo aos 7 anos de idade. Avaliando a exigências nutricionais da espécie contribuindo com a produtividade do plantio.

Para a melhoria das características físicas, químicas do plantio e com o equilíbrio nutricional recomenda-se que seja realizada a colheita apenas da biomassa da madeira do tronco. Deixando os resíduos da colheita sobre o solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – **ABRAF**. *Anuário estatístico brasileiro da ABRAF:* ano base 2012. Brasília. 2013.

AB'SABER, A. N. A revanche dos ventos. Derruição dos solo areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha. **Revista Ciência & Ambiente,** Santa Maria: Editora UFSM, n. 11, p. 7-31. 1995.

Agritempo. **Dados meteorológicos – Alegrete**. Campinas, 2014. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2014.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. **Clonagem e doenças do Eucalipto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2004. 442 p.

ALVAREZ, E.; MARCOS, M. L. F.; TORRADO, V.; SANJURJO, M. J. F. Dynamics of macronutrients during the first stages of litter decomposition from forest species in a temperate area (Galicia, NW Spain). **Nutr. Cycl. Agroecosyst.,** v. 80, p. 243-256, 2008.

ANDRADE, A. G.; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 777-785, 2000.

ANDRADE, G. C. et al. **Acúmulo de nutrientes na biomassa e na serapilheira de *Eucalyptus grandis* em função da aplicação de lixo urbano e de nutrientes minerais.** Embrapa Floresta, 2006. p. 109-136. Embrapa Floresta. Boletim de Pesquisa Florestal, 53p.

ATAÍDE, D. H. S. et al. Acúmulo e eficiência de uso de nutrientes na parte aérea de *Eucalyptus urograndis* em plantios puros e mistos com *Acacia mangium* Willd. **In:** CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Florianópolis. SC. 2013, 4p.

BARLOW, J. et al. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 247, n. 1, p. 91–97, ago. 2007.

BARROS, N.F; NOVAIS, R.F. **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. 330p.

BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes.** 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

BOUILLET, J. P. et al. Changes with age in the spatial distribution of roots of *Eucalyptus* clone in Congo: Impact on water and nutrient uptake. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 171, n. 1-2, p. 43-57, nov. 2002.

BRUN, E. J. **Biomassa e nutrientes na floresta estacional decidual, em Santa Tereza, RS**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucaliptos: serapilheira e retorno de nutrientes. Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre/Espírito Santo. [19--].

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; CARBONERA, J. P.; SPATHELEF, P. Quantifizierung der oberirdischen biomasse der australischen herkunfty Lake George Bunge Dore von *Acacia maeransii* De Wild. **Forstarchiv**. 71:160-165, 2000.

CARNUS, J. M. et al. Planted Forests and Biodiversity. UNFF. Intersessional Experts Meeting on the Role of Planted Forests in Sustainable. **Forest Management**, New Zealand, 2003.

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 128p. 2000.

CQFS- Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** Porto Alegre: SBCS, 10.ed., 2004. 400p.

CORRÊA, R. S. **Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* estabelecido no bioma pampa**. 2011. 99f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2011.

CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-363, maio-jun. 2005.

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: YOUNBERG, C. T.; DAVEY, C. B. (Eds.) **Tree growth and forest soils.** Oregon State University Press, p. 313-325, 1970.

DIAS, H. C. T. et al. Variação temporal de nutrientes na serapilheira de um fragmento de floresta estacional semidecidual em Lavras, Minas Gerais – Brasil. **Revista Cerne**, v.8, n.2, p. 1-16, 2002.

DIVIGNEAUD, P.; DENAEYER DE SMET, S. Biological cycling of minerals in temperate deciduous forests. In: REICHLE, D. E. D (eds.) **Analyses of temperate Forest Ecosystem.** New York: Springer-Verlag. p. 199-225, 1973.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 2.ed. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 2.ed. 306p.

FARIA, G. E. et al. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.

FERREIRA, G. W. D. **Resíduos da colheita do eucalipto: ciclagem de nutrientes e uso da espectrocopia do infravermelho próximo para predição da composição química.** 2012. 65 f. Dissetação (Mestre em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2012.

FERREIRA, C. A. et al. Efecto de la aplicacion de ceniza y residuos de celulosa en la descomposicion y liberacion de nutrientes de la hojarasca en plantaciones de *E. grandis*. In: SIMPOSIO IUFRO PARA CONO SUR SUDAMERICANO; Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales, 1995, Valdivia. **Actas**. Valdivia: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, p. 335-339, 1995.

FERREIRA, C. A.; GALVÃO, A. P. M . Importância da atividade florestal no Brasil. In: GALVÃO, A. P M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 351 p.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal 1**. 2. ed. São Paulo: EPU, 1985. 362p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. 269 p.

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**, Viçosa, v. 26, n.2, p.193-207, 2002.

GARAY, I. et al. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 27, p. 177-187, oct. 2004.

GOLLEY, F. B.; Mc GINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. Tradução de Eurípedes Malavolta - São Paulo: EPU. Editora da USP, 1978. 256p.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 1-58, 2000.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 601-616, 2001.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. The root system of trees. In: GONÇALVES, J. L. M; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization.** Piracicaba: IPEF, p. 223 – 267, 2004.

GOYA, J. F. et al. Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soil in Entre Ríos, Argentina. **BOSQUE,** v. 29, p. 217-226, 2008.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.188-201, 2003.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 75, n. 1-2, p. 133-140, Aug. 1999.

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

HARTLEY, M. J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests **Forest Ecology and Management,** v. 155, p. 81–95, 2002.

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

HERNÁNDEZ, J. et al. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forestry Ecology and Management,** v. 258, p. 92-99, 2009.

KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Solos suscetíveis à erosão eólica e hídrica na região da Campanha do Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente,** Santa Maria, n. 11, p. 71-80, 1995.

KOEHLER, C. W.; REISSMANN, C. B.; KOEHLER, H. S. Deposição de resíduos orgânicos (serapilheira) e nutrientes em plantio de *Araucaria angustifolia* em função do sítio. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 89-94, jan.-dez. 1987.

KOLM, L. Ciclagem de nutrientes e variações do microclima em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maidenn manejadas através de desbastes progressivos. 2001. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2001.

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

KRAMER, R. J.; KOSLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Gouldbenkian, 1972. 745p.

KUYAH, S. et al. Allometry and partitioning of above- and below-ground biomass in farmed *Eucalyptus* species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. **Biomass and Bioenergy**. v. 55, p. 276–284, 2013.

LACLAU, J. P. et al. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolenses *Eucalyptus* plantations. **Annals of Botany.** v. 53, p. 249-261, 2004.

LAFETÁ, B. O. **Eficiência nutricional, área foliar e produtividade de plantações de eucalipto em diferentes espaçamentos estimados com redes neurais artificiais**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Minas Gerais, 2012.

LAMPRECHT, H. **Silvucultura nos Trópicos:** ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidade e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: GTZ GmbH – Rosdorf: TZ – Verl. – Ges., 1990. 344p.

LANDSBERG, J. J. **Physiological ecology of forest production**. Melbourne: CSIRO, Division of Forest Research, 1986.

LEITE, F. P. et al. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 22, p. 419-426, 1998.

LEITE, F. P. et al. Nutrient relation during an eucalyptus cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 35, n.1, p. 949-959, 2011.

LEITE, N. B. Eucalipto com ciência, plantio consciente. Disponível em: <www.radiobras.gov.br> Acesso em 19/04/2013.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto.** 2 ed, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LOPES, V. G. **Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos Campos de Cima da Serra, RS**. 2009. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LONDERO, E. K.; et al. Influência de diferentes períodos de controle e convivência de plantas daninhas em eucalipto**. CERNE.** v. 18, n.3, Lavras, July/Sept. 2012**.**

LOUZADA, M. A. P.; et al. **O aporte de matéria orgânica ao solo:** quantificação, fenologia e suas relações com a composição específica em área de floresta Atlântica de Tabuleiros, Leandra, v. 12, p. 27-32, 1997.

MALAVOLTA, E.; et al. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo, Pioneira, 1974, 752 p.

MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico.** São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1984. 60 p. (Boletim técnico, 3).

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

MEDEIROS, E.; ROBAINA, L. E.; CABRAL, I. L. L. C. Degradação ambiental na região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente,** n. 11. p. 53-64. 1995.

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

MIYAZAWA, M. et al. 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, n. 4, p. 171-224, 1999.

MONTANARI, R. et al. Níveis de resíduos de metalurgia e substratos na formação de mudas de eucalipto (*Eucalyptus urogradis*). **Revista de Biologia e Ciência da Terra.** v. 7, n. 1, 2007.

MUÑOZ, F. et al. The effect of pruning and thinning on above ground aerial biomass of *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. **Forest Ecology and Management**., v. 20, p. 365–373, 2008.

NAMBIAR, E. K. S.; FIFE, D. N. Growth and nutrient retranslocation in needles of Radiata Pine in relation to nitrogen supply. **Annals of Botany**, London, v. 60, n. 2, p. 147-156, 1987.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região do Espírito Santo**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 191p. 2000.

NILSSON, L. O. et al. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems – present status and future research directions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 168/169, p. 5-13, 1995.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição mineral do Eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação Solo-Eucalipto.** Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, p.25-98, 1990.

NZILA, J. D. et al. The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in *Eucalyptus* plantations in the Congo. **Forest Ecology and Management,** v. 171, p. 209-221, 2002.

OLIVEIRA, M. F. G. et al. Fluxo difusivo de Zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 609-615. 1999.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore,** v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.

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

POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes e manutenção da produtividade das florestas plantadas. In: FUNDAÇÃO CETEC**. Gaseificação da madeira e carvão vegetal**. Belo Horizonte, p. 25 – 33, 1981.

POGGIANI, F.; **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações de *Eucalyptus* e *Pinus*. Implicações silviculturais.** 1985. 229f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1985.

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

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Nutrient cycling in native forests. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, p. 285-306, 2004.

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.

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales:** propiedades, conservación y mejoramiento. México: Limusa Noriega, 1990. 634 p.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. São Leopoldo: UNISINOS, 3.ed., 1.reimp., 2000. 485p.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Árvores,** v. 11, n.1, p. 1-15, 1987.

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: Folha de Viçosa, p. 265-301, 1990.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais em plantios de *Pinus.* In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, p. 135-166, 2000.

REMADE - REVISTA DA MADEIRA. Técnicas de plantio alteram resultados. **Revista da Madeira,** n. 97, 2006.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 623-639, 2004.

RODRIGUES, F. A. V. Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.34, n.6, p. 1923-1932. 2010.

ROVEDDER, A. P. M. **Potencial do *Lupinus albescens* Hook. & Arn. Para recuperação de solos arenizados do bioma Pampa.** Santa Maria, RS. 2007. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

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 Forestalis**, Piracicaba, n. 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, v. 26, n. 4, p. 447-457, jul.-ago. 2002.

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

SANTANA, R. C.; et al. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 32, p. 2723-2733, 2008.

SBS. **Área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil (ha)**. Disponível em: <www.sbs.org.br>. Acesso em: 19/04/2013.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Mailden e *Eucalyptus***

***torelliana* F. Muell.** 1992. 104p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

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* F. Muell, plantados em Anhembí, SP. **Ci. Flor**., Santa Maria, v.3, n.1, p. 21-34, 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, 1996, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1996. P. 65-67, 167p.

SCHUMACHER, M. V. e HOPPE, J. M. **A complexidade dos ecossistemas**. Porto Alegre: Pallotti, 1997. 50p.

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

SCHUMACHER, M. V. et al. Fracionamento da serapilheira em três espécies de eucalipto no município de Santa Maria –RS: *Eucalyptus urophylla, Eucalyptus cloesiana* e *Eucalyptus grandis*. **In:** Ciclo de atualização florestal do CONESUL. Santa Maria; p. 173-180, 2002.

SCHUMACHER, M. V.; et al. **Quantificação do carbono e dos nutrientes em florestas de eucalipto de diferentes idades**. Santa Maria, RS: UFSM/FATECIENS, Departamento de Ciências Florestais, 2003. 112p. (Relatório Técnico).

SCHUMACHER, M. V., HERNANDES, J. J, KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze no município de Pinhal Grande, RS. **Revista Árvore**, v. 28, p. 29-37, 2004.

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

SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; VOGEL, A. L M. **Apostila de silvicultura aplicada.** Santa Maria, 2005, 120 p. Apostila didática.

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, p. 471-480, out.-dez., 2008.

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

SCHUMACHER, M. V. et al. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321-332, abr.-jun., 2013

SHAMMAS, K. et al. Contribuition of decomposing havest residue to nutrient cyclig in a second rotation *Eucalyptus globulus* plantation in south-western Australia. **Biol. Fertil. Soils**. v. 38, p. 228-235, 2003.

SIF. **Sociedade de Investigações Florestal**. Jornal SIF. Edição Especial. n. 82, ano 14. Disponível em: <www.sif.org.br> Acesso em 19/04/2013.

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

SILVA, H. D. et al. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. . **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 49, p. 83-95, 2004.

SILVA, J. C. Cresce presença de eucalipto no Brasil. **Revista da Madeira,** n. 92, 2005.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LACLAU, J. P. Applying sewage sludge to *Eucalyptus grandis* plantations: effects on biomass production and nutrient cycling through litterfall. **Applied and Environmental Soil Science**, 2011, v. 11, p. 2011.

SPANGENBERG et al., Nutrient store and export rates of *Eucalyptus urograndis* plantation in eastern Amazonia (Jari). **Forest Ecology and Management,** v. 80, p. 225-234, 1996.

STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 219-234, May. 2004.

STORAENSO. **Inventário Florestal das Plantações no Rio Grande do Sul**. (Relatório de Inventário). Dados não publicados. 2012.

SUERTEGARAY, D. M. A. O Rio Grande do Sul descobre os seus desertos. Revista Ciência & Ambiente, Santa Maria, v.11, p. 33-52, 1995.

SUERTEGARAY, D. M. A. et al., Projeto arenização no Rio Grande do Sul, Brasil: Gênese, dinâmica e espacialização. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, n. 287, 2001. Universidade e Barcelona.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Maintenance of productivity under short rotations. In: FAO-IUFRO INTERNATIONAL SYMP. FOREST FERTILIZATION. **Anais.** Paris, 1973.

TANDON, V. N.; PANDE, M. C.; SINGH, R. Biomassa estimation and distribution of nutrients in five different aged *Eucalyptus grandis* plantations ecosystems in Kerala state. **The Indian Forester**, Indian, v. 114, n. 4, p. 184-199, 1988.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 118 p. (Boletim Técnico).

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: Csiro/Academic Press, 1984. p. 6-65.

TURNER, J.; LAMBERT, M. J. Nutrient cycling in age sequences of two *Eucalyptus* plantation species. **Forest Ecology and Management.** v. 255, p. 1701–1712, 2008.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia-negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 225-231, jan./mar. 2001.

VIERA, M. **Avaliação da biomassa e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. e *Eucalyptus urograndis* no município de Pinheiro Machado, RS.** Relatório de estágio supervisionado em Engenharia Florestal, UFSM. 2007. 53 p.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L.. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 375-382, out.-dez. 2009.

VIEIRA, J. A. G. et al. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes ao solo pela espécie *Eucalyptus urograndis.* **Revista Brasileira de Agroecologia.** v. 4, n. 2, 2009.

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

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS**, Brasil (Tese). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2012.

VIERA, M. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2481-2490, 2012.

VIERA, M. et al. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul-RS. **Ecologia e Nutrição Florestal,** Santa Maria-RS, v.1, n.1, p.1-13, jan./abr., 2013.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Dinâmica de decomposição e nutrientes em plantio de *Eucalyptus Urophylla* X *Eucalyptus Globulus* no sul do Brasil. **Floresta Ambient.** v. 20, n. 3, p. 351-360. jul./set., 2013.

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

VITTI, G. C. **Adubação e nutrientes de eucalipto**. Piracicaba. ESALQ, 2002, 45p.

VOGEL, H. L. M. **Quantificação da biomassa e nutrientes em uma floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil**. 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Silvicultura) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

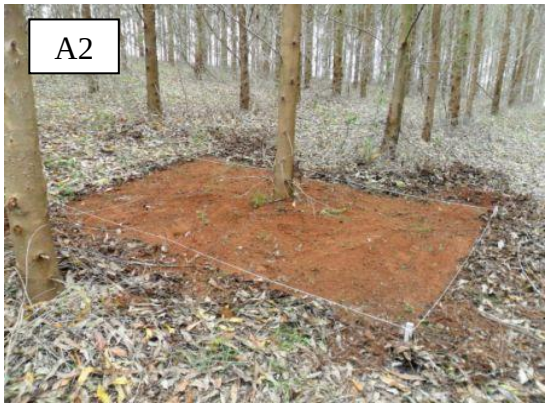
WATZLAWICK, L. F. et al. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. et al., (eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: 2002, 265p.

WITSCHORECK, R. **Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 17 anos de idade no município de Cambará do Sul** – RS. 2008. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 421-427, jul./ago. 2002.

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

ZEWDIE, M.; OLSSON, M.; VERWIJST, T. Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globules* Labill. Coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia**. Biomass Bioenerg**, v. 33, p. 421–428, 2009.

APÊNDICES

Apêndice A - Aspecto do coletor de serapilheira (A1), detalhe de uma sub-parcela para coleta de galhos grossos (A2), moldura para coleta de serapilheira acumulada (A3), fracionamento dos componentes das árvores de eucalipto (A4), Pesagem dos componentes de *Eucalyptus urograndis* (A5), amostragem do sistema radicular das árvores selecionadas (A6).