

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

**BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE
EUCALIPTOS NO BIOMA PAMPA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Claudiney do Couto Guimarães

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE EUCALIPTOS NO BIOMA PAMPA

Claudiney do Couto Guimarães

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**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Guimarães, Claudiney

Biomassa e nutrientes em plantios de eucaliptos no bioma pampa. / Claudiney Guimarães.-2014.

63 p.; 30cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2014

1. Manejo nutricional 2. Solos florestais 3. Nutrição florestal I. Schumacher, Mauro Valdir II. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Claudiney Guimarães. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

Endereço: Laboratório de Ecologia Florestal, Sala 5248, 2º Piso, Prédio 44, CCR, UFSM, Avenida Roraima, n. 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS. CEP: 97105-900.

Fone: (055) 32208336, E-mail: claudiney.couto@hotmail.com

**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 PLANTIOS DE EUCALIPTOS NO
BIOMA PAMPA**

elaborada por
Claudiney do Couto Guimarães

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

COMISSÃO EXAMINADORA:



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



Hamilton Luis Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)



Márcio Viera, Dr (UFSM /UDESSM)

Santa Maria, 24 de janeiro de 2014

Aos meus pais Julio e Luiza,
à minha esposa Elisângela
e a meus filhos Felipe e Maria Luiza,
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por propiciar-me forças e proteção para superar este importante desafio em minha vida.

A toda a minha família e aqueles que direta e indiretamente me apoiaram.

Ao Prof. Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher pela amizade, incentivo e orientação na condução deste trabalho.

Aos componentes da banca examinadora Prof. Dr Hamilton Luis Munari Vogel e Prof. Dr Márcio Viera.

Aos Engenheiros Florestais Edenilson Liberalesso pelo auxílio nas coletas de campo e Rudi Witschoreck pelo apoio na análise estatística dos dados.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, Biólogo Vitor Hugo Braga, Engenheiro Químico Cristiano Kasdorf Giesbrecht, Engenheiras Florestais Jéssica Zavareze da Costa e Renata Carvalho, Estudantes de Engenharia Florestal Caroline Weimann, Dione Momolli, Eduardo Rafael Prass, Fernando Zancan Pissinim e Joel Carvalho dos Santos.

A StoraEnso Florestal RS, em especial aos Engenheiros Florestais João Fernando Borges, João Carlos Barrichelo, Julio César Medeiros, Daniela Torres, aos Engenheiros Agrônomos Huan Pablo de Souza e José Lionco Bragança, e aos colegas da Área Administrativa Camila Duarte Prates, Leandro Acosta Saldanha, Marciane Halinski, Fernanda Sechi, Letícia Ávila e Mara Rejiane Peres.

Aos Técnicos Operacionais da Florestadora Nativa Marcelo Goularte, Fábio Minussi, Luis Garcia de Carvalho, Cristiano Dorneles e Luís Antônio Vitorino.

Ao corpo docente da Pós-Graduação em Engenharia Florestal UFSM, pela dedicação e competência na condução do curso.

Aos colegas de curso pelos momentos de alegria e amizade.

RESUMO

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

BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE EUCALIPTOS NO BIOMA PAMPA

AUTOR: CLAUDINEY DO COUTO GUIMARÃES
ORIENTADOR: MAURO VALDIR SCHUMACHER
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de Janeiro de 2014.

A silvicultura com espécies exóticas se encontra presente na maioria dos Biomas Brasileiros. No Bioma Pampa do RS, apesar dos registros históricos indicarem a presença do eucalipto desde 1835, as plantações comerciais no sudoeste do estado para fins industriais passaram a receber os maiores investimentos a partir de 2000. Por ser o eucalipto uma espécie de rápido crescimento, e conseqüentemente com alta produção de biomassa e acúmulo de nutrientes, debates estão sempre sendo provocados para discutir os impactos e a sustentabilidade da cultura. Diante da importância deste cenário este trabalho teve como objetivo caracterizar nutricionalmente povoamentos de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* e híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*), com quatro anos e seis meses de idade, e contribuir para a adequação do manejo nutricional em plantações com eucalipto na região do Bioma Pampa. O solo na área do estudo é classificado com Argissolo Vermelho distrófico típico. Foram inventariadas três unidades amostrais de 10 ha, sendo uma unidade para cada espécie, onde foram derrubadas um total de 27 árvores (9 árvores por espécie), seccionadas em compartimentos, retirado amostras para determinação da biomassa arbórea e dos teores dos nutrientes. O plantio com *E. urograndis* apresentou maior biomassa (158,1 Mg ha⁻¹), seguido pelo *E. grandis* (136,7 Mg ha⁻¹) e *E. dunnii* (121,9 Mg ha⁻¹), com distribuição média para os compartimentos de 66% madeira, 15% raiz, 9% galho, 7% casca e 4% folha. O estoque total de nutrientes na biomassa (macro e micro) foi: *E. urograndis* – 1232 kg ha⁻¹ e 26 kg ha⁻¹; *E. grandis* – 1289 kg ha⁻¹ e 48 kg ha⁻¹; *E. dunnii* – 1213 kg ha⁻¹ e 61 kg ha⁻¹, respectivamente. O maior estoque de N foi verificado nas folhas, para *E. grandis* e *E. dunnii*, e no tronco para *E. urograndis*. Com a colheita da madeira do tronco, 63% N; 70% P; 47% K; 91% Ca; 73% Mg; 34% S e 46% B; 41% Cu; 38% Fe; 87% Mn; 38% Zn; são devolvidos ao solo pelos demais componentes da biomassa e proporciona a menor remoção de nutrientes do sistema. A remoção de nutrientes, em termos médios, de acordo com o cenário de colheita apresentou a seguinte tendência de distribuição: Madeira do Tronco c/c + Copa e Madeira do Tronco com Casca Ca > k > N > Mg > S > P, apenas a Madeira do Tronco K > N > S > Ca > Mg > P, para os micronutrientes em todos os cenários de colheita Mn > Fe > Zn > B > Cu. As espécies avaliadas apresentaram a mesma magnitude de alocação de biomassa nos diferentes componentes (madeira do tronco > raiz > galho > casca > folha). *E. urograndis* apresentou a maior produção de madeira, bem como a melhor eficiência no uso dos nutrientes. P foi o elemento que proporcionou a melhor eficiência nutricional pelas espécies. K e S foram os elementos que apresentaram os maiores riscos de limitação da produtividade, com base na remoção de nutrientes nos diferentes cenários de colheita da biomassa, balanço nutricional e número potencial de rotações.

Palavras-chave: Manejo nutricional, Solos florestais, Nutrição Florestal.

ABSTRACT

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

BIOMASS AND NUTRIENTS IN PLANTATIONS OF EUCALIPTOS IN PAMPA BIOME

AUTHOR: CLAUDINEY DO COUTO GUIMARÃES

ADVISER: MAURO VALDIR SCHUMACHER

Date and Place of the Presentation: Santa Maria, January 24th, 2014.

The silviculture with exotic species is present in most Brazilian's Biomes. In the Pampa Biome RS, although historical records indicate the presence of eucalyptus since 1835, commercial plantations in the southwest of the state for industrial purposes have received the largest investments since 2000. For being an eucalyptus rapid growth and consequently high biomass production and nutrient accumulation, debates are always being provoked to discuss the impacts and sustainability of culture. Given the importance of this scene this study aimed to characterize nutritionally stands of *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* and hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*), with four years and six months age, and contribute to the adequacy of nutritional management in eucalypt plantations in Pampa Biome region. The soil in the study area is rated as Ultisol. Three sample units of 10 ha were surveyed and inventoried, one unit for each species, where a total of 27 trees (9 trees per species), sectioned into compartments, sampling were felled for determination of tree biomass and nutrient contents. Planting with *E. urograndis* showed higher biomass (158.1 Mg ha⁻¹), followed by *E. grandis* (136.7 Mg ha⁻¹) and *E. dunnii* (121.9 Mg ha⁻¹), with an average distribution to compartments 66% wood, 15% root, branch 9%, 7% bark and 4% leaf. The total stock of nutrients in biomass (macro and micro) was: *E. urograndis* - 1232 kg ha⁻¹ and 26 kg ha⁻¹; *E. grandis* - 1289 kg ha⁻¹ and 48 kg ha⁻¹; *E. dunnii* - 1213 kg ha⁻¹ and 61 kg ha⁻¹, respectively. The largest stock of N was found in leaves to *E. grandis* and *E. dunnii*, and stem to *E. urograndis*. With the harvesting of stem wood, 63% N, 70% P, 47% K, 91% Ca, 73% Mg, 34% B and 46% S, 41% Cu, 38% Fe, 87% Mn, 38% Zn, are returned to the soil by the other biomass components and provides the lowest nutrient removal system. Nutrient removal, on average, according to the scenario of harvest showed the following distribution trend: Wood Steam over Bark + Crown and the Steam over Bark Ca > K > N > Mg > S > P, only Wood Steam K > N > S > Ca > Mg > P, for micronutrients in all scenarios harvest Mn > Fe > Zn > B > Cu. These species showed the same magnitude of biomass allocation in different components (stem wood > root > branch > bark > leaf). *E. urograndis* had the highest wood production as well as efficiency in using nutrients. P was the element that provided better nutritional efficiency by species. K and S were the elements that presented the greatest risk of productivity limiting, based on the removal of nutrients in different scenarios of biomass harvesting, nutrient balance and potential number of rotations.

Key-words: Nutritional management, Forest soils, Forest nutrition.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica na região de Alegrete-RS... | 28 |
| Tabela 2 - Entrada de nutrientes via fertilização mineral nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa..... | 28 |
| Tabela 3 - Atributos físicos do solo nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa. | 31 |
| Tabela 4 - Atributos químicos do solo nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa..... | 32 |
| Tabela 5 - Estoque total de N e de nutrientes disponíveis no solo nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa..... | 32 |
| Tabela 6 - Características dendrométricas e densidade básica da madeira dos plantios com eucaliptos no Bioma Pampa | 33 |
| Tabela 7 - Produção total da biomassa por compartimento em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 35 |
| Tabela 8 - Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) na biomassa dos diferentes componentes em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 38 |
| Tabela 9 - Teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) na biomassa dos diferentes componentes em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 39 |
| Tabela 10 - Quantidade de macronutrientes na biomassa (kg ha^{-1}) por componente em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 40 |
| Tabela 11 - Quantidade de micronutrientes na biomassa (g ha^{-1}) por componente em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 41 |
| Tabela 12 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de macro e micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa..... | 44 |
| Tabela 13 - Estimativa da remoção de macro e micronutrientes em três cenários de colheita da biomassa em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 46 |
| Tabela 14 - Simulação dos custos de reposição nutricional nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 47 |
| Tabela 15 - Balanço nutricional e estimativa do número de rotações de produção, em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 51 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Evolução do crescimento das áreas plantadas com eucalipto e pinus no Brasil de 2006 a 2012..... | 10 |
| Figura 2- Localização das áreas de eucalipto no município de Alegrete – RS..... | 21 |
| Figura 3- Partição relativa da biomassa total em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa... | 36 |
| Figura 4- Partição relativa (%) de macronutrientes por componente da biomassa em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 42 |
| Figura 5- Partição relativa (%) de micronutrientes por componente da biomassa em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa | 43 |
| Figura 6- Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn e N total), para <i>Eucalyptus grandis</i> no Bioma Pampa..... | 48 |
| Figura 7- Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn e N total), para <i>Eucalyptus dunnii</i> no Bioma Pampa | 49 |
| Figura 8- Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn e N total), para <i>Eucalyptus urograndis</i> no Bioma Pampa | 50 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 2.1 O Bioma Pampa RS..... | 14 |
| 2.2 A cultura do eucalipto..... | 15 |
| 2.2.1 Considerações gerais..... | 15 |
| 2.2.2 Aspectos nutricionais..... | 16 |
| 2.2.3 Caracterização das espécies..... | 17 |
| 2.2.3.1 <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden..... | 17 |
| 2.2.3.2 <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden..... | 18 |
| 2.2.3.3 <i>Eucalyptus urograndis</i> | 18 |
| 2.3 Biomassa e nutrientes..... | 19 |
| 2.4 Implicações nutricionais..... | 20 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 21 |
| 3.1 Caracterização do sítio..... | 21 |
| 3.1.1 Clima..... | 22 |
| 3.1.2 Relevo e vegetação..... | 22 |
| 3.1.3 Solo..... | 22 |
| 3.1.4 Aspectos silviculturais..... | 23 |
| 3.2 Inventário das parcelas amostrais..... | 24 |
| 3.3 Determinação da biomassa e estoque de nutrientes..... | 24 |
| 3.4 Determinação da densidade básica da madeira..... | 25 |
| 3.5 Tratamento estatístico..... | 26 |
| 3.6 Estimativa do estoque de nutrientes disponíveis no solo..... | 26 |
| 3.7 Determinação do índice de área foliar (IAF)..... | 26 |
| 3.8 Remoção de nutrientes pela colheita..... | 27 |
| 3.9 Determinação do coeficiente de utilização biológica (CUB)..... | 28 |
| 3.10 Estimativa do número de rotações de produção (NRP)..... | 29 |
| 3.11 Estimativa do balanço nutricional..... | 29 |
| 3.12 Estimativa dos custos para reposição nutricional..... | 30 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 31 |
| 4.1 Solos e nutrientes..... | 31 |
| 4.2 Características dendrométricas e densidade básica da madeira..... | 33 |
| 4.3 Biomassa..... | 34 |
| 4.4 Nutrientes e biomassa..... | 37 |
| 4.5 Coeficiente de utilização biológica (CUB)..... | 44 |
| 4.6 Remoção de nutrientes de acordo com o cenário de colheita..... | 45 |
| 4.7 Implicações silviculturais e ecológicas..... | 48 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 54 |
| 6 RECOMENDAÇÕES..... | 55 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 56 |

1 INTRODUÇÃO

A silvicultura com espécies exóticas se encontra presente na maioria dos Biomas Brasileiros. Especialmente para o eucalipto, observa-se que as áreas plantadas em escala para atender a demanda das grandes indústrias de base florestal estão localizadas principalmente no bioma cerrado, nas regiões sudeste e centro-oeste do país.

No Bioma Pampa do RS, apesar dos registros históricos indicarem a presença do eucalipto desde 1835 (HASSE, 2006), as plantações comerciais no sudoeste do estado para fins industriais passaram a receber os maiores investimentos a partir de 2000, com projetos de produção de madeira para o segmento de celulose e papel.

Por ser o eucalipto uma espécie de rápido crescimento, e conseqüentemente com alta produção de biomassa e acúmulo de nutrientes, debates estão sempre sendo provocados para discutir os impactos e a sustentabilidade da cultura. Neste contexto vários pesquisadores tem estudado minuciosamente o comportamento da espécie no ambiente edáfico e suas demais interações.

Segundo Barros e Comerford (2002), os plantios de eucalipto têm sido realizados em diversos tipos de solos que apresentam teores disponíveis e totais de nutrientes numa faixa bastante ampla o que propicia uma variabilidade nos ganhos em produtividade.

Para Barros e Novais (1990), os maiores ganhos variam com a qualidade do sítio, com o aumento do número de rotações, com a exigência nutricional e com o potencial de crescimento do genótipo, dentre outros. Porém, para Schneider (1993), a densidade do povoamento, depois da capacidade produtiva do sítio, é o segundo fator em importância para a determinação da produtividade de um local, e, além disso, é o principal fator que o silvicultor pode manejar durante o desenvolvimento dos povoamentos florestais.

Desta forma, verifica-se a importância do estudo da eficiência nutricional do eucalipto dentro dos diversos sítios onde a espécie é cultivada, visando buscar a manutenção dos nutrientes no solo em níveis adequados a fim de que se possa: subsidiar o manejo nutricional, melhorar os incrementos de produtividade e principalmente proporcionar a sustentabilidade do ambiente de produção.

A hipótese do presente estudo foi: “A produção de biomassa e alocação de nutrientes, nos diversos componentes formadores da biomassa arbórea, não apresentam o mesmo comportamento de distribuição entre as espécies”.

O objetivo geral do estudo foi caracterizar nutricionalmente povoamentos de *E. grandis*, *E. dunnii* e híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*).

Os objetivos específicos foram:

- Estimar a biomassa dos componentes: folhas, galhos, casca do tronco, madeira do tronco e raiz;
- Estimar o estoque de nutrientes nos componentes das árvores;
- Estimar o estoque de nutrientes disponíveis no solo até 100 cm de profundidade;
- Avaliar a remoção de nutrientes em função de diferentes cenários de colheita da biomassa;
- Determinar o coeficiente de utilização biológica;
- Estabelecer o balanço nutricional, considerando a entrada de nutrientes via precipitação atmosférica + fertilização mineral, o estoque no solo e a remoção pela colheita da biomassa;
- Avaliar as implicações silviculturais e ecológicas decorrentes da remoção dos nutrientes em função dos diferentes cenários de colheita da biomassa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Bioma Pampa RS

Segundo Suertegaray e Silva (2009), Pampa significa: Região Plana, associada às extensas planícies cobertas de vegetação rasteira, características do extremo sul do território brasileiro.

Os campos do Pampa são ecossistemas naturais muito antigos, considerados testemunhos de um clima frio e seco, que já existiam antes mesmo da expansão florestal no Rio Grande do Sul (OVERBECK et al. 2007).

O bioma Pampa teve seu reconhecimento como bioma apenas a partir de 2004, quando foi desmembrado do bioma Mata Atlântica (CARVALHO et al., 2006). Ocupa uma superfície de 178.243 km², o que corresponde a 63% do território estadual e a 2,07% do território brasileiro (HASENACK et al., 2007).

De acordo com Boldrini et al. (2010), no bioma Pampa se encontram as maiores extensões de campo natural contínuo do país, sendo que estes campos constituem a matriz da vegetação do bioma (gramíneas), com fragmentos de florestas/capoeiras e matas de galeria ao longo dos rios e cursos d'água. De acordo com mesmo autor, levantamentos florísticos identificaram mais de 500 espécies de Poaceae, 600 de Asteraceae, 250 de Fabaceae entre outras famílias, e, que a grande diversidade observada está relacionada à variedade de solos procedentes da grande variabilidade geológica, topográfica, pluviométrica, térmica e de disponibilidade hídrica.

Marchiori (2002) descreve a região do estudo como Região da Savana Estépica que reveste terrenos areníticos e solos distróficos lixiviados e compreende as formações Gramíneo-lenhosa, Parque e Arbórea Aberta.

- A formação Gramíneo-lenhosa destaca-se pela tomentosidade e dá à paisagem um tom acinzentado.
- A formação Parque corresponde às áreas de relevo dissecado, como em divisores de água.
- A formação Arbórea Aberta ocupa área pequena e solos litólicos rasos, com árvores de origem chaquenha espaçadas sobre tapete gramíneo-lenhoso contínuo.

2.2 A cultura do eucalipto

2.2.1 Considerações gerais

O Brasil na última década, apresentou um crescimento significativo da sua base florestal, destacando-se os investimentos em projetos de expansão e inserção no mercado de novos *Players* na cadeia de celulose e papel, além da entrada de Fundos de Investimentos nacionais e estrangeiros como fornecedores de madeira para suprir o crescimento da demanda dos diversos segmentos industriais. Apesar da desaceleração do setor após a crise econômica de 2008, a área plantada no país continua em crescimento (Figura 1).

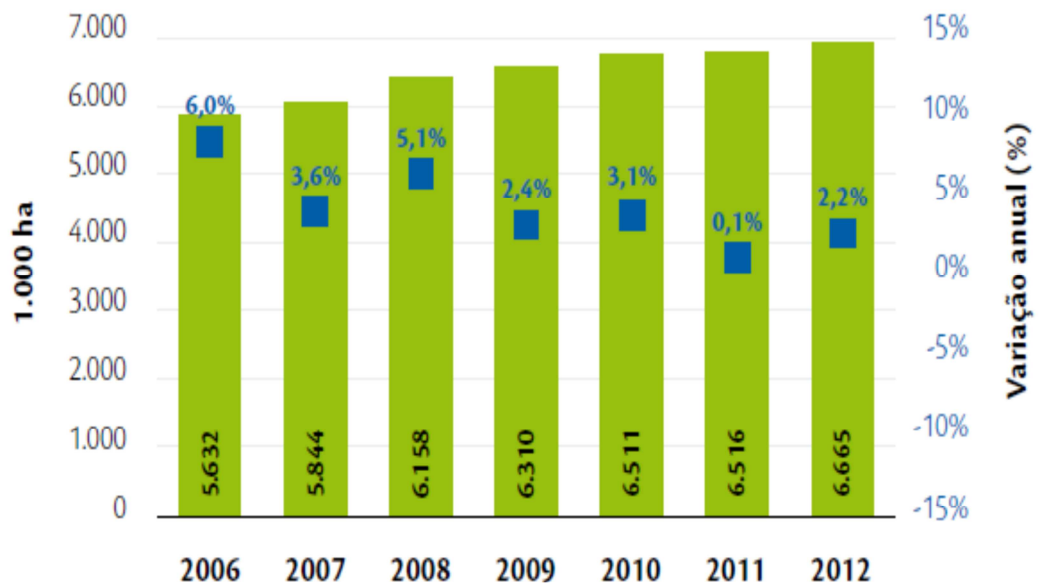


Figura 1 – Evolução do crescimento das áreas plantadas com eucalipto e pinus no Brasil de 2006 a 2012.

Fonte: ABRAF, (2013).

Segundo a ABRAF 2013, o Brasil contabilizou em 2012 uma área com plantações de 7,18 milhões de hectares, onde, 5,10 milhões correspondem às áreas cultivadas com eucalipto, 1,56 milhões às áreas cultivadas com pinus e 520 mil hectares cultivados com espécies não convencionais (acácia-negra, pópulus, teca, seringueira e paricá).

Para o estado do Rio Grande do Sul a área cultivada em 2012 foi de 284,71 mil hectares com eucalipto e 164,83 mil hectares com pinus totalizando 449,54 mil hectares, colocando o estado como o sétimo maior produtor de madeira oriundo de plantações no país (ABRAF, 2013).

Das diversas espécies florestais plantadas no Brasil o eucalipto ocupa lugar de destaque, por ser uma das principais fontes de matéria prima para o segmento industrial do setor (ALZATE et al., 2005).

O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) ocorre naturalmente em sua maioria na Austrália, e em menor quantidade na Indonésia e ilhas próximas, pertence à família das Myrtaceas, com mais de 700 espécies, sendo que 20 destas são largamente cultivadas fora do local de origem (GONZALEZ et al., 2011), apresenta uma ampla plasticidade e cresce satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas (VITTI, 2002).

Em 1903, Navarro de Andrade iniciou os primeiros plantios em escala comercial no Brasil, com o objetivo de suprir a demanda por madeira pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, para a produção de energia para as locomotivas a vapor e dormentes para trilhos. Concomitantemente iniciaram-se os estudos de melhoramento genético (MARTINI, 2004).

Devido às condições ambientais favoráveis e à evolução nas técnicas de silvicultura, manejo e melhoramento genético, as plantações brasileiras com eucalipto estão entre as mais produtivas do mundo, e mais condizentes às qualidades necessárias para os diferentes usos industriais da madeira (TONINI, 2003).

De acordo com Reis et al. (1989), muitas espécies de eucalipto crescem relativamente bem em solos de baixa fertilidade natural. Isso intensifica o seu uso em novos investimentos florestais, em locais antes sem tradição silvicultural para essas espécies.

Entre os diversos benefícios propiciados pelo uso da madeira manejada em plantações, com o eucalipto, destacam-se a redução do uso comercial e a preservação de grandes áreas de florestas nativas em nível mundial (RINGROSE & NEILSEN, 2005; VIERA, 2010).

2.2.2 Aspectos nutricionais

No Brasil, os solos utilizados para a cultura de eucalipto geralmente apresentam valores de pH inferiores a 5,5, saturações de Al de até 90 %, baixos teores de matéria orgânica e teores limitantes de P, N e Ca (VALE, 2004).

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam tolerância a altas concentrações de alumínio na solução do solo, à baixa fertilidade natural e a níveis de cálcio e magnésio inferiores aos estabelecidos como críticos para a maioria das culturas (BARROS & NOVAIS, 1990).

Os mecanismos de tolerância ao Al são vários, podendo ser fisiológicos (POSCHENRIEDER et al., 2008; SILVA et al., 2004) e/ou indiretos, pela complexação do Al pela fração orgânica presente (VIEIRA et al., 2008). O Ca, por exemplo, encontra-se, frequentemente, em concentrações baixas e insuficientes para atender a demanda das plantações (RITCHEY et al., 1982).

A tolerância a esta condição possivelmente pode estar ligada à baixa exigência nutricional, à eficiência de utilização de nutrientes dessas plantas (REIS et al., 1989) e ao profuso sistema radicular (GONÇALVES, 2011). Laclau et al. (2010), em um estudo com *Eucalyptus* no Congo, observou absorção pelas raízes abaixo de 5 m, em outro estudo realizado no Brasil, Christina et al. (2011), verificou absorção abaixo de 8 m. Desta forma as perdas por lixiviação são pequenas e a capacidade de reciclar nutrientes é grande, com importantes implicações para o balanço de nutrientes do ecossistema (GONÇALVES; MELLO, 2004).

2.2.3 Caracterização das espécies

2.2.3.1 *Eucalyptus dunnii* Maiden

Eucalyptus dunnii, ocorre naturalmente em uma restrita região no nordeste de New South Wales e sudeste de Queensland na Austrália.

O clima é quente e úmido, com média das temperaturas máximas compreendida entre 27 a 30 °C, e a média das mínimas entre 0 a 3 °C. A precipitação pluviométrica média anual varia de 845 a 1950 mm, com chuvas concentradas no verão, mas há meses com precipitação inferior a 40 mm (FERREIRA, 1979; JOVANOVIC; ARNOLD; BOOTH, 2000).

Eucalyptus dunnii apresenta boa tolerância ao frio, sendo o seu plantio indicado em regiões com temperaturas mínimas absolutas de até -5 °C, sob condições de aclimação

prévia por gradual redução de temperatura na estação fria, suportando até 22 geadas anuais (JOVANOVIC; BOOTH, 2002; PALUDZYSZYN FILHO et al.; 2006).

Eucalyptus dunnii é encontrado principalmente no fundo de vales e baixas altitudes (300 m), mas também ocorre nos cumes originados de basalto (700 m), e em solos derivados de rochas sedimentares e piçarra. Pode atingir 50 m de altura, com diâmetro a altura do peito (DAP) entre 1 e 1,5 m (ocasionalmente 2,5 m), com fuste limpo de 30 a 35 m e densidade básica da madeira de 0,48 g cm⁻³ para plantações com 8 anos de idade e de até 0,80 g cm⁻³ para plantações mais antigas (FERREIRA, 1979; HIGA, 1998).

2.2.3.2 *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Eucalyptus grandis ocorre naturalmente em 3 populações distintas, sendo a maior e principal área ao redor de Newcastle (NSW) e em direção ao norte ao redor de Bundaberg (QLD) na Austrália.

O clima é quente e úmido, com temperatura máxima entre 24 e 30 °C; e a mínima entre 3 e 8 °C. A precipitação pluviométrica está entre 1000 e 3500 mm nas áreas costeiras e de 1000 a 1750 mm nas áreas centrais, ambas com predomínio no verão (FERREIRA, 1979; BOLAND et al., 1984).

Eucalyptus grandis é encontrado em altitudes que variam desde o nível do mar até 600 m, na maioria das populações e de 500 a 1100 m nas áreas do Norte, em solos de baixadas, provavelmente mais férteis, profundos e drenados (TURNER e KELLY, 1981). Pode atingir altura entre 45 e 55 m e DAP entre 1,2 a 2 m, podendo atingir até 75 m de altura e 3 m de DAP. Geralmente o fuste é liso nos 2/3 superiores do tronco e a densidade básica da madeira é semelhante ao *Eucalyptus dunnii* (FERREIRA, 1979).

2.2.3.3 *Eucalyptus urograndis*

Eucalyptus urograndis híbrido de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, foi desenvolvido no Brasil, com a primeira plantação estabelecida no

Espírito Santo em 1979, mas foi na década de 1990 que houve um impulso nas áreas plantadas em escala comercial (LOPES, 2008).

Eucalyptus urograndis destaca-se pelo bom crescimento proporcionado pelo *Eucalyptus grandis*, discreto aumento da densidade básica da madeira (melhor rendimento em celulose) e maior resistência ao déficit hídrico proporcionado pelo *Eucalyptus urophylla* (GOUVEA et al., 1997; CARVALHO, 2000). Neste mesmo contexto, Montanari et al. (2007), descrevem que *Eucalyptus urograndis* apresenta boa adaptação a diferentes sítios florestais, com bons índices de produtividade, além de melhores características da madeira para diversos fins industriais.

2.3 Biomassa e Nutrientes

A demanda de nutrientes das árvores é, em grande parte, garantida pelas ciclagens biogeoquímica e bioquímica (GONÇALVES; MELLO, 2004), sendo que o retorno de nutrientes via deposição de serapilheira representa a via mais importante do ciclo biogeoquímico, principalmente em áreas com solo altamente intemperizado, onde a biomassa representa o maior estoque de nutrientes (REIS et al., 1989).

As espécies florestais, por possuírem sistema radicular bastante desenvolvido e vigoroso, exploram maior volume de solo em profundidade transferindo desta forma grande quantidade de nutrientes absorvidos das camadas inferiores do solo para as superiores, por meio do processo de ciclagem de nutrientes (GONÇALVES, 2011).

Através da análise da dinâmica dos processos da ciclagem, podem-se obter informações sobre a distribuição de nutrientes no ecossistema, que permitirão inferir sobre os fluxos entre os diferentes compartimentos da floresta (SCHUMACHER et al., 2003; VITAL et al., 2004; VIERA; SCHUMACHER, 2010). Como compartimentos da floresta podem ser considerados: a biomassa aérea das árvores, a serapilheira, a biomassa das raízes, o solo, dentre outros. (POGGIANI & SCHUMACHER, 2004).

As entradas de nutrientes podem ocorrer através das deposições atmosféricas, (via seca e via úmida), intemperismo geológico, fixação biológica de nitrogênio e fertilização, enquanto que as saídas podem ocorrer pela volatilização (queimadas) ou pela desnitrificação, lixiviação e erosão hídrica, e também pela colheita da biomassa, sendo esta a mais importante via de exportação em povoamentos florestais (PRITCHETT, 1990; LANDSBERG, 1986).

A produção de biomassa pode variar intensamente conforme a disponibilidade de recursos do sítio florestal (água e nutrientes), que influenciam na fotossíntese, na compartimentalização do carbono, na produção de folhas, respiração, entre outros (RYAN et al., 2010).

A distribuição da biomassa nos diferentes compartimentos da planta geralmente segue a seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas (SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001; CALDEIRA et al., 2007).

2.4 Implicações nutricionais

Água e nutrientes são os recursos do ambiente físico, que mais determinam a produtividade das plantações com eucalipto, nas condições de solo e clima predominantes em regiões tropicais (BARROS & COMERFORD, 2002), entretanto, para a manutenção de elevadas taxas de crescimento se requer adequada suplementação nutricional, mesmo em condições de disponibilidade hídrica elevada (SILVA, 2006).

O manejo nutricional de um povoamento florestal requer a quantificação dos vários fluxos de nutrientes no ecossistema. Em florestas plantadas, a quantidade de nutrientes existentes no solo e a exportada durante a colheita florestal são de grande importância na definição do balanço de nutrientes e na eventual necessidade de aplicação de fertilizantes (MELO et al., 1995).

O conhecimento da distribuição da biomassa e de nutrientes nos diferentes compartimentos de uma árvore é de grande relevância para a determinação da idade ideal de corte e do componente a ser colhido, de forma a diminuir a remoção de nutrientes e, por sua vez, minimizar os impactos no sítio (REIS; BARROS, 1990; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001). Porém, a manutenção da capacidade produtiva de um sítio, só poderá ser mantida em longo prazo, quando a utilização da biomassa e as perdas pela erosão forem repostas de forma eficiente (SCHUMACHER, 1996).

Além destes fatores, o coeficiente de utilização biológica (CUB), que por definição, é descrito como à taxa de conversão de nutrientes em biomassa, ambos com a mesma unidade (BARROS et al., 1986), apresenta-se como um importante indicador para seleção de genótipos a serem utilizados em plantios com eucalipto nos diferentes ambientes edáficos (SILVA et al., 1983).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do sítio

O presente estudo foi realizado em duas áreas plantadas com três materiais genéticos sendo: uma área com híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*), localizado na Fazenda Cabanha da Prata e uma área com mudas seminais de *Eucalyptus dunnii* e com *Eucalyptus grandis*, localizados na Fazenda Chica Barbosa, ambas localizadas no município de Alegrete - RS (Figura 2).

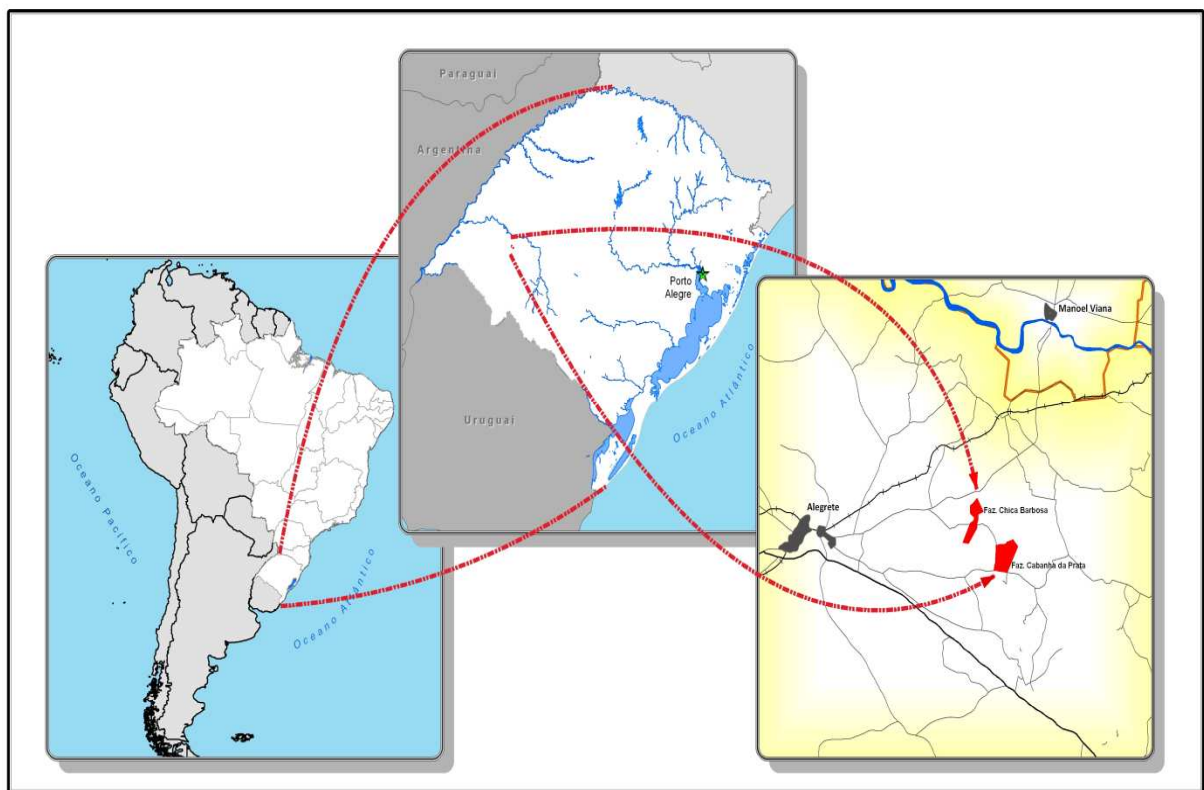


Figura 2 – Localização das áreas de eucalipto no município de Alegrete – RS.

Fonte: StoraEnso Florestal RS, (2013).

As áreas pertencem à StoraEnso Florestal – RS, com coordenadas geográficas centrais de 55° 32' 53" de longitude oeste e 29° 47' 60" de latitude sul (Cabanha da Prata) e 55° 34' 38" de longitude oeste e 29° 46' 43" de latitude sul (Chica Barbosa).

3.1.1 Clima

O clima da região de acordo com a classificação apresentada por Maluf (2000) é considerado subtemperado úmido, com geadas de maio a agosto, e calor intenso, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, sendo a temperatura média do mês mais quente maior que 22 °C e temperatura média anual menor que 18 °C em que os verões podem apresentar período de seca. A precipitação é normalmente bem distribuída durante todo ano, com índices pluviométricos variando de 1.250 a 1.500 mm, sem estação seca definida, com ventos dominantes de Sudoeste, no inverno e Nordeste, na primavera.

3.1.2 Relevo e vegetação

A região caracteriza-se geologicamente por derrames basálticos, afloramentos areníticos e grandes aluviões nas planícies fluviais. O relevo é suave, com altitudes geralmente entre 60 a 120 metros, ultrapassando 300 metros em coxilhas (IFCRS, 2002).

Na vegetação predomina a formação de campo, às vezes formando vassourais. Ao longo dos cursos de água ha matas de galerias pobres às vezes, de aspecto arbustivo; matas latifoliadas ao longo dos grandes rios e nos pés dos tabuleiros e esporadicamente capões no meio dos campos (IFCRS, 2002).

3.1.3 Solo

O solo da área do estudo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo Pessotti (2006), esta classe envolve solos profundos, bem drenados, de textura areia franca ou franco arenosa em superfície, seguidos de textura franco argilo arenosa nos horizontes mais profundos. De acordo com o mesmo autor, quimicamente são solos com valores médios a altos de bases trocáveis segundo as exigências nutricionais do eucalipto, sujeitos a lixiviação de nutrientes móveis como N e K, e, apresenta moderada

retrogradação de fósforo solúvel. De acordo com Streck et al., (2008) o solo apresenta baixa fertilidade natural.

3.1.4 Aspectos silviculturais

Para a implantação dos povoamentos, realizaram-se, após as etapas de planejamento e licenciamento ambiental, as operações de marcação de estradas e áreas de preservação permanente (APPs).

Foram realizados três controles de formigas, sendo o primeiro sistemático, 60 dias antes do plantio, onde foram distribuídos 4 kg ha^{-1} de isca formicida granulada. O segundo controle, também sistemático, foi realizado 15 dias antes do plantio com a distribuição de 2 kg ha^{-1} de isca formicida e o terceiro controle foi realizado, de forma localizada (mudas cortadas) 10 dias após o plantio, antes da operação de replantio.

Foi realizada uma limpeza química mecanizada da área 15 dias antes do preparo do solo, utilizaram-se 2 kg ha^{-1} de herbicida Scout NA (glifosato). A subsolagem foi realizada 30 dias antes do plantio, utilizando subsolador com três hastes, incorporando 300 kg ha^{-1} de fosfato natural reativo (GAFSA, 12% P_2O_5 solúvel em ácido cítrico) no centro e a 40 cm de profundidade, seguido de gradagem leve.

Os plantios foram realizados manualmente, em setembro de 2007, com densidade inicial de $1142 \text{ plantas ha}^{-1}$ ($3,5 \times 2,5 \text{ m}$), para *E. urograndis*, na fazenda Cabanha da Prata e com densidade inicial de $1428 \text{ plantas ha}^{-1}$ ($3,5 \times 2,0 \text{ m}$), para *E. dunni* e *E. grandis* na fazenda Chica Barbosa. Não houve irrigação. O replantio foi realizado 15 dias após o plantio.

Foram realizadas três fertilizações pós-plantio, sendo a primeira 15 dias após o plantio, utilizando a fórmula N- P_2O_5 - K_2O de 06-30-06 + 0,6% B, $110 \text{ g planta}^{-1}$ dividida em duas subdoses de 55 g incorporadas a 15 cm de cada lado da muda. A segunda adubação foi realizada aos 90 dias pós-plantio, utilizando a fórmula 20-05-20 + 0,2% B + 0,4% Zn, $122 \text{ g planta}^{-1}$ aplicada manualmente na projeção da copa. A terceira, aos 270 dias, utilizando a fórmula 22-00-18 + 1% S + 0,3% B, $122 \text{ g planta}^{-1}$ aplicada mecanicamente na entrelinha. Em nenhum momento foi realizada a calagem

Na manutenção dos povoamentos foram realizadas duas capinas químicas manuais na linha, sendo a primeira aos 90 e a segunda aos 180 dias, após o plantio, utilizando $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$

de herbicida Scout em cada uma das aplicações. Realizou-se também uma capina química mecanizada na entre linha aos 160 dias, utilizando 2 kg ha⁻¹ de herbicida Scout.

Após o primeiro ano de plantio as operações concentraram-se, na proteção florestal/prevenção a incêndios (gradagem e roçada de aceiros), manutenção de estradas e ao controle anual de formigas.

3.2 Inventário das parcelas amostrais

Os dados deste estudo foram coletados quando os povoamentos se encontravam com quatro anos e seis meses de idade. Inicialmente realizou-se inventário em uma área de 10 hectares, para cada material genético avaliado, com o objetivo de caracterizar o povoamento quanto às variáveis dendrométricas: diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total. Foram demarcadas três parcelas de 35 m x 10 m, distribuídas aleatoriamente entre as três áreas demarcadas, totalizando nove parcelas, onde foram medidos todos os diâmetros, com fita diamétrica e todas as alturas, com hipsômetro Vertex.

3.3 Determinação da biomassa e estoque de nutrientes

Para a determinação da biomassa acima do solo, foram selecionadas três árvores por parcela do inventário, totalizando nove árvores por espécie e 27 no total, sendo escolhidas pelo DAP médio - desvio padrão, DAP médio e DAP médio + desvio padrão.

As árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo e fracionadas nos seguintes componentes: folha, galho (verde e seco), casca do tronco, madeira do tronco e raiz.

A biomassa total de cada componente foi determinada através da pesagem com balança de gancho, com precisão de 50g. Cada árvore amostrada foi cubada de acordo com a metodologia descrita por Smalian (FINGER, 1992), com avaliação do diâmetro com e sem casca, nas seguintes posições: 0,1; 0,3; 1,3; 2,3; 3,3; e assim, sucessivamente, a intervalos de 1 metro, até o ápice da árvore.

Coletaram-se amostras (150 g cada) dos diferentes componentes, sendo uma amostra por árvore (de forma aleatória) dos componentes folha e galho (galhos finos e grossos, vivos e

mortos localizados em toda a copa). Para madeira e casca foram coletadas três amostras por árvore distribuídas ao longo do fuste comercial com diâmetro mínimo aproveitável de 8 cm, nas posições medianas das secções resultantes da divisão em três partes iguais do mesmo.

Para a biomassa das raízes foram selecionadas três árvores dentre as nove utilizadas para a biomassa acima do solo em cada unidade amostral, sendo elas escolhidas pelo DAP médio - desvio padrão, DAP médio e DAP médio + desvio padrão.

O sistema radicular (toco e raízes grossas) foi extraído por retroescavadeira e escavação manual (pás e enxadas), na área útil (conforme espaçamento dos plantios) das árvores selecionadas, até a profundidade de 1m. O solo foi espalhado sobre lona plástica, da qual foram retiradas manualmente as raízes grossas (maior que 3 mm) e o toco, os quais foram pesados na sua totalidade e extraída uma amostra de 150 g.

Todas as amostras foram pesadas no campo com balança de precisão, devidamente embaladas, identificadas e posteriormente levadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais/UFSM, onde foram realizadas as análises químicas e físicas segundo a metodologia sugerida por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

A estimativa da biomassa por hectare foi determinada através da extrapolação com base na biomassa seca de cada componente por unidade amostral.

A massa de cada nutriente nos componentes das árvores (casca, madeira, folha, galho e raiz), foi obtida através do produto entre a biomassa e as concentrações de nutrientes em cada um dos referidos componentes.

A estimativa do estoque de nutrientes na biomassa por hectare foi realizada pela extrapolação do estoque médio de nutrientes por compartimento com base na área da unidade amostral.

3.4 Determinação da densidade básica da madeira

Foram coletadas amostras de 150 g, nos mesmos pontos onde se coletaram as amostras para se determinar a biomassa da madeira do tronco. As amostras foram pesadas com balança digital de precisão (0,01g), identificadas e devidamente embaladas. Posteriormente foram levadas ao Laboratório de Ecologia Florestal, onde a análise para se determinar a densidade básica da madeira foi realizada, conforme a metodologia do máximo teor de umidade proposta por Smith (1954).

3.5 Tratamento estatístico

As análises estatísticas foram realizadas com o pacote SAS (2003), através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, considerando-se um delineamento Inteiramente Casualizado, onde cada árvore analisada correspondia a uma repetição para cada componente da biomassa.

3.6 Estimativa do estoque de nutrientes disponíveis no solo

Para estimar o estoque de nutrientes no solo até 100 cm de profundidade e para a análise física, foram coletadas amostras nas trincheiras onde foram coletadas as raízes, nas camadas de 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 100 cm.

Durante a coleta de solo para a análise química, também foram coletados, nos mesmos pontos amostrais, anéis volumétricos para avaliação da densidade do solo de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (1997).

As análises químicas e a determinação da densidade foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal, segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

A estimativa do estoque de nutrientes no solo, nas camadas de 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 100 cm de profundidade no solo foi realizada através do produto entre a massa do solo, a concentração de nutrientes e a densidade de solo obtida no ponto médio de cada camada.

No caso do nitrogênio, como a maioria do N total está contida em formas pouco ou não disponíveis (frações húmicas muito estáveis), para efeito de cálculo, foi considerado apenas 10% como disponível para as plantas (GONÇALVES; MENDES; SASAKI, 2001).

3.7 Determinação do índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF) foi determinado a partir da área foliar específica (AFE), obtida através da coleta de folhas (100 g) na ocasião da determinação da biomassa.

As folhas foram pesadas a campo, levadas ao laboratório onde foram fotografadas com auxílio de câmera fotográfica digital e, após, foram processadas no *software* UTHSCSA, Image tool for windons version 3.0 (2002) para a obtenção da área foliar.

Após a determinação das imagens digitais, as folhas foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C e, após foram pesadas em balança com leitura de precisão 0,01 g.

Com a área foliar e o peso úmido das amostras, determinou-se a área foliar específica (razão entre área foliar (m²) pelo peso úmido da amostra (kg)).

O índice de área foliar foi calculado através da equação:

$$IAF = (\sum PUFPP * AFE) / AP$$

Onde:

IAF: índice de área foliar, m². m⁻²

$\sum PUFPP$ = peso úmido total de folhas da parcela, kg;

AFE= área foliar específica, kg m⁻²;

AP= Área da parcela, m².

3.8 Remoção de nutrientes pela colheita

A estimativa da remoção dos nutrientes foi calculada considerando os estoques acumulados na biomassa (item 3.3), com quatro anos e seis meses de idade, e as saídas sob três cenários de colheita: madeira do tronco com casca + copa, madeira do tronco com casca e madeira do tronco, com o aproveitamento de todo o fuste, sem descarte do ponteiro.

A determinação da entrada de nutrientes via precipitação atmosférica baseou-se nas informações obtidas por Corrêa (2011), em estudo da dinâmica nutricional com *Eucalyptus dunnii*, na região onde foi realizado este estudo no município de Alegrete – RS (Tabela 1).

Tabela 1 – Entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica na região de Alegrete – RS.

| N | P | K | Ca | Mg | S |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹) | | | | | |
| 5,4 | 0,6 | 8,3 | 5,7 | 2,1 | 2,7 |

Fonte: Corrêa (2011)

A determinação da entrada de nutrientes via fertilização mineral foi obtida pela quantificação dos nutrientes baseado nas formulações e concentrações destes nas respectivas adubações realizadas na implantação e manutenção das plantações com o eucalipto na área deste estudo (Tabela 2).

Tabela 2 – Entrada de nutrientes via fertilização mineral nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Adubação | N | P | K | S | B | Zn |
|---------------------|---------------------|----|----|---|-----|-----|
| | kg ha ⁻¹ | | | | | |
| Preparo de solo | - | 36 | - | - | - | - |
| Adubação de Plantio | 8 | 38 | 8 | - | 0,3 | - |
| Cobertura 1 | 28 | 7 | 28 | - | 0,1 | - |
| Cobertura 2 | 31 | - | 25 | 1 | 0,2 | 0,3 |
| Total | 67 | 81 | 61 | 1 | 0,6 | 0,3 |

Fonte: StoraEnso RS (2012)

3.9 Determinação do coeficiente de utilização biológica (CUB)

O coeficiente de utilização biológica foi obtido pela relação entre a quantidade de biomassa de cada componente e os nutrientes nesta distribuídos, ambos com a mesma unidade.

$$CUB = \frac{\text{Massa do componente da biomassa}}{\text{Quantidade de nutriente por componente}}$$

3.10 Estimativa do número de rotações de produção (NRP)

A estimativa do número de rotações de produção (NRP) de quatro anos e seis meses, para os materiais genéticos estudados, necessárias para esgotar o estoque de nutrientes do sistema, de acordo com diferentes cenários de colheita da biomassa, considerou os nutrientes no solo até a profundidade de 100 cm (nutrientes disponíveis ou trocáveis); os nutrientes na biomassa arbórea; e as entradas via precipitação atmosférica + as entradas via fertilização mineral; de acordo com a metodologia utilizada por Bizon (2005). Para o cálculo não foram considerados os nutrientes estocados na serapilheira.

$$NRP = \frac{\text{Estoque no solo} + \text{estoque na biomassa}}{\text{Saída pela colheita} - (\text{entrada via precipitação} + \text{entrada via fertilização mineral})}$$

Onde:

- NRP = número de rotações de produção em ciclos de quatro anos e seis meses;
- estoque no solo = nutrientes disponíveis ou trocáveis, até 100 cm de profundidade, em kg ha⁻¹;
- estoque na biomassa = nutrientes contidos na biomassa arbórea, em kg ha⁻¹;
- saída pela colheita = nutrientes removidos pela colheita, em kg ha⁻¹;
- entrada via precipitação = entrada de nutrientes via precipitação atmosférica, em kg ha⁻¹ (acumulada nos quatro anos e seis meses);
- entrada via fertilização mineral = entrada de nutrientes via fertilização mineral, em kg ha⁻¹ (acumulada de todas as adubações realizadas nas plantações);

3.11 Estimativa do balanço nutricional

A estimativa do balanço nutricional foi obtida pela diferença entre a entrada de nutrientes via deposição atmosférica (úmida e seca) + entrada de nutrientes via fertilização mineral, os estoques disponíveis no solo e a saída, em decorrência da remoção dos nutrientes

através da colheita da biomassa. Quando as entradas de nutrientes no sistema + os estoques no solo forem maiores que a saída pela colheita da biomassa (balanço nutricional positivo), o NRP será negativo, indicando uma condição de sustentabilidade (*i*).

3.12 Estimativa dos custos para reposição nutricional

Para a estimativa dos custos da reposição nutricional, foram consideradas as reposições baseadas nas remoções dos nutrientes (média entre as espécies), nos três cenários de colheita avaliados. Foram utilizadas as mesmas formulações das adubações aplicadas na implantação e manutenção dos povoamentos deste estudo (item 3.1.4), para se determinar as quantidades totais dos fertilizantes. O valor do fertilizante de referência foi obtido pelo preço médio praticado pelos fornecedores da StoraEnso RS, convertido de R\$ para US\$, totalizando US\$ 340,00 (tonelada). Os custos da operação (mão de obra e equipamentos), não foram considerados nos cálculos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Solos e nutrientes

As áreas experimentais apresentam textura Franca a Franco-arenosa (Tabela 3). Para solos com teores de argila entre 20 e 55 %, os valores da densidade aparente encontrados, são considerados adequados para culturas comerciais (REINERT & REICHERT, 2001).

Tabela 3 – Atributos físicos do solo nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Prof (cm) | Densidade g cm ³ | Distribuição das Partículas % | | | |
|----------------------|--------------|--------------------------------|-------------------------------|------------|-------|--------|
| | | | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila |
| <i>E. grandis</i> | 0-20 | 1,55 | 30 | 19 | 34 | 17 |
| | 20-40 | 1,52 | 29 | 24 | 25 | 22 |
| | 40-100 | 1,49 | 32 | 12 | 27 | 29 |
| <i>E. dunnii</i> | 0-20 | 1,50 | 30 | 25 | 26 | 19 |
| | 20-40 | 1,54 | 37 | 16 | 28 | 19 |
| | 40-100 | 1,50 | 24 | 15 | 27 | 33 |
| <i>E. urograndis</i> | 0-20 | 1,52 | 29 | 11 | 37 | 24 |
| | 20-40 | 1,50 | 24 | 11 | 35 | 29 |
| | 40-100 | 1,32 | 19 | 11 | 32 | 38 |

De acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), o solo apresenta classe textural 3 (teor de argila 21 – 40%); o teor de matéria orgânica é considerado baixo ($\leq 2,5$); o pH em água é considerado muito baixo ($\leq 5,0$); o teor de Ca trocável é considerado baixo ($< 2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); o teor de Mg trocável é considerado médio ($0,6 - 1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); o teor de S é considerado alto ($> 5 \text{ mg dm}^{-3}$); o teor de P disponível é considerado muito baixo ($\leq 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$); o teor de K trocável é considerado de médio a alto ($30 - 90 \text{ mg dm}^{-3}$); o teor de B, Cu e Zn é considerado alto ($> 0,3 > 0,4$ e $> 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ respectivamente), a saturação por Al é muito alta ($> 40\%$) e a saturação por bases é muito baixa ($< 45\%$) (Tabela 4).

Tabela 4 – Atributos químicos do solo nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Prof | MO | pH | CTC _{efet.} | Ca | Mg | P | K | S | B | Cu | Zn | V | m |
|----------------------|--------|-------|--------------------|------------------------------------|---------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| | (cm) | % | (H ₂ O) | cmol _c dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | % |
| <i>E. grandis</i> | 0-20 | 1,6a | 4,3 a | 3,4b | 1,0a | 0,6a | 5,7b | 73,3a | 6,9ab | 0,4ab | 2,2b | 2,7a | 12,5a | 46,6ab |
| | 20-40 | 1,1b | 4,2 a | 4,8a | 0,7a | 0,5a | 1,5b | 56,3a | 7,3a | 0,2a | 3,3b | 0,7a | 6,4a | 71,4a |
| | 40-100 | 1,1a | 4,3 a | 4,5a | 1,6b | 0,9a | 1,0a | 62,0a | 4,7a | 0,2a | 3,3b | 0,9a | 11,3a | 41,4ab |
| <i>E. dunnii</i> | 0-20 | 1,4a | 4,4 a | 3,4b | 0,9a | 1,0a | 2,3c | 38,7b | 5,3b | 0,3b | 5,0a | 3,2a | 15,0a | 41,4b |
| | 20-40 | 1,3ab | 4,4 a | 4,8a | 1,6a | 0,7a | 0,8b | 20,7b | 6,3a | 0,2a | 7,0a | 1,5a | 10,6a | 52,2a |
| | 40-100 | 1,1a | 4,6 a | 5,5a | 2,8a | 0,9a | 0,6a | 12,7b | 6,0a | 0,3a | 7,0a | 1,0a | 20,0a | 32,7b |
| <i>E. urograndis</i> | 0-20 | 1,8a | 4,3 a | 4,3a | 1,0a | 0,6a | 9,1a | 44,0b | 8,0a | 0,6a | 1,3b | 1,2b | 8,6a | 60,4a |
| | 20-40 | 1,4a | 4,5 a | 4,7a | 1,1a | 0,7a | 2,2a | 17,3b | 5,5a | 0,3a | 1,3b | 0,6a | 8,8a | 60,3a |
| | 40-100 | 1,3a | 4,6 a | 5,4a | 1,5b | 0,9a | 0,9a | 12,3b | 5,9a | 0,3a | 1,2b | 0,2b | 10,6a | 54,4a |

Letras iguais na vertical, não diferem estatisticamente entre as espécies nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-100 cm, respectivamente, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

O estoque total de N até um metro de profundidade é superior a 9 Mg ha⁻¹ (Tabela 5). Para os nutrientes disponíveis, os maiores estoques foram encontrados para o Ca, seguido pelo Mg, K, S, P, Cu, Zn e B. Destaca-se também, o menor estoque de P para *E. dunnii* 10,7 kg ha⁻¹ comparado ao *E. grandis* 25,2 kg ha⁻¹ e ao *E. urograndis* 35,9 kg ha⁻¹.

Tabela 5 – Estoque total de N e de nutrientes disponíveis no solo nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Profundidade | N | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Zn |
|----------------------|--------------|------------------------|------|-------|--------|-------|------|-----|------|------|
| | (cm) | (kg ha ⁻¹) | | | | | | | | |
| <i>E. grandis</i> | 0-20 | 2419,0 | 17,8 | 227,7 | 636,8 | 240,0 | 21,5 | 1,3 | 6,9 | 8,3 |
| | 20-40 | 1681,1 | 4,5 | 171,2 | 425,2 | 186,5 | 22,1 | 0,7 | 10,0 | 2,0 |
| | 40-100 | 5058,5 | 3,0 | 186,2 | 953,1 | 321,9 | 14,1 | 0,7 | 9,9 | 2,6 |
| Total | | 9158,6 | 25,2 | 585,2 | 2015,2 | 748,4 | 57,7 | 2,7 | 26,9 | 13,0 |
| <i>E. dunnii</i> | 0-20 | 2106,8 | 6,6 | 112,2 | 525,4 | 352,7 | 15,4 | 0,7 | 14,8 | 9,4 |
| | 20-40 | 1985,0 | 2,3 | 62,9 | 972,0 | 259,2 | 19,1 | 0,6 | 21,5 | 4,4 |
| | 40-100 | 5153,4 | 1,8 | 38,0 | 1663,0 | 339,7 | 18,1 | 1,0 | 20,9 | 3,0 |
| Total | | 9245,2 | 10,7 | 213,0 | 3160,5 | 951,6 | 52,6 | 2,4 | 57,1 | 16,8 |
| <i>E. urograndis</i> | 0-20 | 2673,0 | 27,1 | 131,6 | 621,5 | 206,4 | 24,0 | 1,9 | 4,0 | 3,5 |
| | 20-40 | 2141,9 | 6,5 | 51,4 | 677,6 | 253,8 | 16,2 | 1,0 | 3,9 | 1,7 |
| | 40-100 | 5217,6 | 2,3 | 32,3 | 801,9 | 280,9 | 15,5 | 0,9 | 3,2 | 0,6 |
| Total | | 10032,4 | 35,9 | 215,3 | 2101,0 | 741,1 | 55,7 | 3,7 | 11,1 | 5,7 |

4.2 Características dendrométricas e densidade básica da madeira

O maior incremento médio anual (IMA) foi verificado para *E. urograndis*, sendo 16 e 51% maior em relação ao *E. grandis* e *E. dunnii*, respectivamente (Tabela 6). Este comportamento, possivelmente pode estar associado ao melhoramento genético do híbrido urograndis, a uma maior eficiência do uso de nutrientes e a origem seminal das plantas das demais espécies.

Observa-se uma diferença expressiva de IMA entre *E. urograndis* e *E. dunnii* neste sítio, porém esta diferença é menor em outros solos cultivados com *E. dunnii* pela empresa StoraEnso no RS, onde verificou-se, IMA de até 45 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, de acordo com os dados do inventário registrados para esta espécie (STORAENSO RS, 2012).

Tabela 6 – Características dendrométricas e densidade básica da madeira dos plantios com eucaliptos no Bioma Pampa.

| Variável | <i>E. grandis</i> | | | <i>E. dunnii</i> | | | <i>E. urograndis</i> | | |
|--|-------------------|----------|------|------------------|----------|------|----------------------|----------|------|
| | Média | σ | CV | Média | σ | CV | Média | σ | CV |
| DAP (cm) | 15,4 | 1,7 | 10,7 | 13,5 | 0,7 | 5,3 | 17,6 | 0,8 | 4,3 |
| Altura total (m) | 18,5 | 2,2 | 11,7 | 15,3 | 1,4 | 9,1 | 22,7 | 1,1 | 4,9 |
| G (m ² ha ⁻¹) | 21,4 | 0,1 | 21,3 | 17,7 | 0,1 | 12,1 | 23,1 | 0,1 | 16,5 |
| N (plantas ha ⁻¹) | 1035 | 5,6 | 17,3 | 1165 | 2,61 | 7,1 | 932 | 5,07 | 17,3 |
| IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | 39,7 | 0,4 | 29,5 | 23,2 | 0,2 | 20,2 | 47,2 | 0,3 | 17,5 |
| Volume total (m ³ ha ⁻¹) | 178,7 | | | 104,4 | | | 212,4 | | |
| IAF (m ² m ⁻²) | 4,98 | | | 4,89 | | | 2,84 | | |
| Densidade da madeira (g cm ⁻³) | 0,45 | | | 0,56 | | | 0,48 | | |

Onde: DAP= Diâmetro médio à altura do peito; G= Área basal média; IMA= Incremento médio anual; IAF= índice de área foliar; σ = Desvio padrão; CV= Coeficiente de variação em %.

Analisando o IAF nota-se que o maior valor encontrado foi para o *E. grandis* - 4,98, seguido pelo *E. dunnii* - 4,89 e *E. urograndis* - 2,84.

Em estudo realizado no município de São Francisco de Assis, RS, com *E. saligna* aos 4 anos de idade, Beulch (2013) encontrou um IAF de 3,24, porém Londero (2011) em um estudo realizado com *E. saligna* no município de Guaíba, RS, obteve valores que variaram de 4,1 a 5,6 entre as idades de 2 a 7 anos, sendo que aos 4 anos o IAF foi de 5,3. Viera (2007), ao avaliar dois povoamentos de *E. urograndis*, com 18 meses de idade, encontrou índices de área

foliar de 3,7 e 4,6. Ainda de acordo com o mesmo autor, quanto maior o índice de área foliar de um povoamento, maior será a taxa de acumulação de fotoassimilados pelas plantas, devido à área fotossinteticamente ativa, resultando no aumento da sua biomassa total.

A maior densidade básica da madeira foi encontrada no *E. dunnii* – 0,56 g cm⁻³ seguida pelo *E. urograndis* – 0,48 g cm⁻³ e pelo *E. grandis* – 0,45 g cm⁻³. Ressalta-se que segundo Ferreira (1979), *E. grandis* e *E. dunnii* apresentam densidades semelhantes o que não foi observado neste trabalho. Neste caso a diferença pode estar relacionada à idade, na qual se realizou a coleta das amostras.

De acordo com Neves (2000), a densidade básica da madeira desperta maior interesse quando esta se destina a indústria de celulose, sendo desejado uma amplitude entre 0,46 – 0,48 a 0,54 – 0,55 g cm⁻³.

Foelkel (1997), destaca que a produtividade no processo de obtenção de celulose está relacionada a densidade da madeira, visto que madeiras mais densas implicam na adição de uma maior quantidade de matéria seca por unidade de tempo aos digestores, pois os mesmos são alimentados em base volumétrica. Para o mesmo autor a densidade básica da madeira pode ser considerada baixa para valores entre 0,35 a 0,45 g cm⁻³ (*E. grandis* e *E. deglupta*), média para valores entre 0,45 até 0,60 g cm⁻³, recomendadas para celulose (*E. urophylla*, *E. urograndis*, *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. robusta*, *E. camaldulensis*, *E. pellita*) e alta, recomendadas como biomassa ou para fabricação de carvão vegetal, com valores entre 0,65 até 0,80 g cm⁻³ (*Corymbia citriodora* e *E. paniculata*).

4.3 Biomassa

A maior produção de biomassa foi observada no *E. urograndis*, com 158,1 Mg ha⁻¹, seguido pelo *E. grandis*, com 136,7 Mg ha⁻¹ e pelo *E. dunnii* com 121,9 Mg ha⁻¹ (Tabela 7).

Apesar de *E. urograndis* ter apresentado volume de madeira 49% superior ao *E. dunnii* (Tabela 6), observa-se que com relação à biomassa aérea esta diferença decresce para 23%. Os principais fatores que explicam esta condição são a maior densidade básica observada na madeira do *E. dunnii* (0,56 g cm⁻³), que é 14% superior em relação ao *E. urograndis* (0,48 g cm⁻³) e o maior número de plantas ha⁻¹ observados no *E. dunnii*, que é 25% superior ao *E. urograndis*.

Tabela 7 – Produção total da biomassa por compartimento em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Componente | Biomassa (Mg ha ⁻¹) | | |
|-------------------|---------------------------------|------------------|----------------------|
| | <i>E. grandis</i> | <i>E. dunnii</i> | <i>E. urograndis</i> |
| Madeira do tronco | 89,4b | 76,7c | 109,9a |
| Casca do tronco | 9,6a | 9,1a | 10,1a |
| Folha | 6,4a | 5,3a | 3,4b |
| Galho | 11,2a | 13,4a | 11,3a |
| Raiz | 20,1ab | 13,5b | 23,4a |
| Total | 136,7 | 121,9 | 158,1 |

Onde: Letras iguais na horizontal, não diferem estatisticamente entre as espécies e seus respectivos componentes da biomassa, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Para a parte aérea valores similares são apresentados por Santana et al (2008), em um estudo em diferentes regiões do Brasil, com *E. urograndis* e *E. grandis* aos 4,5 anos de idade. Schumacher e Caldeira (2001) estudando *E. globulus* aos 4 anos de idade no RS encontraram 83,2 Mg ha⁻¹ de biomassa acima do solo. Beulch (2013) avaliando *E. saligna*, com 4 anos de idade no RS, encontrou 89 Mg ha⁻¹. Turner e Lambert (2008), em um estudo com *E. grandis* e *E. pilularis*, com 5 anos de idade na Austrália, encontraram uma produção de biomassa inferior, sendo 52,23 e 35,13 Mg ha⁻¹. Benatti (2013) estudando o clone de eucalipto I-144, com 6,5 anos de idade, na região dos Campos das Vertentes em MG, encontrou 143,87 Mg ha⁻¹ e Viera (2012) encontrou 198,5 Mg ha⁻¹ de biomassa acima do solo, para *E. urophylla* x *E. globulus*, aos 10 anos de idade em Eldorado do Sul, RS. Gonzalez et al. (2011), analisando o potencial do uso do eucalipto como bioenergia no sul dos Estados Unidos, verificaram uma produção média de biomassa de 112 Mg ha⁻¹ aos 4 anos de idade.

Fatores genéticos (melhoramento e procedências), edafoclimáticos e de manejo estão relacionados diretamente a capacidade de produção das espécies, porém Barros e Comerford (2002) explicam que a grande variabilidade da produtividade das plantações com o eucalipto nas diferentes regiões está associada, principalmente, aos diversos tipos de solos que apresentam teores disponíveis e totais de nutrientes numa faixa bastante ampla.

A distribuição da biomassa por componente apresenta a seguinte magnitude: madeira > raiz > galho > casca > folha (Figura 3). Este comportamento também foi encontrado por Bizon (2005), Witschoreck (2008) e Lopes (2013) em estudos com *Pinus taeda*. Para a biomassa aérea, Curlin (1970) e Schumacher e Caldeira (2001), descrevem a distribuição em: lenho > galhos > casca > folhas. Porém a mesma sequência não foi observada por Vogel

(2005), em uma floresta estacional decidual, com a seguinte ordem: galhos > madeira > casca > folhas. Dependendo da metodologia do levantamento (nativas) os resultados poderão variar consideravelmente. Cabe ressaltar conforme o autor, que em florestas nativas em função da estrutura da copa e altura reduzida do tronco, em algumas espécies, ocorre uma maior biomassa de galhos.

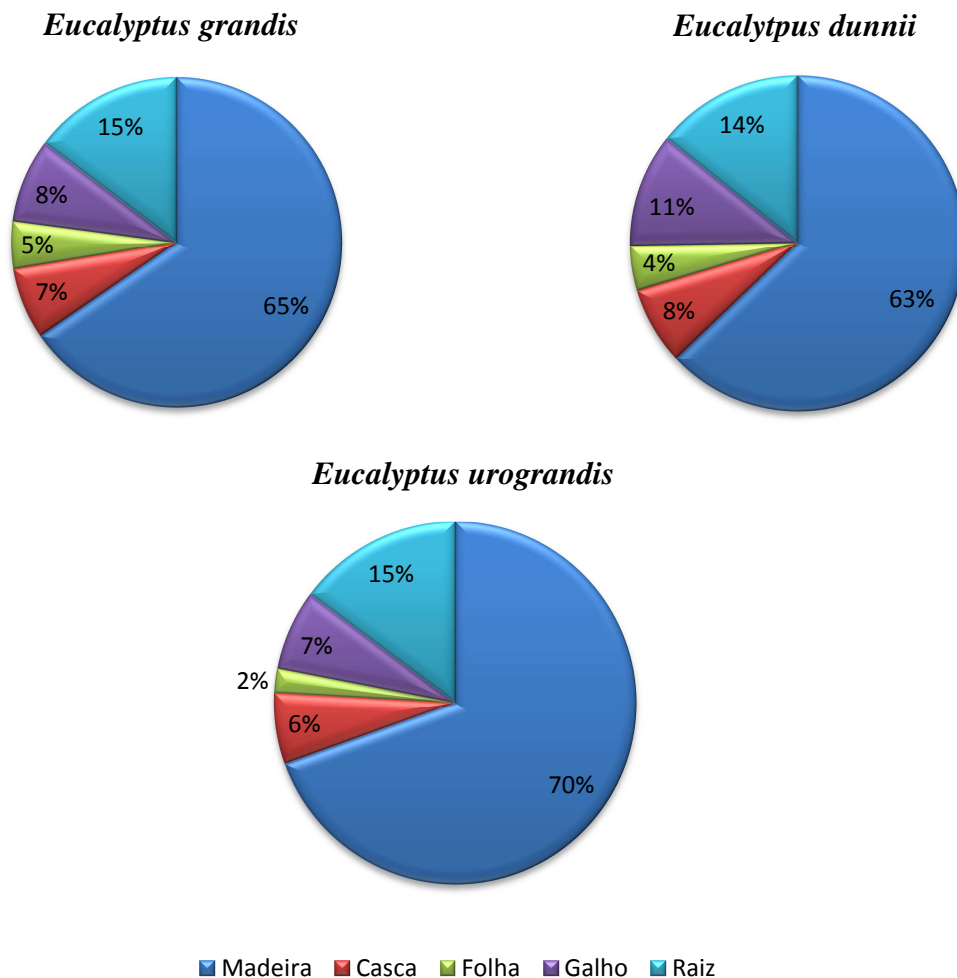


Figura 3 – Partição relativa da biomassa total em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

Analisando a compartimentalização entre as espécies, observa-se que *E. urograndis* acumulou 70% da biomassa total na madeira do tronco, seguido pelo *E. grandis* e *E. dunnii*, com 65 e 63%, respectivamente. Considerando apenas a biomassa acima do solo, verifica-se que para este mesmo componente, nas três espécies, os valores sobem para 82, 77 e 73%, e, quando se acrescenta a casca obtêm-se 89, 85 e 82%, respectivamente. Resultados similares

foram encontrados em diversos estudos: Poggiani et al. (1983) e Pereira et al. (1984) com *E. saligna*, aos 8 e 9 anos de idade, identificaram que 85% da biomassa aérea encontrava-se nos componentes madeira com casca; Spangenberg et al., (1996), com *E. urograndis* e Santana et al. (2008) com diversas espécies de eucalipto aos 4,5 anos de idade; identificaram que 90% da biomassa estão distribuídos nestes mesmos componentes. Viera (2012) e Beulch (2013) identificaram, em estudos com *E. globulus* aos 10 anos e *E. saligna* aos 4 anos de idade, que os componentes madeira + casca representavam 94% e 86% da biomassa acima do solo, respectivamente.

Entretanto alguns autores não verificaram resultados semelhantes: Schumacher (1998), com *E. globulus*, aos 4 anos de idade observou que a madeira do tronco com casca representam 72% da biomassa total acima do solo. O mesmo autor encontrou a mesma tendência de distribuição em um estudo com *E. saligna*, aos 4 e 7 anos de idade, o que também foi observado por Caldeira (1998) com *Acacia mearnsii*, aos 2 anos e 4 meses de idade. Turner e Lambert (2008), em um estudo com *E. grandis* e *E. pilularis* aos 5 anos de idade; verificaram que para a biomassa acima do solo: 70 e 73% era representada pela biomassa do tronco com casca, respectivamente.

Outro aspecto importante está relacionado ao espaçamento de plantio. Bernardo et al. (1988), observaram em povoamento de *E. urophylla*, *E. pellita* e *E. camaldulensis* que o diâmetro, a produção de biomassa por árvore e a biomassa do sistema radicular aumentam conforme o aumento do espaçamento, mas a produção total da biomassa por hectare diminui. Porém, os resultados observados neste estudo apresentaram uma maior produção de biomassa no arranjo espacial 3,5 x 2,5 m, para *E. urograndis* em relação ao 3,5 x 2,0 m para *E. grandis* e *E. dunnii*, o que indica uma superioridade de produção deste híbrido.

4.4 Nutrientes na biomassa

Os teores dos macro e micronutrientes, nos componentes da biomassa, diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) (Tabelas 8 e 9).

De acordo com Pallardy (2008), a diferença na concentração de nutrientes, entre os componentes da planta está intrinsicamente relacionada à ciclagem bioquímica, onde com a idade, nutrientes de tecidos senescentes tendem a se deslocar para regiões com maior atividade metabólica, principalmente para as folhas, proporcionando a redução dos teores por

unidade de biomassa, porém aumentado as quantidades totais. Neste mesmo contexto, Poggiani e Schumacher (2004), destacam que a ciclagem bioquímica apresenta maior importância para a manutenção dos nutrientes com alta mobilidade (N, P, K e Mg), e menor para os nutrientes pouco moveis (Ca, S) e micronutrientes.

Tabela 8 – Teores de macronutrientes na biomassa (g kg^{-1}) por componente em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Componente | g kg^{-1} | | | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
| | | N | P | K | Ca | Mg | S |
| <i>E. grandis</i> | Folha | 18,3a (1,3) | 1,2a (0,1) | 6,1a (0,6) | 6,4a (0,5) | 3,1a (0,5) | 1,3a (0,1) |
| | Galho | 2,9a (0,4) | 0,4ab (0,1) | 3,1a (0,9) | 7,2a (1,4) | 1,6a (0,3) | 0,5a (0,1) |
| | Casca do tronco | 3,3b (0,2) | 0,5b (0,2) | 5,4a (0,8) | 18,3a (3,4) | 3,5b (0,6) | 0,5a (0,1) |
| | Madeira do tronco | 0,9a (0,1) | 0,1a (0,1) | 1,6a (0,2) | 0,3b (0,1) | 0,2b (0,1) | 0,4a (0,1) |
| | Raiz | 3,7a (2,1) | 0,3a (0,1) | 3,3a (1,2) | 4,9b (1,2) | 0,6b (0,1) | 0,7a (0,3) |
| <i>E. dunni</i> | Folha | 17,9a (1,6) | 1,0b (0,1) | 5,9b (0,9) | 6,7a (1,2) | 2,5b (0,5) | 1,2b (0,1) |
| | Galho | 2,8a (0,3) | 0,2b (0,1) | 4,4a (1,2) | 6,2a (0,8) | 1,5a (0,2) | 0,5a (0,1) |
| | Casca do tronco | 3,6b (0,5) | 0,6ab (0,2) | 4,1b (1,5) | 19,2a (5,6) | 4,8a (0,6) | 0,5a (0,1) |
| | Madeira do tronco | 1,0a (0,2) | 0,1a (0,1) | 1,3a (0,3) | 0,5a (0,2) | 0,7a (0,2) | 0,3a (0,1) |
| | Raiz | 2,8a (0,6) | 0,3a (0,1) | 1,7a (1,0) | 6,4a (1,6) | 1,2a (0,2) | 0,5a (0,1) |
| <i>E. urograndis</i> | Folha | 17,8a (1,6) | 1,2a (0,1) | 6,7a (0,5) | 6,0a (0,6) | 2,8ab (0,3) | 1,2a (0,1) |
| | Galho | 2,9a (0,6) | 0,5a (0,1) | 1,7a (0,5) | 6,7a (1,1) | 1,5a (0,2) | 0,4a (0,1) |
| | Casca do tronco | 4,7a (0,3) | 0,8a (0,1) | 5,5a (0,4) | 20,8a (3,4) | 3,6b (0,3) | 0,5a (0,1) |
| | Madeira do tronco | 1,1a (0,1) | 0,1a (0,1) | 1,4a (1,4) | 0,2b (0,1) | 0,2b (0,1) | 0,4a (0,1) |
| | Raiz | 4,1a (0,4) | 0,3a (0,1) | 1,6a (0,4) | 3,3c (1,1) | 0,4a (0,1) | 0,6a (0,1) |

Onde: Letras iguais na vertical, não diferem estatisticamente entre as espécies e seus respectivos componentes da biomassa, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey. Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Segundo Hernández et al. (2009), as concentrações dos nutrientes nos diversos componentes das árvores de eucalipto, bem como a sua produção de biomassa tem relação direta com a densidade de plantio e a fertilidade do solo. Além destes fatores, Schumacher e Poggiani (1993), destacam que as características nutricionais das espécies e a idade de corte influenciam no acúmulo de nutrientes por compartimento na biomassa arbórea.

Para Viera (2012), o manejo intensivo das plantações de eucaliptos, pode aumentar a produção de biomassa, e conseqüentemente, potencializar a remoção de nutrientes, onde a distribuição dos nutrientes nos compartimentos das árvores tem grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas.

Tabela 9 – Teores de micronutrientes na biomassa (mg kg^{-1}) por componente em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Componente | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|----------------------|-------------------|---------------------|-------|---------|---------|-------|
| | | mg kg^{-1} | | | | |
| <i>E. grandis</i> | Folha | 26,5b | 8,0a | 82,9a | 749,3a | 20,7a |
| | Galho | 7,9a | 7,0a | 21,8a | 402,8a | 6,3b |
| | Casca do tronco | 10,7b | 4,8a | 28,9a | 844,6b | 6,8a |
| | Madeira do tronco | 4,1b | 3,5a | 15,9a | 30,4b | 9,6a |
| | Raiz | 16,3a | 6,9a | 1009,5a | 125,3a | 21,8a |
| <i>E. dunni</i> | Folha | 36,1a | 8,4a | 86,2a | 809,9a | 23,0a |
| | Galho | 8,2a | 6,3a | 20,9a | 521,3a | 8,6a |
| | Casca do tronco | 14,5a | 4,6a | 19,5b | 1403,1a | 9,2a |
| | Madeira do tronco | 5,7a | 1,7b | 16,2a | 46,3a | 3,4b |
| | Raiz | 12,0ab | 5,4ab | 1351,4a | 122,3a | 19,1a |
| <i>E. urograndis</i> | Folha | 31,1a | 9,7a | 73,6a | 402,7b | 18,3a |
| | Galho | 4,4b | 8,0a | 18,7a | 247,2b | 10,5a |
| | Casca do tronco | 8,1b | 4,7a | 34,1a | 552,0c | 7,1a |
| | Madeira do tronco | 3,5b | 3,3a | 17,6a | 14,1c | 4,1b |
| | Raiz | 10,2b | 4,0b | 386,5a | 32,7b | 13,1b |

Onde: Letras iguais na vertical, não diferem estatisticamente entre as espécies e seus respectivos componentes da biomassa, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Na componente folha está concentrada a maior parte dos nutrientes N (62%), P (46%), K (35%) e S (39%), exceto para o Ca (52%), Mg (42%) e Mn (44%), onde os maiores teores encontram-se na casca do tronco e para o Fe (83%) que se encontra na raiz (valores médios entre as três espécies). A tendência é que a maioria dos nutrientes se concentre nas estruturas mais novas da planta, principalmente nas folhas, onde ocorrem os principais processos metabólicos (transpiração e fotossíntese), (VIERA, 2012).

O Ca e Mg apresentaram os maiores teores na casca do tronco, especialmente para o Ca, esta condição é amplamente citada pela literatura (SCHUMACHER & PONGIANI, 1993; SANTANA et. al, 1999; NEVES, 2000; BELLOTE, 2004; VIERA, 2012, VIERA 2013). Destaca-se que para o *E. urograndis*, neste estudo o teor de Ca alocado na casca do tronco correspondeu a 52% de todo o Ca alocado na biomassa.

A alta concentração de Ca na casca está relacionada à baixa mobilidade deste elemento no floema das plantas, e por ser também, um componente estrutural da membrana celular (FERRI, 1985). Para o K e S os maiores teores foram observados na madeira do tronco seguido pelo P.

Ao analisar as quantidades totais de macro (Tabela 10) e micronutrientes (Tabela 11) na biomassa, observa-se que as espécies apresentaram em termos médios 234 kg ha⁻¹ de N, 28 kg ha⁻¹ de P, 292 kg ha⁻¹ de K, 427 kg ha⁻¹ de Ca, 113 kg ha⁻¹ de Mg, 61 kg ha⁻¹ de S e 1 kg ha⁻¹ de B, 0,6 kg ha⁻¹ de Cu, 22 kg ha⁻¹ Mn e 1 kg ha⁻¹ de Zn.

Tabela 10 – Quantidade de macronutrientes na biomassa (kg ha⁻¹) em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Componente | N | P | K | Ca | Mg | S |
|----------------------|-------------------|---------------------|------|-------|-------|-------|------|
| | | kg ha ⁻¹ | | | | | |
| <i>E. grandis</i> | Folha | 117,7 | 7,6 | 38,9 | 40,6 | 19,8 | 8,6 |
| | Galho | 31,7 | 4,1 | 34,5 | 82,5 | 17,6 | 5,4 |
| | Casca do tronco | 31,5 | 5,2 | 51,5 | 176,8 | 33,5 | 4,5 |
| | Madeira do tronco | 83,8 | 7,3 | 147,2 | 24,8 | 15,9 | 31,7 |
| | Raiz | 72,8 | 5,8 | 64,9 | 97,5 | 11,0 | 14,2 |
| | Total | 337,5 | 30,0 | 337,1 | 422,2 | 97,8 | 64,5 |
| <i>E. dunni</i> | Folha | 93,5 | 5,4 | 32,0 | 36,3 | 12,9 | 6,0 |
| | Galho | 37,2 | 2,9 | 56,2 | 83,5 | 20,5 | 6,3 |
| | Casca do tronco | 32,7 | 5,2 | 35,8 | 179,9 | 43,8 | 4,7 |
| | Madeira do tronco | 73,1 | 6,1 | 98,8 | 36,4 | 49,6 | 26,4 |
| | Raiz | 50,0 | 5,7 | 30,4 | 113,1 | 19,7 | 9,5 |
| | Total | 286,5 | 25,3 | 253,1 | 449,0 | 146,5 | 52,8 |
| <i>E. urograndis</i> | Folha | 54,0 | 4,2 | 22,9 | 20,2 | 9,4 | 4,1 |
| | Galho | 32,9 | 5,2 | 19,0 | 75,6 | 16,8 | 5,0 |
| | Casca do tronco | 46,9 | 7,7 | 54,7 | 212,1 | 36,2 | 24,3 |
| | Madeira do tronco | 118,4 | 6,4 | 150,9 | 26,2 | 20,7 | 6,8 |
| | Raiz | 95,1 | 6,0 | 37,2 | 76,7 | 9,9 | 13,5 |
| | Total | 347,3 | 29,5 | 284,7 | 410,8 | 93,0 | 66,7 |

A distribuição dos elementos apresentou em ordem decrescente a seguinte tendência: macro nutrientes Ca > N > K > Mg > S > P e micronutrientes Mn > Fe > Zn > B > Cu, sendo que apenas no *E. dunni* houve uma inversão de posição entre o B e Zn.

Este comportamento de distribuição também foi encontrado por: Benatti (2013) com *E. urograndis* I-144 e I-220, aos 6,5 anos de idade, em MG; Beulch (2013) com *E. saligna*, aos 4 anos de idade, no RS; Cunha et al. (2005) com *E. grandis*, aos 8 anos de idade, no norte fluminense RJ e Guo et al. (2006) com *E. botryoides*, *E. glóbulus* e *E. ovata*, aos 3 anos de idade, na Nova Zelândia. Hernández et al. (2009), estudando *E. dunii* aos 9 anos de idade no Uruguai, observaram, para os macronutrientes, a sequência N > P > K > Ca > Mg, que difere da apresentada neste trabalho. Em estudos com *Pinus taeda*, Witschoreck (2008) e Lopes

(2013) também encontraram uma distribuição não similar, sendo: para os macronutrientes $N > Ca > K > Mg > S > P >$ e micronutrientes $Fe > Mn > B > Zn > Cu$.

Tabela 11 – Quantidade de micronutrientes da biomassa ($g\ ha^{-1}$) por componente em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Componente | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|----------------------|-------------------|--------------|-------|---------|---------|--------|
| | | $g\ ha^{-1}$ | | | | |
| <i>E. grandis</i> | Folha | 171,9 | 51,8 | 521,1 | 4765,9 | 131,3 |
| | Galho | 89,5 | 77,2 | 243,4 | 4409,4 | 69,9 |
| | Casca do tronco | 101,6 | 45,4 | 269,7 | 8126,8 | 62,2 |
| | Madeira do tronco | 362,1 | 314,0 | 1385,2 | 2756,9 | 852,3 |
| | Raiz | 332,4 | 133,5 | 20228,3 | 2441,8 | 435,2 |
| | Total | 1057,5 | 621,9 | 22647,6 | 22500,7 | 1551,0 |
| <i>E. dunni</i> | Folha | 194,3 | 43,2 | 463,8 | 4468,0 | 118,2 |
| | Galho | 107,7 | 81,2 | 269,5 | 6611,4 | 116,7 |
| | Casca do tronco | 134,0 | 39,6 | 189,8 | 13623,2 | 84,4 |
| | Madeira do tronco | 442,8 | 132,6 | 1234,2 | 3494,6 | 263,0 |
| | Raiz | 220,7 | 97,3 | 25782,6 | 2090,7 | 335,5 |
| | Total | 1099,5 | 396,4 | 27939,9 | 30587,9 | 917,7 |
| <i>E. urograndis</i> | Folha | 102,0 | 33,0 | 252,1 | 1379,4 | 63,1 |
| | Galho | 48,4 | 89,0 | 204,8 | 2822,3 | 118,6 |
| | Casca do tronco | 84,3 | 47,2 | 337,0 | 5682,3 | 72,5 |
| | Madeira do tronco | 379,9 | 365,5 | 1949,6 | 1573,6 | 440,0 |
| | Raiz | 238,1 | 92,6 | 8967,2 | 753,3 | 303,9 |
| | Total | 852,6 | 627,2 | 11710,7 | 12210,8 | 998,1 |

Para a partição relativa de macro (Figura 4) e micronutrientes (Figura 5), observa-se que o N apresentou a maior proporção no componente folha para *E. grandis* e *E. dunnii* (35 e 33%) e *E. urograndis* (16%), isto provavelmente pode estar relacionado ao maior IAF do *E. grandis* (4,98) e *E. dunnii* (4,89) e conseqüentemente pela maior produção de biomassa foliar em relação ao *E. urograndis* (IAF 2,84).

Com relação aos micronutrientes, verifica-se que a raiz apresentou a maior porcentagem de Fe (em termos médios 86%), o que pode ser explicado pela contaminação do solo por óxido de Fe.

A madeira do tronco concentrou as maiores porcentagens de Cu, B e Zn e a casca do tronco concentrou o maior teor de Mn, destacando-se o *E. urograndis* (58% de Cu), (45% de B) e (13% de Mn) e o *E. grandis* (55% de Zn) nos respectivos componentes.

O gradiente de concentração dos macronutrientes por compartimento apresentou a mesma tendência de distribuição, entre as espécies, sendo: folhas > casca do tronco > galhos > raiz > madeira do tronco

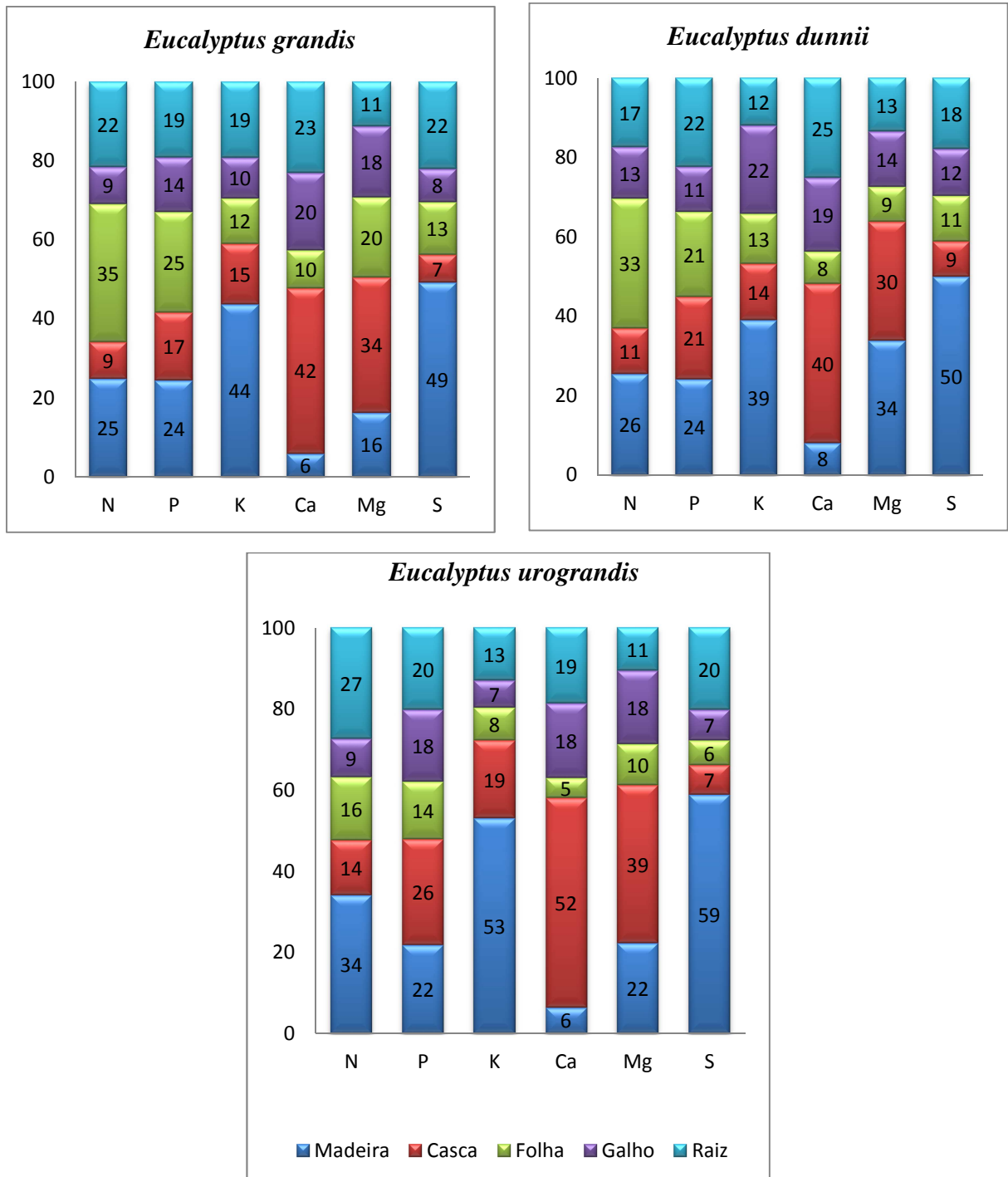


Figura 4 – Partição relativa (%) de macronutrientes por componente da biomassa em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

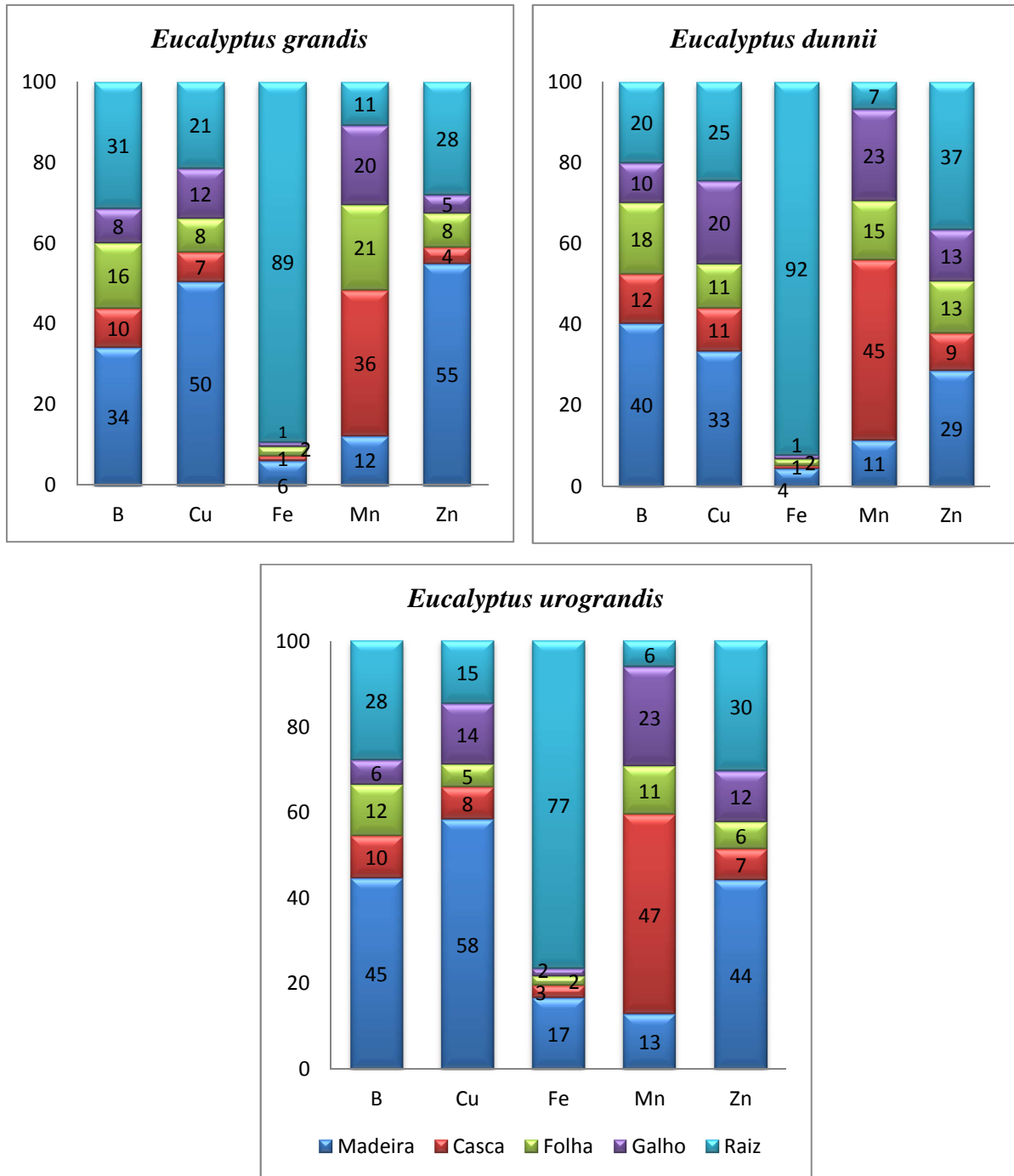


Figura 5 – Partição relativa (%) de micronutrientes por componente da biomassa em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

O gradiente de concentração dos micronutrientes apresentou a seguinte tendência de distribuição: *E. grandis* e *E. dunnii*: raiz > folhas > casca do tronco > galhos > madeira do tronco e para *E. urograndis*: folhas > raiz > casca do tronco > galhos > madeira do tronco.

4.5 Coeficiente de utilização biológica (CUB)

Analisando os valores referentes ao coeficiente de utilização biológica (Tabela 12), observa-se que, entre os macro e micronutrientes o P e o Cu, ambos na madeira, apresentaram a melhor taxa de conversão, seguidos pelos demais nutrientes, também neste compartimento da biomassa.

No contexto silvicultural, o que se busca é potencializar a produtividade de madeira, portanto quanto maior o CUB neste componente melhor será a utilização dos nutrientes (WITSCHORECK, 2008), o que o torna imprescindível como um dos parâmetros para a definição das melhores técnicas de manejo e conseqüentemente a manutenção da capacidade produtiva do sítio florestal (SANTANA et al., 2002).

Tabela 12 – Coeficiente de utilização biológica (CUB) de macro e micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Componente | N | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Mn | Zn |
|----------------------|-------------------|------|-------|-----|------|------|------|--------|--------|-------|--------|
| <i>E. urograndis</i> | Folha | 63 | 812 | 148 | 168 | 362 | 834 | 33297 | 102832 | 2461 | 53803 |
| | Galho | 342 | 2146 | 591 | 149 | 668 | 2251 | 232241 | 126399 | 3985 | 94826 |
| | Casca do tronco | 214 | 1309 | 184 | 47 | 277 | 2066 | 119219 | 212904 | 1768 | 138479 |
| | Madeira do tronco | 928 | 17060 | 728 | 4191 | 5312 | 2801 | 289248 | 300616 | 69826 | 249720 |
| | Raiz | 245 | 3900 | 626 | 303 | 2360 | 1721 | 97764 | 251473 | 30899 | 76593 |
| <i>E. grandis</i> | Folha | 54 | 836 | 164 | 157 | 322 | 742 | 37110 | 123208 | 1338 | 48560 |
| | Galho | 354 | 2721 | 325 | 136 | 639 | 2072 | 125544 | 145561 | 2547 | 160734 |
| | Casca do tronco | 304 | 1854 | 186 | 54 | 285 | 2119 | 94001 | 210255 | 1176 | 153589 |
| | Madeira do tronco | 1067 | 12197 | 607 | 3610 | 5635 | 2818 | 246914 | 284686 | 32427 | 104889 |
| | Raiz | 276 | 3495 | 310 | 206 | 1821 | 1413 | 60473 | 150595 | 8233 | 46187 |
| <i>E. dunnii</i> | Folha | 57 | 979 | 166 | 146 | 411 | 878 | 27296 | 122823 | 1187 | 44885 |
| | Galho | 360 | 4655 | 238 | 160 | 654 | 2139 | 124170 | 164607 | 1935 | 114582 |
| | Casca do tronco | 279 | 1744 | 255 | 51 | 209 | 1960 | 68240 | 217231 | 671 | 108339 |
| | Madeira do tronco | 1049 | 12565 | 776 | 2109 | 1545 | 2906 | 173170 | 578438 | 21943 | 291595 |
| | Raiz | 348 | 3065 | 572 | 154 | 880 | 1836 | 78720 | 178583 | 8309 | 51781 |

A distribuição entre os nutrientes nas três espécies estudadas, para o CUB na madeira, apresentou a seguinte ordem: macronutrientes $P > Mg > Ca > S > N > K$ e micronutrientes $Cu > B > Zn > Fe > Mn$.

Resultados similares, com inversão na distribuição de alguns elementos, foram encontrados por: Beulch (2013) com *E. saligna*, $S > P > Mg > Ca > N > K$ e $Cu > Zn > B > Fe$

> Mn; Viera (2012) com híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus*, P > S > Mg > Ca > N > K e Witschoreck (2008) com *Pinus taeda*, P > Mg > S > K > Ca > N e Cu > Zn > B > Fe > Mn.

Considerando o CUB apenas para madeira do tronco, por ser esta a de maior interesse comercial, observa-se que as maiores eficiências para os elementos P, Ca, B e Mn são observadas no *E. uograndis*, seguido pelo *E. dunnii* para os elementos K, S, Cu e Zn e pelo *E. grandis* para os elementos N, Mg e Fe. Para o P existe uma eficiência de utilização para *E. uograndis* 30% superior em relação ao *E. grandis* e para o Ca, 50%, B, 60% e Mn, 31% superior em relação ao *E. dunnii*. Para *E. dunnii* a eficiência de utilização do K é 22%, Cu, 51%, Zn, 64% e S, 3% superior em relação ao *E. grandis*. Para o *E. grandis* a eficiência de utilização para o N e Fe é 13% superior ao *E. uograndis* e para o Mg, 73% superior ao *E. dunnii*.

A variação na eficiência de utilização de nutrientes pode estar vinculada às características de cada espécie, bem como o não equilíbrio nutricional entre o sistema solo-planta e os demais nutrientes, podendo desta forma ocorrer limitação ou excesso de um ou mais nutrientes disponíveis; e às relações hídricas (SANTANA et al. 2002).

Portanto a escolha do material genético, deve se basear em sua eficiência e compatibilidade com a fertilidade do solo a ser cultivado, onde genótipos pouco eficientes na absorção de um determinado nutriente deveriam ser implantados em solos com boa disponibilidade desse ou recebê-lo via adubação (SANTANA et al. 1999).

4.6 Remoção de nutrientes de acordo com o cenário de colheita

A colheita da madeira do tronco apresentou a menor remoção de nutrientes do sistema (Tabela 13). Este cenário proporciona uma manutenção dos nutrientes acumulados nos demais componentes da biomassa de 63% do N, 74% do P, 47% do K, 91% do Ca, 73% do Mg, 34% do S do total de macronutrientes e 46% do B, 41% do Cu, 38% do Fe, 87% do Mn e 38% do Zn do total de micronutrientes.

Considerando a colheita da madeira do tronco com casca esta permanência decresce para: 49% do N, 44% do P, 28% do K, 34% do Ca, 34% do Mg, 24% do S e 32% do B, 30% do Cu, 27% do Fe, 41% do Mn e 28% do Zn.

Tabela 13 – Estimativa da remoção de macro e micronutrientes em três cenários de colheita da biomassa em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Cenário de Colheita | Macronutrientes | | | | | | Micronutrientes | | | | |
|----------------------|---|---------------------|----|-----|-----|-----|----|--------------------|-----|------|-------|------|
| | | N | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
| | | Kg ha ⁻¹ | | | | | | g ha ⁻¹ | | | | |
| <i>E. grandis</i> | Madeira do Tronco ¹ c/c + Copa | 265 | 24 | 272 | 325 | 87 | 50 | 725 | 488 | 2419 | 20059 | 1116 |
| | Madeira do Tronco com Casca | 115 | 13 | 199 | 202 | 49 | 36 | 464 | 360 | 1655 | 10884 | 915 |
| | Madeira do Tronco | 84 | 7 | 147 | 25 | 16 | 32 | 362 | 314 | 1385 | 2757 | 852 |
| <i>E. dunnii</i> | Madeira do Tronco c/c + Copa | 237 | 20 | 223 | 336 | 127 | 43 | 879 | 299 | 2157 | 28497 | 582 |
| | Madeira do Tronco com Casca | 106 | 11 | 135 | 216 | 93 | 31 | 577 | 175 | 1424 | 17118 | 347 |
| | Madeira do Tronco | 73 | 6 | 99 | 36 | 50 | 26 | 443 | 133 | 1234 | 3495 | 263 |
| <i>E. urograndis</i> | Madeira do Tronco c/c + Copa | 252 | 24 | 248 | 334 | 83 | 53 | 615 | 535 | 2744 | 11458 | 694 |
| | Madeira do Tronco com Casca | 165 | 14 | 206 | 238 | 57 | 44 | 464 | 413 | 2287 | 7256 | 513 |
| | Madeira do Tronco | 118 | 6 | 151 | 26 | 21 | 39 | 380 | 366 | 1950 | 1574 | 440 |

¹c/c = com casca.

Visualiza-se que entre os três cenários de colheita apresentados as maiores diferenças nas taxas de remoção de nutrientes encontra-se entre a colheita da madeira do tronco c/c + copa e madeira do tronco.

Analisando esta condição, observa-se que as maiores quantidades removidas são para os elementos Ca, Mg e Mn. Destacando-se que estes nutrientes se encontram em maiores proporções na componente casca.

Segundo Schumacher e Poggiani (1993), a colheita da madeira + casca potencializa a remoção de nutrientes do sítio florestal, principalmente para o Ca, este mesmo entendimento foi apresentado por diversos autores (SANTANA et al. 1999; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001; GUEDES, 2005).

Portanto, dependendo do nível de remoção dos nutrientes, pela colheita da biomassa, grandes quantidades de fertilizantes e calcário (aumento dos custos operacionais) poderão ser utilizadas para reestabelecer o equilíbrio nutricional e garantir a produtividade florestal nos próximos ciclos de produção.

Para este estudo, verifica-se que a colheita da madeira do tronco c/c + copa, proporciona um acréscimo nos custos com a aquisição dos fertilizantes de 145%, quando comparado com a colheita da madeira do tronco (Tabela 14).

Tabela 14 – Simulação dos custos para reposição nutricional nas áreas com plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Cenário de Colheita | Fertilizações | Insumos ² ton ha ⁻¹ | Valor US\$ ha ⁻¹ |
|--|---------------------|--|--------------------------------|
| Madeira do Tronco ¹ c/c+ Copa | Adubação de Plantio | 0,20 | 68,00 |
| | 1ª Cobertura | 0,48 | 163,20 |
| | 2ª Cobertura | 0,84 | 285,60 |
| | Total | 1,52 | 516,80 |
| Madeira do Tronco com casca | Adubação de Plantio | 0,11 | 37,40 |
| | 1ª Cobertura | 0,29 | 98,60 |
| | 2ª Cobertura | 0,44 | 149,60 |
| | Total | 0,84 | 285,60 |
| Madeira do Tronco | Adubação de Plantio | 0,08 | 27,20 |
| | 1ª Cobertura | 0,21 | 71,40 |
| | 2ª Cobertura | 0,33 | 112,20 |
| | Total | 0,62 | 210,80 |

¹c/c = com casca, ²ton = toneladas.

Sob a óptica empresarial, o modelo de manejo nutricional a ser adotado em um empreendimento, além de se basear em tecnologias e princípios de sustentabilidade, está relacionado diretamente ao objetivo final da madeira junto à indústria. Alguns segmentos necessitam apenas da madeira do fuste, enquanto outros utilizam também a casca e recentemente o setor energético vem crescendo, utilizando como matéria prima toda a biomassa aérea de plantações produzidas em rotações curtas (3-4 anos), neste caso específicos grandes questionamentos têm sido levantados sobre a sua viabilidade econômica-ambiental.

De acordo com a colheita da biomassa pode-se definir, em termos médios, o seguinte gradiente de remoção dos macronutrientes: madeira do tronco c/c + copa e madeira do tronco com casca = Ca > K > N > Mg > S > P e apenas a madeira do tronco = K > N > S > Ca > Mg > P. Para os micronutrientes a tendência de distribuição, entre os três regimes propostos, apresentou o mesmo comportamento sendo: Mn > Fe > Zn > B > Cu.

Considerando a colheita da madeira do tronco com casca e apenas a madeira do tronco, comportamento semelhante foi encontrado por Viera (2012) e Neves (2000), em estudos com o híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus* e com *E. grandis* e *E. saligna*. Porém, a mesma tendência de distribuição não foi encontrada por Spangenberg et al. (1996), estudando *E. urograndis*, que observou: Ca > N > Mg > K > P e Merino et al. (2005), estudando *E. globulus* na Espanha, que observou: P > K > Ca > Mg > N.

4.7 Implicações silviculturais e ecológicas

A colheita de toda a biomassa arbórea se apresenta como o modelo mais agressivo de remoção dos nutrientes do sistema (Figuras 6, 7 e 8), o que conseqüentemente, se reflete no balanço nutricional e no numero de rotações de produção.

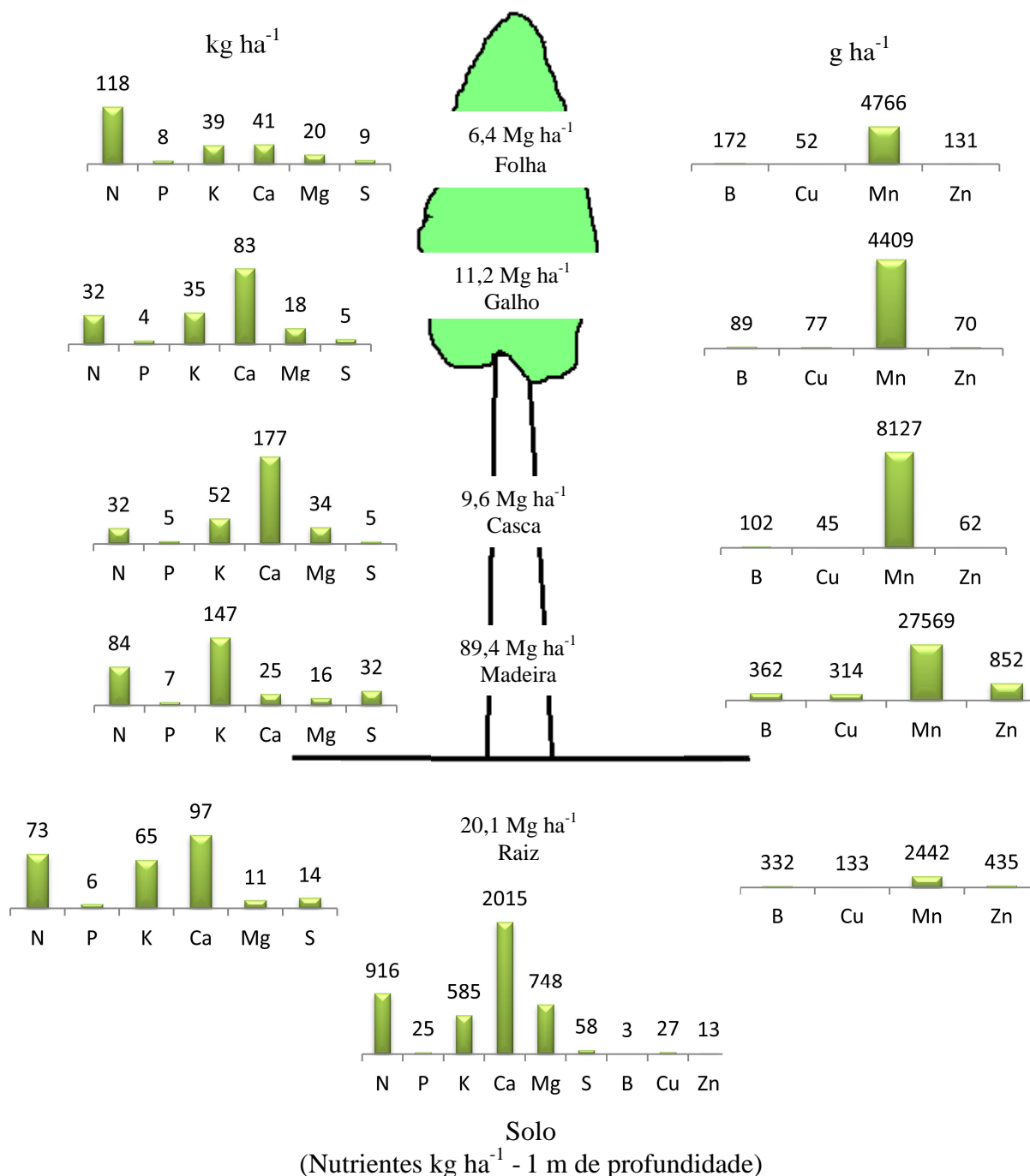


Figura 6 – Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn e N total), para *Eucalyptus grandis* no Bioma Pampa.

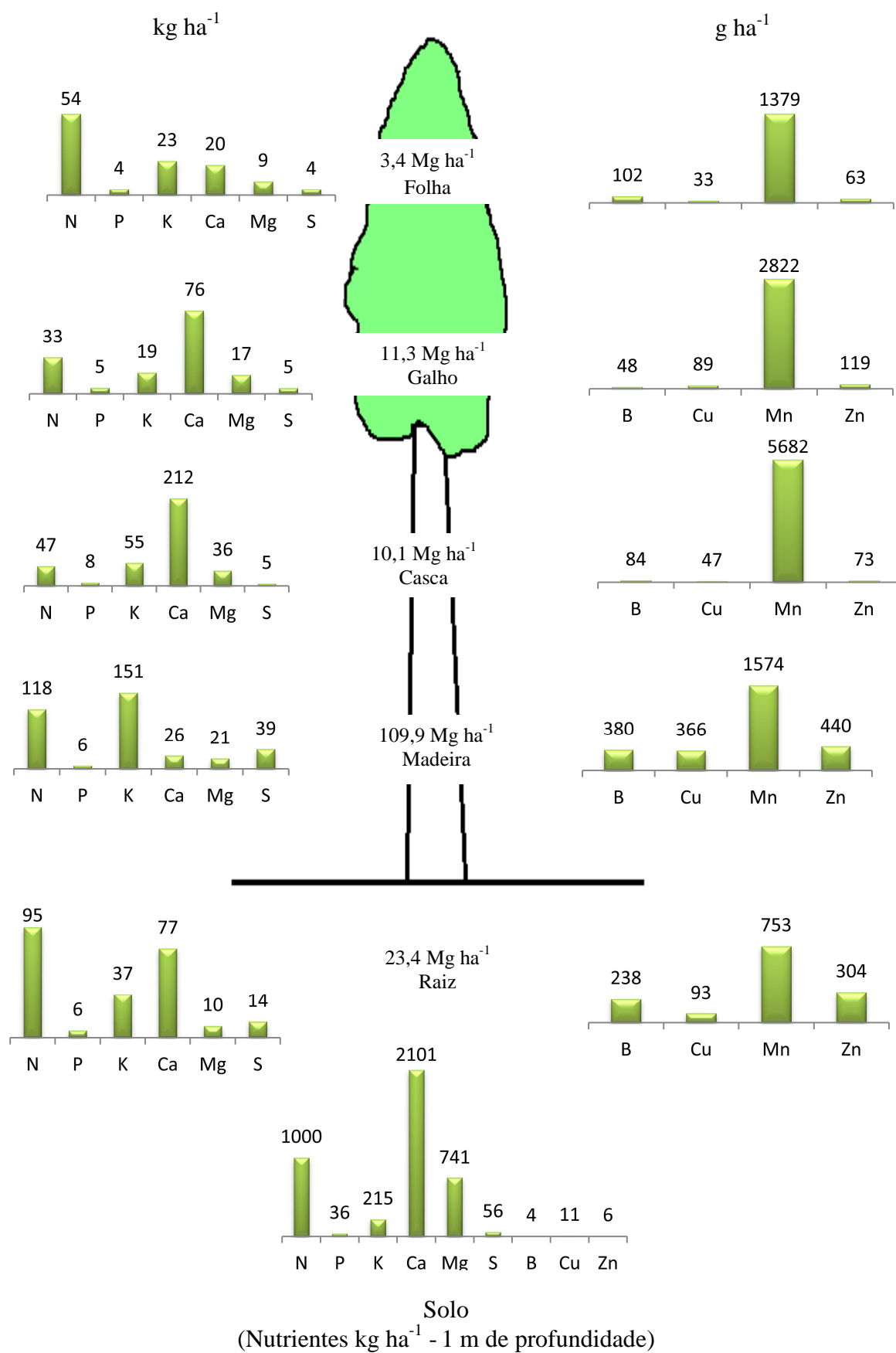


Figura 8 – Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn e N total), para *Eucalyptus urograndis* no Bioma Pampa.

Verificou-se balanço nutricional positivo para todos os nutrientes (macro) nos três cenários de colheitas propostos (Tabela 15).

Tabela 15 – Balanço nutricional e estimativa do número de rotações de produção em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa.

| Espécie | Cenário de Colheita Balanço Nutricional Número de Rotações de Produção | Macronutrientes | | | | | |
|----------------------|--|---------------------|-----------------------|-----|----------|-----|----|
| | | N | P | K | Ca | Mg | S |
| | | kg ha ⁻¹ | | | | | |
| <i>E. grandis</i> | Madeira do Tronco ¹ c/c + Copa | 265 | 24 | 272 | 325 | 87 | 50 |
| | Balanço | 742 | 85 | 411 | 1717 | 671 | 20 |
| | ² NRP | 7 | ³ <i>i</i> | 5 | 8 | 11 | 3 |
| | Madeira do Tronco com Casca | 115 | 13 | 199 | 202 | 49 | 36 |
| | Balanço | 891 | 97 | 484 | 1840 | 708 | 34 |
| | NRP | 48 | <i>i</i> | 8 | 13 | 21 | 5 |
| | Madeira do tronco | 84 | 7 | 147 | 25 | 16 | 32 |
| | Balanço | 923 | 102 | 536 | 2016 | 742 | 39 |
| | NRP | <i>i</i> | <i>i</i> | 17 | <i>i</i> | 122 | 6 |
| <i>E. dunni</i> | Madeira do Tronco c/c + Copa | 237 | 20 | 223 | 336 | 127 | 43 |
| | Balanço | 779 | 75 | 88 | 2851 | 834 | 22 |
| | NRP | 8 | <i>i</i> | 3 | 11 | 9 | 3 |
| | Madeira do Tronco com Casca | 106 | 11 | 135 | 216 | 93 | 31 |
| | Balanço | 909 | 83 | 176 | 2970 | 867 | 34 |
| | NRP | 76 | <i>i</i> | 12 | 18 | 13 | 5 |
| | Madeira do Tronco | 73 | 6 | 99 | 36 | 50 | 26 |
| | Balanço | 942 | 89 | 212 | 3150 | 911 | 39 |
| | NRP | <i>i</i> | <i>i</i> | 372 | 338 | 27 | 7 |
| <i>E. urograndis</i> | Madeira do Tronco c/c + Copa | 252 | 24 | 248 | 334 | 83 | 53 |
| | Balanço | 870 | 96 | 65 | 1793 | 667 | 15 |
| | NRP | 8 | <i>i</i> | 3 | 8 | 11 | 3 |
| | Madeira do Tronco com Casca | 165 | 14 | 206 | 238 | 57 | 44 |
| | Balanço | 957 | 106 | 107 | 1889 | 693 | 24 |
| | NRP | 17 | <i>i</i> | 4 | 11 | 17 | 3 |
| | Madeira do Tronco | 118 | 6 | 151 | 26 | 21 | 39 |
| | Balanço | 1004 | 113 | 162 | 2101 | 729 | 20 |
| | NRP | 46 | <i>i</i> | 9 | 11295 | 71 | 4 |

Onde: ¹ c/c = com casca, ²NRP = Número de Rotações de Produção, ³*i* = significa infinitas rotações, sugerindo sustentabilidade nutricional no sistema de produção.

O N no *E. dunnii* e *E. grandis*, o Ca no *E. grandis*, sob a colheita apenas da madeira do tronco e o P nas três espécies, sob todos os cenários, indicaram condição de sustentabilidade nutricional.

Na colheita da madeira do tronco com casca, *E. dunnii* apresentou o melhor balanço nutricional seguido pelo *E. grandis* e *E. urograndis*, mantendo a mesma sequência com relação ao número de rotações de produção.

Na colheita apenas da madeira do tronco, *E. grandis* apresentou os melhores balanços para o K, seguido pelo *E. dunnii* e *E. urograndis*, porém para o número de rotações de produção o maior valor é observado no *E. dunnii*.

Destaca-se também o alto valor do balanço nutricional para o Ca, no *E. urograndis* seguido pelo *E. dunnii*, bem como o número de rotações de produção. Para o Mg os maiores valores foram observados no *E. grandis*, seguido pelo *E. urograndis* e *E. dunnii*. Já para o S, *E. grandis* e *E. dunnii* apresentaram valores semelhantes seguido pelo *E. urograndis* tanto para o balanço nutricional quanto para o número de rotações de produção.

Com relação ao risco de limitação da produtividade por nutriente, em termos médios, de acordo com os cenários de colheita, pode-se definir a seguinte sequência: madeira do tronco c/c + copa $N > K - S > Ca > Mg$; madeira do tronco com casca $K > N - S > Ca > Mg$ e apenas a madeira do tronco $K > S > Mg > Ca$.

Apesar de existir uma maior exaustão dos nutrientes do sistema com o aumento da intensidade da colheita da biomassa, na prática, o esgotamento absoluto dos nutrientes não acontece. Ao se analisar este comportamento pelo número potencial de rotações de produção, observa-se uma transição de um nível de produtividade em um ciclo, para um nível de produtividade inferior no ciclo seguinte, e assim sucessivamente (WITSCHORECK, 2008).

O número potencial de rotações pode variar conforme o local de implantação do povoamento (condições nutricionais do solo), entre espécies (diferentes eficiências nutricionais) e entre nutrientes (VIERA, 2012).

Os sítios mais produtivos, por removerem maiores quantidades de nutrientes a cada rotação, tendem a atingir a exaustão mais rapidamente, indicando que a manutenção de níveis elevados de produtividade dependerá do uso de fertilizantes, baixa intensidade de colheita da biomassa e princípios conservacionistas (BIZON, 2005).

Neste contexto, Gonçalves et al. (2005), salienta que a compreensão do ciclo dos nutrientes é fundamental para a definição de tecnologias de manejo florestal, principalmente as que se referem a reposição nutricional no sistema de produção através da fertilização mineral.

Em solos de baixa fertilidade natural, uma forma importante para se incrementar os ganhos em produtividade seria o uso de espécies baseado na eficiência do uso de nutrientes, pois quanto maior a eficiência, menor será a exigência de altos teores no solo (SANTANA et al., 2002).

Além dos aspectos abordados, destaca-se que a devolução dos resíduos da colheita ao solo, contribuirá sistematicamente para o incremento dos teores da matéria orgânica que são muito baixos nesta condição edáfica, desempenhando também um importante papel na proteção/conservação do solo e na manutenção dos nutrientes no sistema, principalmente o K.

5 CONCLUSÕES

As espécies avaliadas apresentaram a mesma magnitude de alocação de biomassa nos diferentes componentes (madeira do tronco > raiz > galho > casca > folha).

E. urograndis apresentou a maior biomassa acumulada, maior produção de madeira, bem como a melhor eficiência no uso dos nutrientes, portanto a espécie indicada, em termos nutricionais e de produtividade para a região deste estudo.

A maior concentração de nutrientes foi observada na componente folha, exceto para o Ca e Mg, onde os maiores teores foram encontrados na componente casca.

Na madeira do tronco estão concentrados, em termos totais, os maiores estoques dos nutrientes (para as três espécies), exceto para o Ca, Mg e Mn que se encontram na casca e o N na folha do *E. grandis* e *E. dunnii*.

A distribuição dos nutrientes nos componentes da biomassa arbórea apresentou a seguinte ordem: Ca > N > K > Mg > S > P e Mn > Fe > Zn > B > Cu.

O P foi o elemento que proporcionou a melhor eficiência nutricional pelas espécies, com a seguinte ordem de distribuição para o coeficiente de utilização biológica (CUB): P > Mg > Ca > S > N > K e Cu > B > Zn > Fe > Mn.

A remoção de nutrientes, em termos médios, de acordo com o cenário de colheita apresentou a seguinte tendência de distribuição: Madeira do Tronco c/c + Copa e Madeira do Tronco com Casca Ca > k > N > Mg > S > P, apenas a madeira do tronco K > N > S > Ca > Mg > P, para os micronutrientes em todos os cenários de colheita Mn > Fe > Zn > B > Cu

Com a colheita da madeira do tronco, 63% N; 70% P; 47% K; 91% Ca; 73% Mg; 34% S e 46% B; 41% Cu; 38% Fe; 87% Mn; 38% Zn; são devolvidos ao solo pelos demais componentes da biomassa e proporciona a menor remoção de nutrientes do sistema.

Com base na remoção de nutrientes nos diferentes cenários de colheita da biomassa, balanço nutricional e número potencial de rotações, o K e o S foram os elementos que apresentaram os maiores riscos de limitação da produtividade.

6 RECOMENDAÇÕES

Considerando o modelo de manejo analisado e os resultados apresentados neste trabalho, recomenda-se que para esta região se utilize como material genético *E. urograndis* e *E. grandis*, porém por *E. dunnii* apresentar tolerância a baixas temperaturas, sugere-se que sejam realizados estudos direcionados para testar diferentes formas de manejo silvicultural e de fertilização, além de investimentos em melhoramento genético, de forma a potencializar a produtividade deste material.

Ressalva-se que com o aporte de nutrientes via fertilização mineral esta condição poderá ser mitigada, neste caso, por esta espécie apresentar o menor volume em madeira e a menor produção de biomassa entre as espécies estudadas, sugere-se uma análise criteriosa de viabilidade através da relação custo (fertilizantes e mão de obra) e benefício (ganho em produtividade e sustentabilidade nutricional).

Para se contribuir com a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do sítio e com o equilíbrio nutricional do sistema recomenda-se que seja realizada a colheita apenas da biomassa da madeira do tronco.

O suprimento de P poderá ser garantido, apenas com as adubações de cobertura não sendo necessário o uso de fosfato natural, na subsolagem nesta condição edáfica.

Os valores dos balanços nutricionais e do número de rotações de produção para o Ca e Mg, na colheita apenas da biomassa da madeira do tronco, indicam a não necessidade de calagem, porém para validação desta condição, sugere-se estudos de ajuste das curvas de calibração.

Neste mesmo contexto sugere-se que este estudo possa ser realizado nos demais sítios de produção da empresa, nos plantios aos sete anos de idade, visto que recomendações de adubação poderão ser elaboradas de acordo as exigências nutricionais das espécies, indicando uma redução nos custos com fertilização e ganhos em produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF, **Anuário Estatístico 2013**. Acessado em 12 jul. 2013. Online. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13-BR.pdf>.
- ALZATE, S.B.A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S.M.S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.68, p.87-95, 2005.
- BARROS, N.F. et al. Classificação nutricional de sítios florestais - descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 112-120, 1986.
- BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V.V.H.; et al. eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Folha de Viçosa, 2002. v.2. p.487-592
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação Solo Eucalipto**. Viçosa : Folha de Viçosa, 1990. p.127-181.
- BENATTI, B.P. **Compartimentalização de biomassa e nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- BELLOTE, A.F.J.; SILVA H.D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 113-140.
- BERNARDO, A.L., et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 104. 1–13, 1998.
- BEULCH, L.S. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* smith submetido ao primeiro desbaste**. 2013. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- 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.
- BOLAND, D.J.; et al. **Forest tree of Australia**. Australia : Thomas Nelson, 1984. 687 p.
- BOLDRINI, I. I. et al. **Bioma Pampa – diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre, Ed.: Palloti. 64 p. 2010.
- CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)** 1998. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

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

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.

CARVALHO, P.C.F. et al. Produção Animal no Bioma Campos Sulinos. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 35, n. Supl. Esp., p. 156-202. 2006. Disponível em: <http://www.forragicultura.com.br/arquivos/ProducaoanimanoBiomaCamposSulinos.pdf>

CHRISTINA, M.; LACLAU, J.-P; GONÇALVES, J.L.M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v. 2, n. 3, 2011. Disponível em: <http://www.esajournals.org/doi/pdf/10.1890/ES10-00158.1>. Acesso em 02 dec. 2013.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400p.

CORRÊA, R. S.; **CICLAGEM DE NUTRIENTES EM *Eucalyptus dunnii* ESTABELECIDO NO BIOMA PAMPA**. 2011. 99 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CUNHA, G. de M. et al. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte fluminense. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 29, n.3, p. 353-363, 2005.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, M. Escolha de Espécies de Eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, v.47, p.1-30, 1979.

FERRI, Mario Guimaraes. **Fisiologia Vegetal**. Vol. I e II. Sao Paulo: EPU, 1985.

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

FOELKEL, C. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus, 1997, Proceedings, Vol.3. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, p. 15-22.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.25, n.3, 2001, p.601-616.

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

GONÇALVES, J.L.; 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. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p.1-57.

GONÇALVES, J.L. **Fertilização de plantação de eucalipto**. IN: Anais II Encontro Brasileiro de Silvicultura. Campinas, p. 85 - 113, abr. 2011.

GONZALEZ, R. et al. Exploring the potential of Eucalyptus for energy production in the Southern United States: Financial analysis of delivered biomass. Part I. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 755–766, 2011.

GOUVEA, C.F.; MORI, E.S.; BRASIL M.A.M.; VALLE,C.F.; BONINE, C.A.V. Seleção Fenotípica por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, Salvador, 1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1997. v.1.p.355-360.

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

GUO, L.B. et al. Biomass production and nutrient export and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand: II. Litter fall and nutrient return. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 30, n. 5, p. 393–404, 2006.

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

HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P.; COSTA, B.S.C. 2007. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: DALL'AGNOLL, M. et al (Ed.) II SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, cap. 2. p. 15-21.

HERNÁNDEZ, J. et al. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 258, n. 2 p. 92–99, 2009.

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

JOVANOVIC, T.; ARNOLD, R.; BOOTH, T. Determining the climatic suitability of *Eucalyptus dunnii* for plantations in Australia, China and Central and South America. **New Forests**, v. 19, n. 3, p. 215-226, 2000.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. **Improved species climatic profiles.** Australia: Union Offset Printing: Joint Venture Agroforestry Program, Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. 68 p.

LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; MAQUERE, V.; KRUSCHE, A.V.; M'BOU, A.T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRE, L.; BOUILLET, J. P.; PICCOLO.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations: main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n.9 p. 1771–1785, 2010.

LANDSBERG, J.J. **Physiological ecology of forest production.** London: Academic Press, 1986. 198p.

LONDERO, E.K. **Calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba, RS.** 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

LOPES, V. G.; **Dinâmica nutricional em uma plantação de *Pinus taeda* L. no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil.** 2013. 117 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

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.

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

MARTINI, A.J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade.** 2004. 320p. Dissertação (Mestrado em História Social) – Faculdade de Filosofia, História e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MELO, V.F. et al. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.48/49, p.8-17, 1995.

MERINO, A. et al. Nutrient exports under different harvesting regimes in fast-growing forest plantations in southern Europe. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 207, n.3 p. 325–339, 2005.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T. 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, 1999. cap. 4, p.171-224.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L. Níveis de resíduos de metalurgia e substrato na formação de mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 59-66, 2007.

NEVES, J.C.L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2000.

OVERBECK, G.E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.9, n.2, p.101-116 In press. 2007.

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

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P.E.T. **Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii* no estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2005. 7 p. (Comunicado Técnico, 141).

PESSOTTI, J.E.S. **Classificação de Solos das Fazendas da empresa Stora Enso**. Relatório técnico (Dados não publicados). 2006.

PEREIRA, A. R.; BARROS, N. F.; ANDRADE, D. C.; CAMPOS, P. T. A. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. **Brasil Florestal**, n.59, p.27 – 37, 1984.

POGGIANI, F. et al. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, n. 25, p.37-39, 1983.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Nutrient cycling in native forest. In: GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 285 – 305.

POSCHENRIEDER, C. et al. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. **Science of the total environment**, v.400, n.1-3, p. 356-368, ago.2008. Disponível em: <http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-54349084259&origin=inward&txGid=jaJ98w8cP0jXz_zJx1oK-Wo%3a2> Acesso em: 08 de jun.2013

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

REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In : CARLESSO, R. ; PETRY, M. ; ROSA, G. & CERETTA, C.A. **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria, 2001. p. 114-131.

- REIS, G.G. et al. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* sob diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 1-18, jan./mar. 1989.
- 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, 1990. p. 265-301.
- RYAN, M. G. et al. Factors controlling Eucalyptus productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1695–1703, 2010.
- RINGROSE, C.; NEILSEN, W.A.. Growth response of *Eucalyptus regnans* and soil changes following periodic fertilization. **Soil Sci. Soc. Am.**, 69:1806 – 1812 (2005).
- RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. 2002. Disponível em: <www.ufsm.br/ifcers>. Acesso em 15 de Setembro de 2013.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, S.E. & COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Sci.**, 133:378-382, 1982.
- SANTANA, R. C. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 155- 169, dez. 1999.
- SANTANA, R. C. et al. 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, R. C. et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 697-706, jul./ago. 2008.
- SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1993. 348 p.
- 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 Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 9-18, jan.-dez. 1993.
- SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996, p.65-77.
- SCHUMACHER, M.V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *bicostata*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n.2, p.281-286, 1998.

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. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia – negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 29-37, jan.-fev. 2003.

SILVA, G.G.C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta a disponibilidade de água e nutrientes**. 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SILVA, H. D. et al. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim 115 de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 6/7, p. 9-25, jun.-dez. 1983.

SILVA, I.R. et al. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. **Tree Physiology**, v.24, p.1267-1277, nov.2004. Disponível em: < <http://treephys.oxfordjournals.org/content/24/11/1267.full.pdf+html>>. Acesso em 23 de jun.2013.

SMITH, D.M. **Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples**. Madison, 1954. 8 p. (USDA, FPL, 2014).

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

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

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, EMATER/RS, 2008. 107p.

SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.da. Tchê Pampa: histórias da natureza gaúcha. In: _____. **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília-DF, 2009, p.42-59.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos: UFRGS, 1995. 174 p.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul**. 2003. 289 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TURNER, J.; KELLY, J. Relationships between soil nutrients and vegetation in a North Coast Forest, New South Wales. **Aust. For. Res.**, East Melbourne, v. 11, p. 201-208, 1981

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

UTHSCSA. Image Tool for Windows version 3.00. University of Texas Health Science Center in San Antonio, 2002.

VALE, R. S. do. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Minas Gerais**. 2004. (Tese Doutorado) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2004.

VIERA, M. **Avaliação da biomassa e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. e *Eucalyptus urograndis* no município de Pinheiro Machado, RS**. 2007. Relatório (Estágio Supervisionado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

VIERA, M. **Crescimento inicial e produtividade em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agrossilvicultural**. 2010. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

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

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

VIERA, M. et al. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil. **ENFLO – Ecologia e Nutrição de Florestas**, Santa Maria, vol 1, p. 1-13, jan.-abr. 2013.

VIEIRA, F.C.B. et al. Organic amendment effect on the transformation and fractionation of aluminum in acidic sandy soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v.39, p.2678-2694, 2008. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103620802358813>>. Acesso em 28 de jul. 2013.

VITAL, A. R. T. 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, out.-dez. 2004.

VITTI, G. C. **Adubação e nutrição do eucalipto**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 45 p.

VOGEL, H.L.M. **Quantificação da biomassa e nutrientes em uma floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil**. 2005. 93 p. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

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. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.