

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

**ECOEFIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE  
NUTRICIONAL EM POVOAMENTOS DE  
EUCALIPTOS NO BIOMA PAMPA**

**TESE DE DOUTORADO**

**Claudiney do Couto Guimarães**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2016**

# **ECOEFIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NUTRICIONAL EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS NO BIOMA PAMPA**

**Claudiney do Couto Guimarães**

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

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

**Santa Maria, RS, Brasil  
2016**

## Ficha Catalográfica

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

Guimarães, Claudiney  
Ecoeficiência e sustentabilidade nutricional em  
povoamentos de eucaliptos no bioma pampa. / Claudiney  
Guimarães.- 2016.  
100 p.; 30 cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2016

1. Silvicultura do eucalipto 2. Manejo nutricional 3.  
Solos florestais 4. Nutrição florestal I. Schumacher,  
Mauro Valdir II. Título.

---

© 2016

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 Tese de Doutorado

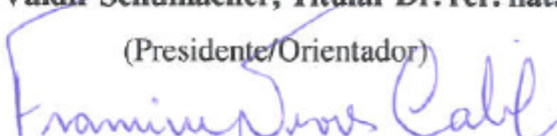
**ECOEFIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NUTRICIONAL EM  
POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS NO BIOMA PAMPA**

elaborada por  
**Claudiney do Couto Guimarães**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

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

  
**Francine Neves Calil, Dr<sup>a</sup>. (UFG)**

  
**Hamilton Luis Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)**

  
**Márcio Viera, Dr. (UFMS)**

  
**Ivanor Müller, Dr. (UFMS)**

Santa Maria, 15 de julho de 2016

## **DEDICATÓRIA**

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

## AGRADECIMENTOS

A Deus que silenciosamente me proporcionou forças e proteção para superar os obstáculos e realizar esta conquista.

A toda a minha família e aqueles que direta e indiretamente me apoiaram, com suas boas vibrações.

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

Aos componentes da banca examinadora para a qualificação de doutoramento, Professores Dr. Eleandro José Brun, Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. Márcio Viera e Dr. Ivanor Müller; e aos componentes da banca para a avaliação da defesa final de tese, Professores Dr<sup>a</sup>. Francine Neves Calil, Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. Márcio Viera e Dr. Ivanor Müller, pelas relevantes ponderações para a consolidação deste estudo.

Aos Engenheiros Florestais Edenilson Liberalesso (*in memoriam*), Joel Carvalho dos Santos, Engenheiro Florestal MSc. Bernardo Corso Frantz e Engenheira Florestal MSc. Kristiana Fiorentin dos Santos, pelo auxílio nas coletas de campo, e ao Engenheiro Florestal Dr. Rudi Witschoreck pelo apoio na análise estatística dos dados.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, Biólogo Vitor Hugo Braga, Engenheiras Florestais MSc. Grasielle Dick, MSc. Aline Aparecida Ludvichak, MSc. Caroline Weimann; Engenheiro Florestal MSc. Tulio Barroso e ao estudante de Engenharia Florestal Dione Richer Momolli.

A StoraEnso Florestal RS, em especial aos Engenheiros Florestais João Fernando Borges, João Carlos Barrichelo, ao Engenheiro Florestal Dr. Júlio César Medeiros da Silva, à Engenheira Florestal MSc. Daniela Torres; aos Engenheiros Agrônomos MSc. Huan Pablo de Souza e José Lionco Bragança, e aos colegas da Área Administrativa Camila Duarte Prates, Leandro Acosta Saldanha, Marciane Halinski, Fernanda Sechi e Mara Rejiane Peres.

Aos Técnicos Operacionais da Florestadora Nativa Marcelo Goularte e Fábio Minussi, e Equipe de Campo.

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

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

### ECOEFIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NUTRICIONAL EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS NO BIOMA PAMPA

AUTOR: CLAUDINEY DO COUTO GUIMARÃES

ORIENTADOR: Dr. rer. nat. techn. MAURO VALDIR SCHUMACHER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 de julho de 2016.

A expansão das plantações com eucalipto no estado do Rio Grande do Sul vem se consolidando e ocupando regiões que anteriormente não apresentavam tradição silvicultural em escala comercial. O estado ocupa a sexta posição em área plantada com eucalipto e pinus no país, e apesar de uma parte significativa da área cultivada estar estabelecida dentro do Bioma Pampa, poucos estudos foram realizados para compreender o comportamento do eucalipto nesse ecossistema. Diante disto, este estudo teve como objetivo determinar a eficiência de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus saligna* e híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*), aos sete anos de idade, e fornecer elementos para o manejo nutricional e silvicultural sustentável. Para isso estimou-se o estoque de nutrientes totais e disponíveis no solo até 100 cm de profundidade; determinou-se o crescimento e quantificou-se a biomassa e nutrientes acima e abaixo do solo para as diferentes espécies; avaliaram-se as implicações silviculturais e ecológicas decorrentes da remoção dos nutrientes em função dos diferentes cenários de colheita da biomassa; e foram propostas alternativas para o manejo silvicultural e da fertilização. O solo nas áreas do estudo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico. Amostras foram coletadas para a caracterização física e química do solo. Foram inventariadas cinco unidades amostrais de 10 ha cada, sendo uma unidade para cada espécie, para se determinar as variáveis de crescimento. Após as medições realizou-se a distribuição por classe diamétrica, onde se determinou três classes, sendo a primeira classe de 10 a 16 cm, a segunda de 16,1 a 22 cm e a terceira classe de 22,1 a 28 cm. Para a determinação da biomassa arbórea em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , foram selecionadas três árvores por classe diamétrica sendo uma árvore no limite inferior, uma árvore no limite central e uma árvore no limite superior de cada classe, totalizando nove árvores por espécie. As árvores foram seccionadas em compartimentos, retirado amostras para determinação da biomassa arbórea individual e dos teores dos nutrientes. Os solos apresentaram classe textural 4 (teor de argila < 20%), com diferenças significativas entre os atributos químicos em relação ao campo nativo, destacando-se o aumento dos teores de P, K e S para a maioria das espécies. O maior incremento médio anual e volume total foram observados para *E. saligna* ( $61,10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $427,55 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) seguido por *E. grandis* ( $54,84 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $383,88 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), *E. urograndis* ( $54,25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $379,78 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), *E. benthamii* ( $49,87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $349,11 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) e *E. dunnii* ( $45,97 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $321,80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). A maior produção de biomassa foi observada para *E. saligna*, com  $289,94 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; seguido pelo *E. urograndis*, com  $231,66 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; *E. grandis*, com  $228,51 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; *E. benthamii*, com  $225,35 \text{ Mg ha}^{-1}$  e pelo *E. dunnii* com  $205,62 \text{ Mg ha}^{-1}$ , com alocação da biomassa na madeira do tronco em torno de 70% para todas as espécies. A magnitude de alocação da biomassa apresentou o mesmo comportamento entre as espécies – madeira do tronco > raiz > galho > casca > folha. A maior concentração de N, P, K, S, B, Cu e Mn foi observada na folha; a casca da madeira apresentou a maior concentração de Ca e Mg, e a raiz a maior concentração de Fe e Zn. A maior

quantidade dos nutrientes foi observada na madeira do tronco, exceto para o Ca e Mg, onde as maiores quantidades estão alocadas na casca da madeira e para o Fe que está alocado na raiz. Na serapilheira verificou-se o mesmo comportamento de distribuição para os nutrientes (teores e quantidades) –  $\text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{P} - \text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$ . Os maiores valores para a eficiência de utilização de nutrientes foram observados em *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. saligna* para P; *E. urograndis* e *E. benthamii* para o Mg; e *E. saligna* para S, destacando-se também a melhor eficiência em N, K e Ca em *E. grandis*. A colheita apenas da madeira do tronco proporcionou uma manutenção de nutrientes no solo pelos demais componentes da biomassa, acima de 50%, especialmente para Ca e Mg com uma devolução de 82 e 72% respectivamente. A menor taxa de remoção de nutrientes de acordo com intensidade da colheita da biomassa foi verificada para *E. grandis*. Para o número de rotações de produção, o P indicou uma condição de sustentabilidade nutricional, sob todos os cenários de colheita, o N sob a colheita da madeira do tronco com casca e madeira do tronco, e o Ca e Mg sob a colheita da madeira do tronco, para todas as espécies; e o K foi o elemento que apresentou o maior risco a limitação da produtividade. O menor custo de reposição nutricional, entre os cenários de colheita da biomassa, foi verificado para *E. grandis* seguido pelo *E. urograndis*, *E. dunnii*, *E. saligna* e *E. benthamii*.

**Palavras-chave:** Silvicultura do eucalipto, Manejo nutricional, Solos florestais, Nutrição Florestal.



## ABSTRACT

Doctoral Thesis  
Post-Graduation Program in Forest Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

### ECO-EFFICIENCY AND NUTRITIONAL SUSTAINABILITY IN STANDS OF EUCALIPTOS IN PAMPA BIOME

AUTHOR: CLAUDINEY DO COUTO GUIMARÃES

ADVISER: Dr. rer. nat. techn. MAURO VALDIR SCHUMACHER

Date and Place of the Presentation: Santa Maria, July 15<sup>th</sup>, 2016.

The expansion of plantations with eucalyptus in Rio Grande do Sul state have been consolidating and occupying areas that anteriorly had no silvicultural tradition in commercial scale. The state occupies the sixth position in planted areas with eucalyptus and pinus in the country and although a significant part of the cultivated area is established in the Pampa Biome, few studies have been conducted to understand the behavior of eucalyptus in this ecosystem. Therefore this study aimed to determine the efficiency of *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus saligna* and hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*), at seven years of age, and provide elements for nutrition and sustainable forestry management. To this it was estimated stock of total and available nutrients in the soil up to 100 cm deep; it was determined the growth; biomass and nutrients were quantified above and below ground for different species; were evaluated the silvicultural and ecological implications of the removal of nutrients due to the different biomass harvesting scenarios; and alternatives have been proposed for forestry management and fertilization. The soil in the study area is classified as Ultisol. Samples were collected for physical and chemical soil characterization. They were inventoried five sample units of 10 ha, one for each species, to determine the growth variables. After the measurements distribution was performed by diameter classes, which were determined three classes, the first class of 10 to 16 cm, the second 16.1 to 22 cm and the third class of 22.1 to 28 cm. To determine the tree biomass in  $\text{Mg ha}^{-1}$ , three trees were selected by diameter class being a tree at the lower limit, a tree in the central limit and a tree at the upper limit of each class, totaling nine trees by species. The trees were cut into compartments, sampling for determination of individual tree biomass and nutrient content. The soils of the experimental areas had textural class 4 (clay content < 20%), with significant differences between the chemical attributes in relation to native field, highlighting the increased levels of P, K and S for the majority of species. The highest annual mean increment and total volume were observed in *E. saligna* ( $61.10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  to  $427.55 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) followed by the *E. grandis* ( $54.84 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  and  $383.88 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), *E. urograndis* ( $54.25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  and  $379.78 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), *E. benthamii* ( $49.87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  and  $349.11 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) and *E. dunnii* ( $45.97 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  and  $321.80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). The highest biomass production was observed in *E. saligna*, with  $289.94 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; followed by *E. urograndis* with  $231.66 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; *E. grandis*, with  $228.51 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; *E. benthamii* with  $225.35 \text{ Mg ha}^{-1}$  and *E. dunnii* with  $205.62 \text{ Mg ha}^{-1}$ , with allocation of biomass in stem wood of 74% *E. urograndis* and *E. grandis*, 70% for *E. saligna*, 69% for *E. benthamii* and 67% for *E. dunnii*. The magnitude of biomass allocation presented the same tendency among species – stem wood > root > branch > bark > leaf. The highest concentration of N, P, K, S, B, Cu and Mn was observed in leave; stem wood showed the highest concentration of Ca and Mg, and the root of the highest concentration of Fe and Zn. The greatest amount of nutrients was observed in the stem wood, except for Ca and Mg,

where larger quantities are allocated in the bark of the wood and the Fe that is allocated at the root. In the litter there was the same distribution behavior for the nutrients (concentrations and quantities) –  $\text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{P} - \text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$ . The highest values for the nutrients utilization efficiency were observed in *E. grandis*, *E. saligna* and *E. dunnii* for P; *E. urograndis* and *E. benthamii* for Mg; *E. saligna* for S; *E. grandis* also presented the better efficiency in N, K and Ca. The harvest only the stem wood provided a maintenance of soil nutrients by other components of the biomass, greater than 50%, especially Ca and Mg with a return of 82% and 72% respectively. The lowest nutrient removal rate according to the intensity of biomass harvesting was verified in *E. grandis*. For the production number of rotations, the P indicated a nutritional sustainability condition under all harvesting scenarios, the N in the harvesting of the stem wood over bark and stem wood, Ca and Mg in the harvesting of the stem wood, for all species; and the K was the element that presented the greatest productivity risk limiting. The lower cost of nutritional replacement, among biomass harvesting scenarios, was found in *E. grandis* followed by *E. urograndis*, *E. dunnii*, *E. saligna* and *E. benthamii*.

**Key-words:** Silviculture of eucalyptus, Nutritional management, Forest soils, Forest nutrition.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Modelos para ajuste das equações hipsométricas e volumétricas dos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	33
Tabela 2- Entrada de nutrientes nas áreas com plantios de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	37
Tabela 3- Atributos físicos do solo dos povoamentos de eucaliptos e campo nativo, no Bioma Pampa.....	41
Tabela 4- Atributos químicos do solo dos povoamentos de eucaliptos e campo nativo, no Bioma Pampa.....	43
Tabela 5- Estoque total de N e de nutrientes disponíveis no solo dos povoamentos de eucaliptos e campo nativo, no Bioma Pampa.....	44
Tabela 6- Características dendrométricas dos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa .....	46
Tabela 7- Equações para a estimativa da altura e volume dos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	48
Tabela 8- Equações de regressão para estimativa da biomassa individual (kg árvore <sup>-1</sup> ) dos diferentes componentes das árvores dos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	49
Tabela 9- Biomassa total e individual por compartimento nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	51
Tabela 10- Concentração de macro e micronutrientes na biomassa dos componentes das árvores das diferentes espécies de eucalipto, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	57
Tabela 11- Quantidades de macro e micronutrientes na biomassa dos componentes das árvores das diferentes espécies de eucalipto, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	59
Tabela 12- Concentração de macro e micronutrientes na serapilheira das diferentes espécies de eucalipto, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	63
Tabela 13- Coeficiente de utilização biológica de macro e micronutrientes nos componentes da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	66
Tabela 14- Estimativa da remoção de macro e micronutrientes em quatro cenários de colheita da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos no Bioma Pampa.....	69
Tabela 15- Taxa de remoção de macro e micronutrientes em quatro cenários de colheita da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	70
Tabela 16- Balanço nutricional e estimativa do número de rotações de produção nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	76
Tabela 17- Simulação dos custos para reposição nutricional nas áreas com plantios de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	79

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Distribuição geográfica do Bioma Pampa no Rio Grande do Sul .....	17
Figura 2- Localização das áreas de eucalipto no município de Alegrete e São Francisco de Assis – RS .....	28
Figura 3- Perfil do solo em área adjacente ao plantio de eucalipto.....	29
Figura 4- Diagrama climático do município de Alegrete-RS.....	30
Figura 5- Espécies de eucalipto, aos sete anos, plantadas no Bioma Pampa. A- <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> (clone), B- <i>Eucalyptus benthamii</i> (semente), C- <i>Eucalyptus dunnii</i> (semente), D- <i>Eucalyptus grandis</i> (semente), E- <i>Eucalyptus saligna</i> (clone).....	31
Figura 6- Distribuição por classe diamétrica, para <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> , <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>E. urograndis</i> , aos sete anos de idade, no Bioma Pampa .....	47
Figura 7- Partição relativa da biomassa total em povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	54
Figura 8- Partição relativa (%) de macronutrientes por componente da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	61
Figura 9- Partição relativa (%) de micronutrientes por componente da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	62
Figura 10- Quantidades de macro e micronutrientes alocados na serapilheira nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.....	64
Figura 11- Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para <i>E. urograndis</i> no Bioma Pampa.....	71
Figura 12- Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para <i>E. grandis</i> no Bioma Pampa.....	72
Figura 13- Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para <i>E. dunnii</i> no Bioma Pampa.....	73
Figura 14- Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para <i>E. benthamii</i> no Bioma Pampa.....	74
Figura 15- Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para <i>E. saligna</i> no Bioma Pampa.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

DAP – diâmetro a altura do peito (em centímetros – 1,30 m em relação ao solo)

H – altura (em metros)

G – área basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ )

$V_{c/c}$  – volume árvore individual com casca ( $\text{m}^3$ )

$V_{s/c}$  – volume árvore individual sem casca ( $\text{m}^3$ )

$\text{IMA}_{c/c}$  – incremento médio anual com casca ( $\text{m}^3$ )

$\text{IMA}_{s/c}$  – incremento médio anual sem casca ( $\text{m}^3$ )

$\text{VT}_{c/c}$  – volume total ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) com casca

$\text{VT}_{s/c}$  – volume total ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) sem casca

DBM – densidade básica da madeira ( $\text{g cm}^{-3}$ )

BT – biomassa total

BAS – biomassa acima do solo

F – biomassa da folha

G – biomassa do galho

C – biomassa da casca do tronco

M – biomassa da madeira do tronco

R – biomassa de raiz

EUN – eficiência de utilização de nutrientes

CUB – coeficiente de utilização biológica

N - nitrogênio

P – fósforo

K – potássio

Ca – cálcio

Mg – magnésio

S – enxofre

B – boro

Cu – cobre

Fe – ferro

Mn – manganês

Zn – zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 O Bioma Pampa .....	17
2.2 A cultura do eucalipto.....	18
2.3 Caracterização das espécies.....	20
2.3.1 <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	20
2.3.2 <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden.....	21
2.3.3 <i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden & Cambage.....	22
2.3.4 <i>Eucalyptus saligna</i> Smith.....	24
2.3.5 <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T. Blake x <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden.....	25
2.4 Produção florestal e sustentabilidade nutricional.....	25
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1 Localização das áreas de estudo.....	28
3.2 Caracterização edafoclimática.....	29
3.3 Aspectos silviculturais.....	30
3.4 Medição dos plantios florestais.....	33
3.4.1 Modelagem e tratamento estatístico.....	33
3.5 Determinação da biomassa e dos nutrientes.....	35
3.5.1 Modelagem e tratamento estatístico.....	35
3.6 Estimativa do estoque de nutrientes no solo.....	36
3.7 Implicações silviculturais e ecológicas.....	37
3.7.1 Remoção de nutrientes pela colheita e estimativa do número de rotações de produção.....	37
3.7.2 Determinação da eficiência de utilização de nutrientes.....	39
3.7.3 Estimativa do balanço nutricional e dos custos para reposição nutricional.....	40
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
4.1 Atributos físicos e químicos do solo.....	41
4.2 Caracterização dendrométrica e crescimento.....	46
4.3 Biomassa.....	49
4.4 Nutrientes na biomassa e serapilheira.....	56
4.5 Implicações silviculturais e ecológicas.....	66
4.5.1 Eficiência de utilização de nutrientes.....	66
4.5.2 Remoção de nutrientes, balanço nutricional e custos para reposição nutricional.....	68
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>81</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>82</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>
<b>8 APÊNDICE.....</b>	<b>97</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O Bioma Pampa no Rio Grande do Sul está distribuído em uma superfície de 176.496 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 63% do território estadual e a 2,07% do território brasileiro (IBGE, 2016).

Apesar dos registros históricos indicarem a presença do eucalipto no Bioma Pampa no Rio Grande do Sul 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 para se estabelecer uma base florestal com o objetivo de atender as indústrias de celulose/papel e produtos sólidos, devido principalmente, à extensão de áreas disponíveis para a cultura do eucalipto neste ecossistema (GUIMARÃES, 2014).

Segundo IBÁ (2015), dos 7,2 milhões de hectares cultivados com eucalipto e pinus no Brasil, o estado do Rio Grande do Sul ocupa a sexta posição, com uma área cultivada de 284,7 mil hectares com eucalipto e 164,8 mil hectares com pinus.

Por ser o eucalipto uma espécie de rápido crescimento, e consequentemente com alta produção de biomassa e acúmulo de nutrientes, questionamentos estão sempre sendo provocados para discutir os impactos e a sustentabilidade da cultura no ambiente edáfico e suas demais interações, principalmente em regiões que tradicionalmente não conviviam com a prática da silvicultura de espécies perenes em escala industrial.

Os plantios de eucalipto são 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 (BARROS e COMERFORD, 2002). Para Barros e Novais (1990), a produtividade varia com a qualidade do sítio, com o aumento do número de rotações, com a exigência nutricional e com o potencial de crescimento do genótipo. 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 plantio florestal. Além disso, é o principal fator que o silvicultor pode manejar durante o desenvolvimento das plantações.

Desta forma, verifica-se a importância da escolha do material genético e 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.

Este estudo teve como hipótese que: “As plantações comerciais manejadas com o eucalipto no Bioma Pampa podem proporcionar a melhoria dos aspectos ecológicos, contribuindo para a manutenção da produtividade e a uma condição de sustentabilidade nutricional no sítio de produção”.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência nutricional de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus saligna* e híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*), e fornecer elementos para o manejo silvicultural sustentável, em povoamentos estabelecidos no Bioma Pampa.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o solo quanto aos atributos físicos e químicos, e avaliar as modificações proporcionadas pelo cultivo do eucalipto sobre o ambiente edáfico natural;
- Estimar o crescimento e quantificar a biomassa e nutrientes acima e abaixo do solo;
- Avaliar as implicações silviculturais, ecológicas e econômicas relacionadas ao manejo, e os efeitos decorrentes da remoção dos nutrientes em função dos diferentes cenários de colheita da biomassa;
- Propor alternativas para o manejo silvicultural e da fertilização, em princípios sustentáveis, baseado na eficiência nutricional das espécies, e nas interações ecológicas proporcionadas pelos diferentes regimes de uso da biomassa.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Bioma Pampa

O Pampa é um sistema único que cobre uma área total aproximada de 700 mil km<sup>2</sup>, compartilhada entre Argentina, Brasil e Uruguai (MMA, 2007). No Rio Grande do Sul, o Pampa (Figura 1), teve seu reconhecimento como bioma apenas a partir de 2004, quando foi desmembrado do bioma Mata Atlântica (CARVALHO et al., 2006).



Figura 1 – Distribuição geográfica do Bioma Pampa no Rio Grande do Sul.

Fonte: IBGE (2016).

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 (OVERBECK 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).

Embora predomine a presença absoluta de campo gramináceo, este não constitui uma fisionomia uniforme, visualizando-se também as formações de mata virgem, capões, mata arbustiva, cordões de galeria, mata palustre, vegetação dos tabuleiros, vassourais e Parque do Espinilho (RAMBO, 2000).

Hasenack et al. (2007), realizando o mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa, no estado do Rio Grande do Sul, identificou que 59% da área do bioma não se encontra em seu estado natural, 22% é composto por vegetação campestre, 13% por um mosaico que combina campo e floresta e 5% por formações florestais.

Nabinger (1996) destaca que o campo nativo ou pastagem natural do bioma, amplamente utilizado pela pecuária tradicional/extensiva, apresenta restrições em relação aos sistemas agrícolas mais intensivos. Entretanto, o fortalecimento do agronegócio principalmente com a ampliação das áreas com cultivo da soja, trigo e arroz, e, a expansão dos cultivos florestais surge como um novo elemento espacial, com grande poder transformador das características naturais desse sistema (BOLDRINI et al., 2010).

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

## **2.2 A cultura do eucalipto**

Das diversas espécies arbóreas 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), além de apresentar características silviculturais adaptativas e de

rápido crescimento (JAEGER; ZIGER, 2007) nas mais variadas condições de clima e solo (VITTI, 2002; ANDRADE et al., 2003).

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).

Como alternativa para as regiões de clima frio no Brasil, as espécies *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* são consideradas potenciais, devido à tolerância a geadas e baixas temperaturas na região de ocorrência natural e ao bom comportamento de crescimento evidenciado no Rio Grande do Sul (BACCARIN, 2012; IPEF, 2014).

De acordo com Roderjan (1999), as árvores de eucalipto são de grande porte, com rápido crescimento, aptas ao manejo pelo sistema de talhadia, onde após o corte raso gemas dormentes dos cotilédones e primeiras folhas entram em atividade, permitindo a condução das rebrotas por mais duas rotações, e, em alguns casos podendo chegar a quatro rotações como o *Eucalyptus globulus* na Espanha.

Como principais usos industriais, destacam-se o abastecimento de matéria-prima para a produção de celulose, papel, carvão vegetal, chapas de partículas e fibras (FOELKEL, 1997; MAFIA et al., 2005; LIMA et al., 2007). Além desses fins, o eucalipto pode ser utilizado para produção de óleos essenciais na indústria farmacêutica, na apicultura (SANTOS; AUER; GRIGOLETTI JUNIOR, 2001), e no mercado de carbono como redutor da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera (ALFENAS et al., 2004).

Devido à heterogeneidade e as baixas produtividades das plantações com o eucalipto, naquela época, Navarro de Andrade, em 1941, convidou Carlos Arnaldo Krug do Instituto Agrônomo de Campinas, para iniciar um programa de melhoramento genético, buscando adequar à espécie as condições edáfoclimáticas do país e incrementar os ganhos em produtividade (FERREIRA e SANTOS, 1997).

Devido às condições ambientais favoráveis, à evolução nas técnicas silviculturais, de manejo e melhoramento genético, as plantações brasileiras com eucalipto são as mais produtivas do mundo (IBÁ, 2015), com qualidade e propriedades tecnológicas adequadas para os diferentes usos industriais da madeira (TONINI, 2003).

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 (GONÇALVES; MELLO, 2004; 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 e NOVAIS, 1990).

Os mecanismos de tolerância ao Al são vários, podendo ser fisiológicos (SILVA et al., 2004; POSCHENRIEDER et al., 2008) e/ou indiretos, pela complexação do Al pela fração orgânica presente (VIEIRA et al., 2008). 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, observaram que ocorreu absorção de nutrientes pelas raízes a profundidade maior que 5 m. Em outro estudo realizado no Brasil, Christina et al. (2011), verificaram 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).

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 e NEILSEN, 2005; VIERA, 2010), além de apresentar-se como a melhor alternativa para suprir a necessidade de madeira para os diversos segmentos industriais no curto prazo (HIGA, 1998).

## **2.3 Caracterização das espécies**

### **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. Devido à limitação da área de ocorrência natural a espécie é classificada como rara e de grande importância em plantios comerciais (JOVANOVIC; ARNOLD; BOOTH, 2000; THINLEY et al., 2005).

O clima da região é quente e úmido, com média das temperaturas máximas compreendida entre 27 a 30 °C, e a média das temperaturas mínimas entre 0 a 3 °C,

apresentando uma precipitação pluviométrica média anual entre 845 e 1950 mm, com chuvas concentradas no verão, mas há meses com precipitação inferior a 40 mm (IPEF, 2014; 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, SANTOS; FERREIRA, 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 (BOLAND et al., 1984). 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<sup>-3</sup> para plantações com 8 anos de idade e de até 0,80 g cm<sup>-3</sup> para plantações mais antigas (HIGA, 1998).

Em função de exibir tolerância a esse tipo de estresse abiótico e também apresentar rápido crescimento e excelente forma, além de possuir boas qualidades tecnológicas da madeira, principalmente para a produção de papel e celulose (NAVROSKI, 2011), o cultivo da espécie no RS tem se estabelecido em escala crescente.

A espécie apresenta baixo potencial invasivo, decorrente da escassa produção de sementes, o que dificulta sua propagação aleatória (BILLARD; LALLANA, 2005) e alta capacidade de rebrota, com índices de até 94,3% de cepas brotadas (GRAÇA; TOTH, 1990). Porém, a espécie apresenta certas limitações com relação à propagação vegetativa devido ao baixo índice de enraizamento (PALUDZYSZYN FILHO, SANTOS; FERREIRA, 2006), além da maioria das espécies resistentes ao frio apresentarem recalcitrância ao enraizamento (ASSIS; MAFIA, 2007).

### 2.3.2 *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

*Eucalyptus grandis* ocorre naturalmente na Austrália, em 3 regiões distintas, distribuídas ao norte do estado de New South Wales, ao sul de Queensland (próximo a região costeira e na parte central), e ao norte de Queensland em áreas de altitude (300 a 900 m). Sendo que a maior e principal área localiza-se ao norte do estado de New South Wales Castle (NSW) e em direção ao norte ao redor de Bundaberg (IPEF, 2014).

O clima da região é quente e úmido, com temperatura máxima entre 29 e 32 °C, e a temperatura mínima entre 3 e 6 °C, com geadas ocasionais nas regiões mais interiores da área de ocorrência natural caracterizando a espécie como de baixa tolerância à geadas. 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 e estação seca não passando de 3 meses (BOLAND et al., 1984; FERREIRA, 2015).

*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; 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 (FERREIRA, 2015) e apresenta densidade básica da madeira de 0,45 g cm<sup>-3</sup>, o que pode ser considerada baixa (FOELKEL, 1997).

A madeira de *Eucalyptus grandis*, pela sua fácil trabalhabilidade é utilizada na Austrália e República Sul Africana, como madeira de construção e quando as plantações são devidamente manejadas (ciclos longos), podem produzir madeira de excelente qualidade para serraria e laminação (IPEF, 2014).

No Brasil, *Eucalyptus grandis* é uma das espécies mais plantadas, especialmente na região sudeste onde as produtividades podem atingir 70 m<sup>3</sup> ha ano<sup>-1</sup>, destacando-se também pela hibridação junto a *Eucalyptus urophylla*, propiciando uma das principais fontes de matéria-prima para as indústrias de celulose (GOUVEA et al., 1997; CARVALHO, 2000).

### 2.3.3 *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage

*Eucalyptus benthamii* apresenta distribuição natural no litoral oriental de New South Wales, Austrália, a sudoeste da cidade de Sydney em planícies aluviais ao longo do Rio Nepean e seus afluentes (HALL; BROOKER, 1973; KELLY, 1982).

O clima da região é quente e úmido, com uma precipitação média anual variando de 730 a 1.010 mm, com regime de chuva no verão e tempo de seca de 3 meses. A média da temperatura anual oscila de 13 °C a 17 °C, com média das temperaturas máximas do mês mais quente entre 26 °C a 30 °C e, média das temperaturas mínimas do mês mais frio de -1 °C a 3 °C, com ocorrência de 4 a 10 geadas por ano na localização sul, e de 30 a 40 na

localização nordeste, caracterizando a espécie como tolerante a geadas e também a secas (JOVANOVIC; BOOTH, 2002).

Os solos na região de ocorrência são rasos a moderadamente profundos (<100 cm) e bem drenados, com valores de pH variando de 5,5 a 6,5 e com melhor desenvolvimento em Neossolos Flúvicos (solos aluviais) (NSW, 2000; TOZER, 2003). Apresenta rápido crescimento e excelente capacidade adaptativa em vários sítios, com altura variando de 30 a 45 m (BENSON; McDOUGALL, 1998; KJAER et al., 2004).

*Eucalyptus benthamii*, na Austrália, é listado como uma espécie ameaçada de extinção (NSW, 2000; POTTS; BARBOUR; HINGSTON, 2001). Entre as principais ameaças a espécie destacam-se: a baixa viabilidade das sementes, devido ao alto grau de endogamia e autofecundação, a baixa regeneração natural, concorrência com espécies introduzidas, alterações nos regimes hídricos, incêndios, aumento das áreas urbanas e a intensa atividade agrícola na área de ocorrência natural (KJAER et al., 2004; BUTCHER; SKINNER; GARDINER, 2005).

A população indivíduos da espécie é de aproximadamente 6.500 árvores no Vale Kedumba e a três populações remanescentes: 300 árvores ao longo do Rio Nepean até a Bacia Bents, 9 árvores na Wallacia e 30 árvores em Camden, com idade estimada dos indivíduos entre 35 a 200 anos (BUTCHER; SKINNER; GARDINER, 2005).

Alguns pesquisadores identificaram grande probabilidade de uso da espécie para fins industriais e energéticos, porém não recomendado para serraria e óleos essenciais devido ao baixo rendimento (HIGA; PEREIRA, 2003; LITTLE; GARDNER, 2003; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006).

Em relação aos aspectos silviculturais, de acordo com estudo realizado pela Embrapa Florestas, na região de Colombo-PR, *Eucalyptus benthamii* apresentou alta resistência à geada, rápido crescimento, boa forma de fuste e alta homogeneidade do talhão (GRAÇA; SHIMIZU; TAVARES, 1999), sendo que aos 8 anos de idade, estimou-se altura média de 21,7 m e DAP médio de 18,2 cm (HIGA; PEREIRA, 2003). A densidade básica da madeira pode variar de 0,46 a 0,48 g cm<sup>-3</sup> (BOCAGE; ULERY, 2005; HIGA; PEREIRA, 2003).

Essas características indicam *Eucalyptus benthamii*, como uma boa alternativa para reflorestamentos em regiões de clima frio, principalmente onde existe a ocorrência de geadas frequentes e severas, como no sul do Brasil (HIGA; PEREIRA, 2003; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006).

#### 2.3.4 *Eucalyptus saligna* Smith

De acordo com Silva (2001), *Eucalyptus saligna* é a segunda espécie de eucalipto mais cultivada no Brasil, porém apresenta suscetibilidade às geadas severas, o que limita seu cultivo em diversas regiões. Apresenta alta capacidade de regeneração por brotação das cepas, tornando a espécie economicamente atrativa.

Com ocorrência natural na Austrália, a espécie é encontrada principalmente na região litorânea e vales das cadeias montanhosas próximas ao litoral de New South Wales, além da região sul de Queensland, com altitudes variando desde o nível do mar até 1100 m. Apresenta bom crescimento em solos franco-arenoso e em Latossolos profundos e bem drenados (PRYOR, 1976; BOLAND et al., 1984; IPEF, 2014).

O clima é principalmente quente e úmido, com média das temperaturas máximas do mês mais quente entre 24 e 33° C, e a temperatura mínima do mês mais frio entre -2 e 8° C, com ocorrência de 5 a 10 geadas anuais, caracterizando-se por baixa tolerância a geadas. A precipitação anual varia de 900 a 1800 mm, mais concentrada no verão, porém, o período seco não ultrapassa 4 meses (IPEF, 2014).

Na região de origem as plantações com *Eucalyptus saligna* apresentaram os melhores crescimentos em solos bem drenados, com altitudes entre 300 e 610 m e precipitação média anual de 2500 mm (BOLAND et al., 1984).

A espécie é de floresta aberta alta, com árvores de tamanho alto a muito altas, atingindo de 30 a 55 m de altura e mais de 2 m de DAP. Excepcionalmente, pode atingir mais de 65 m de altura e 2,5 m de DAP. Apresenta excelente forma do fuste. A copa alcança 1/2 a 1/3 da altura total da árvore. A madeira apresenta densidade básica de 0,54 g/cm<sup>3</sup> (IPEF, 2014).

A madeira de *Eucalyptus saligna* é indicada para diversos usos, principalmente para celulose, painéis, postes e energia, não apresentando boa qualidade na madeira serrada, em plantações de ciclos longos, devido a rachaduras provocadas por tensões de crescimento. Apesar de possuir maior densidade em relação ao *Eucalyptus grandis*, estas duas espécies apresentam afinidades químicas e tecnológicas semelhantes (IPEF, 2014).



### 2.3.5 *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, popularmente conhecido como *E. urograndis*, 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).

*E. 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 contexto, Montanari et al. (2007) descrevem que *Urograndis* apresenta boa adaptação a diferentes sítios florestais, com bons índices de produtividade, além de melhores características da madeira para diversos fins industriais.

Costa (2011) destaca que *E. urograndis* possui uma madeira de maior densidade em relação às espécies que o originou, colocando-o como um dos clones mais plantados em reflorestamentos no Brasil, devido a sua grande capacidade de produção de celulose.

## 2.4 Produção florestal e sustentabilidade nutricional

Água e nutrientes são os recursos do ambiente físico, determinantes para a produtividade em plantações florestais, estabelecidas nas condições de solo e clima predominantes em regiões tropicais (BINKLEY, 1986; BARROS e COMERFORD, 2002; LAMBERS et al., 2008). Porém, além destes fatores, observa-se nestas áreas um grande dinamismo e variabilidade no comportamento produtivo das plantações provocado pela idade do povoamento (estágio de desenvolvimento), fertilidade do solo, densidade de plantio e espécie (BINKLEY et al., 1997; RYAN et al., 2010).

Entretanto, quando se busca atingir e garantir a manutenção de elevadas taxas de crescimento em níveis sustentáveis, mesmo em condições de disponibilidade hídrica elevada, se requer adequada suplementação nutricional através do manejo da fertilização mineral (GONÇALVES et al., 2005; SILVA, 2006;).

Os ecossistemas florestais, naturais ou implantados, são sistemas abertos sujeitos a uma série de entradas e saídas de compostos inorgânicos e elementos químicos, muitos deles

fundamentalmente essenciais para o desenvolvimento vegetal (EPSTEIN & BLOOM, 2006; PALLARDY, 2008). Nestes ambientes, o suprimento de grande parte da demanda de nutrientes das árvores é garantido pelos processos de ciclagem (RAMEZOV, 1959; SWITZER e NELSON, 1972), sendo que o retorno de nutrientes via deposição de serapilheira representa a via mais importante nesta dinâmica (GONÇALVES e MELLO, 2004), principalmente em áreas com solo altamente intemperizado e de baixa fertilidade, onde a biomassa acumula o maior estoque de nutrientes (REIS et al., 1989).

Além disso, a matéria orgânica associada à serapilheira exerce papel fundamental para o fornecimento de nutrientes às espécies florestais, contribuindo diretamente para a retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos, estabilidade da estrutura, retenção de água e aeração do solo, e atuando junto à atividade da biomassa microbiana, constituindo-se, dessa forma, também, um elemento essencial da sua capacidade produtiva (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

De acordo com Switzer e Nelson (1972) os processos de ciclagem podem ser descritos como:

- Ciclo geoquímico: Entrada de elementos minerais provenientes da decomposição da rocha matriz, fixação biológica de nitrogênio, fertilizações, deposições de poeiras/gases e pela precipitação pluviométrica. A saída dos elementos minerais do sistema ocorre através da erosão, lixiviação, queima (volatilização) e, principalmente, da colheita das árvores.
- Ciclo biogeoquímico: A produção da biomassa vegetal ocorre através da retirada dos elementos minerais do solo, pelo sistema radicular da planta. Os elementos acumulados na biomassa, em parte, são devolvidos ao solo através da deposição da serapilheira, que através da mineralização são reabsorvidos pelo sistema radicular.
- Ciclo bioquímico: Nos processos de absorção, devolução e reabsorção dos nutrientes, alguns elementos se translocam no interior da planta. Esse processo de translocação ocorre principalmente entre elementos minerais alocados nos tecidos senescentes, que são realocados nos tecidos mais jovens, onde se encontram as maiores atividades metabólicas.

A compreensão da dinâmica dos processos de ciclagem é imprescindível para o desenvolvimento de tecnologias e adequação do manejo florestal, principalmente a reposição nutricional (GONÇALVES et al., 2000), além de permitir que se obtenha informações sobre a

distribuição de nutrientes no ecossistema, que permitirão inferir sobre os fluxos entre os diferentes compartimentos da floresta: a biomassa aérea das árvores, a serapilheira, a biomassa das raízes, o solo, dentre outros (SCHUMACHER et al., 2003; POGGIANI e SCHUMACHER, 2004; VITAL et al., 2004; VIERA; SCHUMACHER, 2010).

O conhecimento da distribuição da biomassa e dos 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).

Em sítios mais produtivos, onde a remoção de nutrientes ocorre em maiores quantidades a cada rotação, existe a tendência de se 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).

A despeito de existir uma maior exaustão dos nutrientes do sistema com o aumento da intensidade da colheita, sendo essa uma das mais importantes vias de remoção dos nutrientes do ambiente (LANDSBERG, 1986; PRITCHETT, 1990), na prática, o esgotamento absoluto não acontece. O que se observa, é a transição de um nível de produtividade em um ciclo, para um nível de produtividade inferior no ciclo seguinte, e assim sucessivamente (WITSCHORECK, 2008).

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

Portanto, parâmetros fundamentados na eficiência do genótipo e da sua compatibilidade com a fertilidade do solo, contribuirão para a escolha adequada da espécie, permitindo que genótipos pouco eficientes na absorção de um determinado nutriente possam ser implantados em solos com boa disponibilidade desse ou recebê-lo via adubação (SANTANA et al., 1999).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização das áreas de estudo

O presente estudo foi realizado nos municípios de Alegrete e São Francisco de Assis – RS, em três áreas pertencentes à StoraEnso Florestal – RS, com coordenadas geográficas centrais de 55° 32' 53" de longitude Oeste e 29° 47' 60" de latitude Sul (Fazenda Cabanha da Prata – Alegrete), 55° 34' 38" de longitude Oeste e 29° 46' 43" de latitude Sul (Fazenda Chica Barbosa – Alegrete) e 55° 19' 26" de longitude Oeste e 29° 33' 44" de latitude Sul (Fazenda Antoniazzi – São Francisco de Assis), (Figura 2).

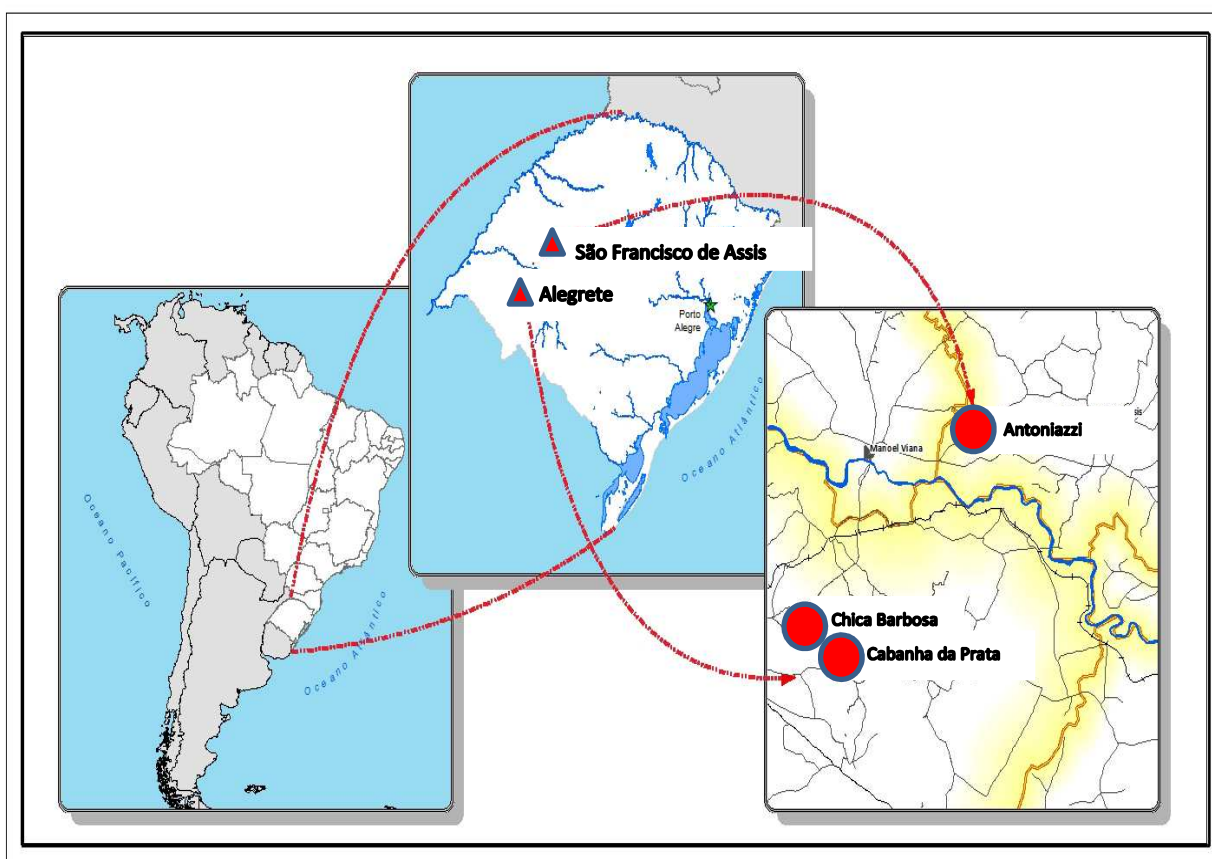


Figura 2 – Localização das áreas com cultivo de eucaliptos no município de Alegrete e São Francisco de Assis-RS.

Fonte: StoraEnso Florestal RS (2014).

### 3.2 Caracterização edafoclimática

O solo das áreas 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 (Figura 3). Quimicamente são solos com valores médios a altos de bases trocáveis, 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.



Figura 3 – Perfil do solo em área adjacente ao plantio de eucalipto.

Fonte: StoraEnso Florestal RS (2014).

O clima da região de acordo com a classificação apresentada por Maluf (2000) é considerado subtropical úmido, com geadas de maio a setembro, e calor intenso, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, sendo a temperatura média dos meses mais quentes, maior que 22 °C, podendo ultrapassar 35 °C, em que os verões podem apresentar período de seca e temperatura média dos meses mais frios, menor que 18 °C, com mínimas de -2 °C.

A precipitação é normalmente bem distribuída durante todo ano, com índices pluviométricos variando de 1.250 a 1.700 mm, sem estação seca definida, com ventos dominantes de Sudoeste, no inverno e Nordeste, na primavera. Na Figura 4, estão representadas as médias mensais das variáveis climáticas (precipitação e temperatura), no município de Alegrete-RS, em um período de 30 anos.

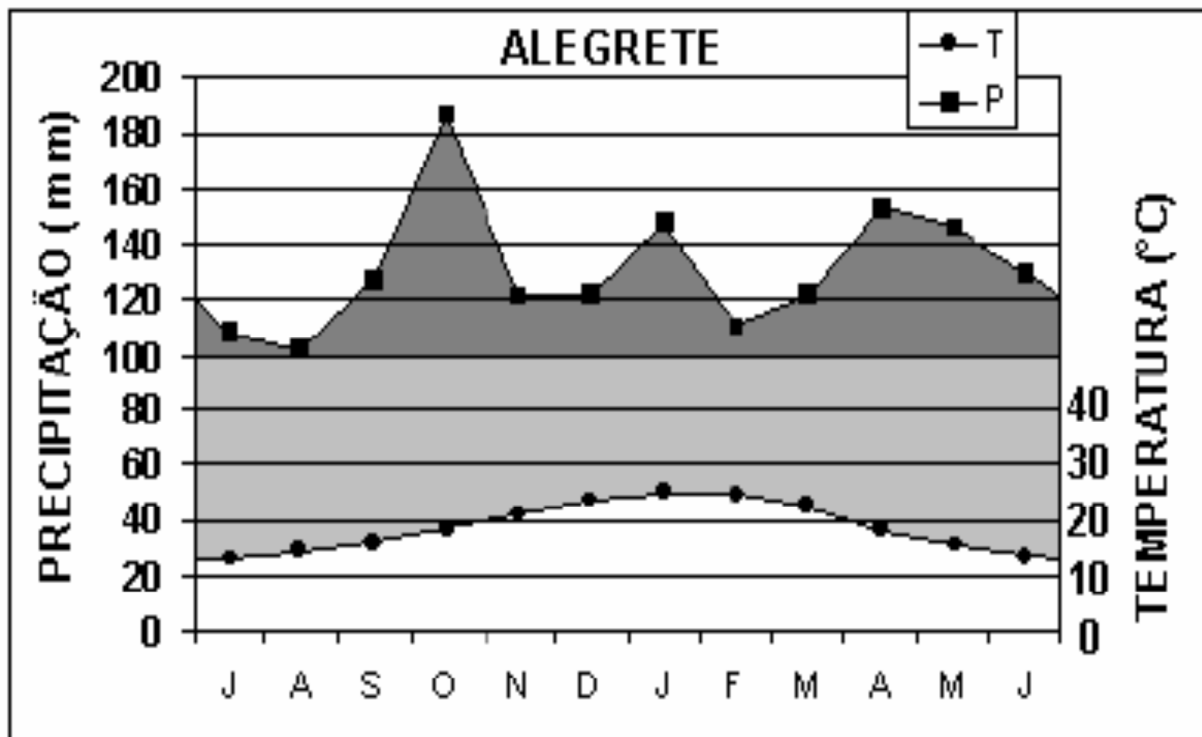


Figura 4 – Diagrama climático do município de Alegrete-RS.

Fonte: Buriol et. al, (2007)

### 3.3 Aspectos silviculturais

Foram avaliados cinco materiais genéticos, sendo estes, provenientes de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (Figura 5-A) e mudas seminais de *Eucalyptus benthamii* (Figura 5-B), localizados na Fazenda Cabanha da Prata; mudas seminais de *Eucalyptus dunnii* (Figura 5-C) e *Eucalyptus grandis* (Figura 5-D), localizados na Fazenda Chica Barbosa; e mudas clonais de *Eucalyptus saligna* (Figura 5-E), localizado na Fazenda Antoniazzi.



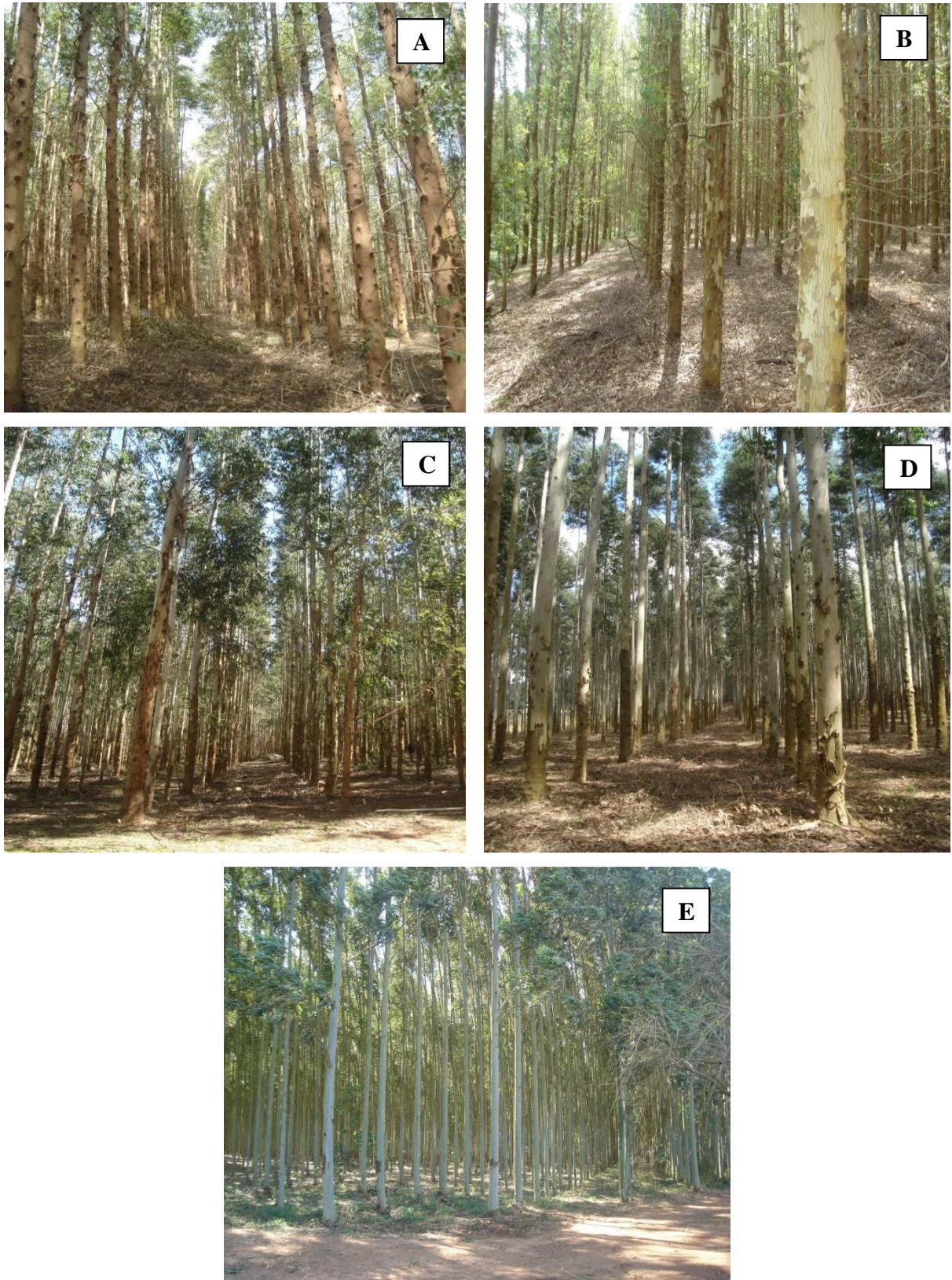


Figura 5 – Espécies de eucalipto, aos sete anos, plantadas no Bioma Pampa. A- *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (clone), B- *Eucalyptus benthamii* (semente), C- *Eucalyptus dunnii* (semente), D- *Eucalyptus grandis* (semente), E- *Eucalyptus saligna* (clone).

Fonte: StoraEnso Florestal RS (2014).

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  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de isca formicida granulada. O segundo controle, também sistemático, foi realizado 15 dias antes do plantio com a distribuição de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  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  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de herbicida Scout NA (glifosato). A subsolagem foi realizada 30 dias antes do plantio, utilizando subsolador com três hastes, incorporando  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato natural reativo (GAFSA, 12%  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel em ácido cítrico) no centro da linha para o plantio e a 40 cm de profundidade, seguido de gradagem leve.

Os plantios foram realizados manualmente, em setembro de 2007, apresentando uma densidade inicial de: 1142 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (espaçamento de 3,5 m x 2,5 m) para *E. urograndis*, e 1428 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (espaçamento de 3,5 m x 2,0 m), para *E. benthamii*, na fazenda Cabanha da Prata; 1428 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (espaçamento de 3,5 m x 2,0 m), para *E. dunnii* e *E. grandis*, na fazenda Chica Barbosa; e 1142 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (espaçamento de 3,5 m x 2,5 m), para *E. saligna*, na fazenda Antoniazzi. 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-K de 06-30-06 + 0,6% B, 110 g planta<sup>-1</sup> dividida em duas sub-doses de 55 g, aplicada a 15 cm de cada lado da muda e incorporadas a 10 cm de profundidade. A segunda adubação foi realizada aos 90 dias pós-plantio, utilizando a fórmula 20-05-20 + 0,2% B + 0,4% Zn, 122 g planta<sup>-1</sup> aplicada manualmente, distribuída sobre o solo no formato de meia lua, sob a projeção da copa. A terceira, aos 270 dias, utilizando a fórmula 22-00-18 + 1% S + 0,3% B, 122 g planta<sup>-1</sup> aplicada mecanicamente na entrelinha em filete contínuo. 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  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de herbicida Scout (glifosato).



### 3.4 Medição dos plantios florestais

Os dados foram coletados em agosto e setembro de 2014, quando os povoamentos encontravam-se com sete anos de idade. Para se determinar as variáveis de crescimento, inicialmente realizou-se um inventário das unidades amostrais. Foram instaladas quatro parcelas (10 m x 30 m) distribuídas de forma aleatória, para as cinco espécies do estudo, mediram-se todos os diâmetros a altura do peito (DAP, em cm) com fita diamétrica e todas as alturas das árvores (H, em m) nas parcelas com hipsômetro Vertex. Após as medições realizou-se a distribuição por classe diamétrica onde se determinaram três classes, sendo a primeira classe de 10 a 16 cm, a segunda de 16,1 a 22 cm e a terceira classe de 22,1 a 28 cm.

#### 3.4.1 Modelagem e tratamento estatístico

Para se determinar as equações hipsométricas e volumétricas foram testados quatro modelos (Tabela 1), no programa estatístico SAS (2003). As equações foram selecionadas considerando o maior coeficiente de determinação ajustado em função do número de coeficientes do modelo ( $R^2$  ajustado) e o menor padrão relativo da estimativa (Syx %).

O contraste das médias para as variáveis DAP (diâmetro a altura do peito em cm), altura (metros), G (área basal  $m^2 ha^{-1}$ ) e volume da árvore ( $m^3$ ), entre as espécies, foi tratado pelo 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 variável avaliada.

Tabela 1: Modelos para ajuste das equações hipsométricas e volumétricas em plantios de eucaliptos, aos sete anos, no Bioma Pampa.

Hipsométricos	Volumétricos
$H = B_0 + B_1 \cdot 1/DAP^2$	$V = B_0 + B_1 \cdot DAP$
$LnH = B_0 + B_1 \cdot lnDAP$	$Log V = B_0 + B_1 \cdot logDAP + B_2 \cdot LogH$
$H = B_0 + B_1 \cdot DAP + B_2 \cdot DAP^2$	$V = B_0 + B_1 \cdot DAP + B_2 \cdot DAP^2$
$LnH = B_0 + B_1 \cdot 1/DAP$	$Log V = B_0 + B_1 \cdot Log(DAP \cdot H^2)$

Fonte: Finger (1992).

### 3.5 Determinação da biomassa e dos nutrientes

Para a determinação da biomassa arbórea, foram selecionadas três árvores por classe diamétrica sendo uma árvore no limite inferior, uma árvore no limite central e uma árvore no limite superior de cada classe, totalizando nove árvores por espécie.

As árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo, cubadas pela metodologia proposta por Smalian, conforme descrito por Finger (1992), fracionadas nos componentes: folha, galho (verde e seco), casca do tronco, madeira do tronco e raiz. A biomassa no campo foi determinada através da pesagem com balança de gancho, com precisão de 50g.

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 do tronco e casca do tronco 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 escolhidas pela árvore localizada no limite central de cada classe diamétrica.

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.

Para se determinar a serapilheira acumulada em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , coletou-se 20 amostras por espécie, distribuídas aleatoriamente nas parcelas do inventário (cinco amostras por parcela), utilizando uma moldura de 25 cm x 25 cm.

Todas as amostras foram pesadas no campo em balança com leitura de precisão de 0,01 g, posteriormente foram devidamente embaladas, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais/UFSM.

Para se determinar a massa seca, as amostras foram acondicionadas em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C e durante o processo de secagem as amostras foram pesadas em balança com leitura de precisão 0,01 g até atingirem peso constante. As análises químicas foram realizadas segundo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

A estimativa da biomassa arbórea por hectare foi determinada por análise de regressão aplicada aos dados do inventário e extrapolação com base na área da unidade amostral.

O estoque de nutrientes em  $\text{kg ha}^{-1}$  (macronutrientes) e  $\text{g ha}^{-1}$  (micronutrientes), alocado nos componentes das árvores (folha, galho, casca do tronco, madeira do tronco e raiz), foi obtido através da extrapolação do teor de cada nutriente (macronutriente em  $\text{g kg}^{-1}$  e micronutriente em  $\text{mg kg}^{-1}$ ), observado na massa seca média das amostras, para os componentes das árvores individuais selecionadas por parcela.

Após determinado os estoques de nutrientes para cada componente na parcela, utilizou-se o mesmo procedimento de extrapolação para se determinar o estoque total de nutrientes alocados na biomassa seca dos componentes por hectare.

A estimativa da serapilheira acumulada foi determinada através da massa seca média observada na moldura de 25 cm x 25 cm, extrapolada para a área das respectivas parcelas, referente a cada espécie, e após determinada a serapilheira acumulada nas parcelas, utilizou-se o mesmo procedimento de extrapolação para se determinar a serapilheira acumulada por hectare.

O estoque de nutrientes em  $\text{kg ha}^{-1}$  (macronutrientes) e  $\text{g ha}^{-1}$  (micronutrientes), alocado na serapilheira acumulada, foi obtido através da extrapolação do teor médio de cada nutriente (macronutriente em  $\text{g kg}^{-1}$  e micronutriente em  $\text{mg kg}^{-1}$ ), observado nas molduras, extrapolando-se para a área das respectivas parcelas referente a cada espécie, e após, utilizou-se o mesmo procedimento de extrapolação para se determinar os estoques alocados na serapilheira acumulada por hectare.

### 3.5.1 Modelagem e tratamento estatístico

A modelagem de regressão, para a biomassa individual total das árvores e seus respectivos componentes (folha, galho, casca do tronco, madeira do tronco e raiz), em kg, bem como os seus respectivos teores de nutrientes (macronutriente em  $\text{g kg}^{-1}$  e micronutriente em  $\text{mg kg}^{-1}$ ), foi processada no programa estatístico SAS (2003), utilizando a programação “proc stepwise – opção forward”.

Foi considerado como variáveis dependentes, a biomassa de cada componente (kg), os teores de nutrientes (macro nutriente em  $\text{g kg}^{-1}$  e micronutriente em  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e suas variantes aritméticas e logarítmicas (logaritmo natural), e como variáveis independentes o DAP (cm),

altura (m) e volume ( $\text{m}^3 \text{ árvore}^{-1}$ ), bem como as suas respectivas variantes aritméticas e logarítmicas (logaritmo natural).

Para se avaliar a qualidade do ajuste das equações considerou-se, como principais estatísticas, o coeficiente de determinação ajustado em função do número de coeficientes do modelo ( $R^2$  ajustado) e o erro padrão relativo da estimativa (Syx %).

O contraste das médias, observado entre as espécies, foi tratado pelo 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 variável avaliada.

### **3.6 Estimativa do estoque de nutrientes no solo**

Para a caracterização física e química e estimativa dos estoques totais de nutrientes no solo, e disponíveis, até 100 cm de profundidade, foram coletadas amostras nas mesmas trincheiras onde foram extraídas as raízes, nas camadas de 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 100 cm.

Concomitantemente à coleta das amostras do solo na área com eucalipto, coletaram-se em uma área adjacente com campo nativo, amostras que foram utilizadas para avaliar os efeitos do plantio com eucalipto sobre os nutrientes do solo.

Durante as coletas de solo para as análises químicas, também foram coletados nos pontos médios das camadas de 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 100 cm, amostras utilizando-se anéis volumétricos de Kopecky, para se determinar as densidades 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 dos estoques totais de nutrientes no solo e disponíveis para a absorção pelas árvores, nas camadas de 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 100 cm de profundidade, foi realizada através do produto entre a massa do solo e a concentração de nutrientes obtida no ponto médio de cada camada.

Especificamente para o nitrogênio, devido a sua grande dinâmica no solo, e por estar contido em formas pouco ou não disponíveis (frações húmicas muito estáveis), considerou-se apenas 10% como disponível para as plantas (GONÇALVES; MENDES; SASAKI, 2001).

### 3.7 Implicações silviculturais e ecológicas

#### 3.7.1 Remoção de nutrientes pela colheita e estimativa do número de rotações de produção

A estimativa da remoção dos nutrientes, para as cinco espécies aos sete anos de idade, foi calculada considerando as entradas de nutrientes via precipitação atmosférica, fertilização mineral e os nutrientes alocados na serapilheira.

A entrada de nutrientes via precipitação atmosférica considerou as 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.

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 nas áreas deste estudo (Tabela2).

Tabela 2 – Entrada de nutrientes nas áreas com plantios de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Precipitação pluviométrica (úmida e seca)								
N	P	K	Ca	Mg	S			
(kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )								
5,4	0,6	8,3	5,7	2,1	2,7			
Fertilização mineral								
Adubação			N	P	K	S	B	Zn
			(kg ha <sup>-1</sup> )					
Mudas clonais	Preparo de solo		-	36	-	-	-	-
	Adubação de Plantio		8	38	7	-	0,8	-
	Cobertura 1		28	7	28	-	0,3	-
	Cobertura 2		31	-	25	1,4	0,4	0,5
	Total		67	81	60	1,4	1,5	0,5
Mudas seminais	Preparo de solo		-	36	-	-	-	-
	Adubação de Plantio		9	47	9	-	0,9	-
	Cobertura 1		31	8	31	-	0,3	-
	Cobertura 2		35	-	28	1,6	0,5	0,6
	Total		75	91	68	1,6	1,7	0,6

Para as saídas considerou-se a remoção dos nutrientes, alocados na biomassa, sob quatro cenários de colheita:

- Cenário 1 – remoção da madeira do tronco com casca + galho + folha + raiz;
- Cenário 2 – remoção da madeira do tronco com casca + galho + folha;
- Cenário 3 – remoção da madeira do tronco com casca;
- Cenário 4 – remoção da madeira do tronco;

Concomitantemente a estimativa de remoção de nutrientes pela colheita da biomassa, foi determinada a taxa de remoção de nutrientes (TR), de acordo com a metodologia adotada por Viera et al. (2015), utilizando as seguintes equações:

$$1) TR_{\text{madeira + casca + galho + folha + raiz}} = NBT/BT$$

$$2) TR_{\text{madeira + casca + galho + folha}} = NBAS/BAS$$

$$3) TR_{\text{madeira + casca}} = NM + NC/BM + BC$$

$$4) TR_{\text{madeira}} = NM/BM$$

Onde:

TR = kg de nutrientes/Mg de biomassa;

NBT = quantidade de nutrientes na biomassa total, em kg ha<sup>-1</sup>;

BT = biomassa total;

NBAS = quantidade de nutrientes na biomassa acima do solo, em kg ha<sup>-1</sup>;

BAS = biomassa acima do solo, em kg ha<sup>-1</sup>;

NM = quantidade de nutrientes na madeira, em kg ha<sup>-1</sup>;

NC = quantidade de nutrientes na casca, em kg ha<sup>-1</sup>.

BM = biomassa da madeira, em kg ha<sup>-1</sup>;

BC = biomassa da casca, em kg ha<sup>-1</sup>.

A estimativa do número de rotações de produção (NRP) de sete anos, para os materiais genéticos estudados, necessárias para esgotar o estoque de nutrientes do sistema, de acordo com diferentes cenários de colheita da biomassa, foi estimada de acordo com a metodologia utilizada por Bizon (2005).

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

Onde:

- NRP = número de rotações de produção em ciclos de sete anos;
- estoque no solo = nutrientes disponíveis ou trocáveis, até 100 cm de profundidade, em kg ha<sup>-1</sup>;
- estoque na biomassa = nutrientes contidos na biomassa arbórea, em kg ha<sup>-1</sup>;
- saída pela colheita = nutrientes removidos pela colheita, em kg ha<sup>-1</sup>;
- entrada via precipitação atmosférica = entrada de nutrientes via precipitação atmosférica, em kg ha<sup>-1</sup> (acumulada nos sete anos);
- entrada via fertilização mineral = entrada de nutrientes via fertilização mineral, em kg ha<sup>-1</sup> (acumulada de todas as adubações realizadas nas plantações);
- entrada via serapilheira = entrada de nutrientes via serapilheira, em kg ha<sup>-1</sup> (estimada no sétimo ano).

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

### 3.7.2 Determinação da eficiência de utilização de nutrientes

A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) foi determinada pelo coeficiente de utilização biológica (CUB), calculado através da relação entre a quantidade de biomassa de cada componente e os nutrientes nesta distribuídos, ambos com a mesma unidade.

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

### 3.7.3 Estimativa do balanço nutricional e dos custos para reposição nutricional

A estimativa do balanço nutricional foi obtida pela diferença entre a entrada de nutrientes via precipitação atmosférica + entrada de nutrientes via fertilização mineral + entrada de nutrientes disponíveis na serapilheira + os estoques disponíveis no solo, e a saída, em decorrência da remoção dos nutrientes através da colheita da biomassa.

Para a estimativa dos custos da reposição nutricional, foram consideradas as reposições baseadas nas remoções dos nutrientes nos quatro cenários de colheita avaliados, utilizando as mesmas formulações das adubações aplicadas na implantação e manutenção dos povoamentos deste estudo (item 3.3) para se determinar as quantidades totais dos fertilizantes, e atualizou-se o valor do fertilizante em R\$ 1.500,00 por tonelada.

Os custos da operação (mão de obra e equipamentos), foram calculados considerando o valor de R\$ 568,50 para 1 aplicação (até 600 kg ha<sup>-1</sup>), R\$ 825,75 para 1,5 aplicação (600 – 1000 kg ha<sup>-1</sup>), R\$ 1137,00 para 2 aplicações (1000 – 1800 kg ha<sup>-1</sup>), R\$ 1421,25 para 2,5 aplicações (1800 – 2500 kg ha<sup>-1</sup>) e R\$ 1705,50 para 3 aplicações (2500 – 3000 kg ha<sup>-1</sup>).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físicos e químicos dos solos

Na tabela 3 são apresentados os valores referentes aos atributos físicos do solo, nas áreas cultivadas com o eucalipto e na área adjacente com campo nativo.

Tabela 3 – Atributos físicos do solo dos povoamentos de eucaliptos e campo nativo, no Bioma Pampa.

Espécie/Local	Prof	Densidade	Distribuição das Partículas %			
	(cm)	g cm <sup>3</sup>	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
<sup>1</sup> CN - Cabanha da Prata	0-20	1,62	72	6	10	11
	20-40	1,67	72	2	10	15
	40-100	1,58	69	1	3	27
<i>E. urograndis</i>	0-20	1,55	79	4	3	14
	20-40	1,48	75	3	5	17
	40-100	1,57	70	4	5	21
<i>E. benthamii</i>	0-20	1,62	75	6	3	16
	20-40	1,57	74	4	5	17
	40-100	1,48	69	6	5	20
CN - Chica Barbosa	0-20	1,66	77	6	0	17
	20-40	1,51	65	13	1	21
	40-100	1,48	73	3	3	21
<i>E. grandis</i>	0-20	1,60	75	12	4	9
	20-40	1,53	76	6	3	15
	40-100	1,45	67	8	6	19
<i>E. dunnii</i>	0-20	1,43	79	9	6	6
	20-40	1,48	75	9	6	10
	40-100	1,40	76	8	7	9
CN - Antoniazzi	0-20	1,67	54	21	18	6
	20-40	1,64	57	13	15	14
	40-100	1,58	57	4	10	28
<i>E. saligna</i>	0-20	1,66	57	14	13	16
	20-40	1,53	51	14	15	20
	40-100	1,31	47	8	18	27

Onde: <sup>1</sup>CN= Campo Nativo.

Os solos das áreas do estudo apresentam classe textural 4 (teor de argila < 20%), com textura areia franca em superfície para campo nativo, *E. urograndis*, *E. benthamii*, *E. grandis* e *E. dunnii* e textura franco arenosa para *E. saligna*; e em profundidade textura franco argilo arenosa para campo nativo, *E. urograndis*, *E. benthamii*, *E. saligna*; textura franco arenosa para *E. grandis* e textura areia franca para *E. dunnii*. Os valores da densidade aparente encontrados são considerados adequados para a maioria das culturas comerciais (REINERT e REICHERT, 2001).

Analisando a Tabela 4, observam-se diferenças significativas entre os atributos químicos do solo ( $p \leq 0,05$ ), nas áreas cultivadas com eucalipto e as áreas adjacentes com campo nativo, destacando-se a redução dos teores de matéria orgânica em superfície para *E. urograndis*, *E. benthamii* e *E. grandis*, e em todas as profundidades para *E. dunnii*; a redução do pH para *E. saligna*; a redução da CTC<sub>efet</sub> para *E. dunnii*; a redução dos teores de Ca para todas as espécies; a redução dos teores de Mg para *E. urograndis* e *E. dunnii* em profundidade, e para *E. benthamii* e *E. grandis* em superfície; o aumento dos teores de P em superfície para *E. urograndis*, *E. benthamii*, *E. dunnii* e *E. grandis*; o aumento dos teores de K em profundidade para *E. urograndis* e a redução para *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*; o aumento dos teores de S em superfície para *E. urograndis* e *E. grandis*, em profundidade para *E. dunnii*, e em todas as profundidades para *E. saligna*, e a redução para *E. benthamii*; a redução dos teores de Zn para *E. urograndis* e *E. benthamii*; e a redução na saturação por bases e aumento na saturação por alumínio para todas espécies.

Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), 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 ( $0,6 - 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) para *E. saligna*, e é considerado baixo ( $\leq 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) para as demais espécies; o teor de P disponível é considerado muito baixo ( $\leq 7,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. saligna*, e considerado baixo ( $7,1 - 14,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para *E. urograndis* e *E. benthamii*; o teor de K trocável é considerado alto ( $46 - 90 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para *E. saligna*, é considerado médio ( $31 - 45 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para *E. urograndis*, *E. grandis* e *E. dunnii*, e é considerado baixo ( $16 - 30 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para *E. benthamii*; o teor de S é considerado alto ( $> 5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para *E. urograndis*, *E. benthamii* e *E. saligna*, é considerado médio ( $< 2,1 - 5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para *E. grandis* e *E. dunnii*; os teores de B e Cu são considerados altos ( $> 0,3 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $> 0,4 \text{ mg dm}^{-3}$ ); o teor de Zn é considerado alto ( $> 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para *E. saligna*, é considerado médio ( $0,2 - 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para as demais espécies; a saturação por bases é muito baixa ( $< 45\%$ ) e a saturação por Al é alta ( $> 20,0\%$ ) para todas as espécies.

Tabela 4 – Atributos químicos do solo dos povoamentos de eucaliptos e campo nativo, no Bioma Pampa.

Espécie/Local	Prof	MO	pH	CTC <sub>efet.</sub>	Ca	Mg	P	K	S	B	Cu	Zn	V	m
	(cm)	%	(H <sub>2</sub> O)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>							%
<sup>1</sup> CN – Faz. Cabanha da Prata	0-20	1,2a	4,5a	2,1a	1,3a	0,3a	4,8b	29,8a	4,6b	0,6a	5,1a	1,7a	19,2a	19,4b
	20-40	0,8a	4,6a	2,2a	1,0a	0,3a	4,2a	18,8b	7,6a	0,5a	6,9a	1,7a	15,6a	41,8b
	40-100	0,6a	4,7a	2,5a	1,5a	0,5a	2,0b	17,7b	13,6a	0,4a	6,5a	0,8a	25,6a	21,3b
<i>E. urograndis</i>	0-20	0,8b	4,4a	1,9a	0,8b	0,2a	14,0a	36,4a	11,0a	0,6a	3,6a	0,4b	13,6b	43,8a
	20-40	0,7a	4,3a	2,0a	0,4b	0,1b	4,8a	28,7a	7,7a	0,4a	4,3a	0,2b	6,4b	72,1a
	40-100	0,6a	4,3a	2,0a	0,6b	0,1b	2,9a	26,1a	13,7a	0,4a	4,8a	0,2b	7,5b	58,4a
<i>E. benthamii</i>	0-20	0,7b	4,2a	2,3a	0,4b	0,1b	8,3a	26,9b	5,6b	0,6a	3,5a	0,3b	5,7b	75,2a
	20-40	0,7a	4,3a	2,3a	0,5b	0,1b	4,0a	18,4b	6,2a	0,6a	3,9a	0,1b	7,2b	70,8a
	40-100	0,6a	4,4a	2,7a	0,9b	0,3a	3,9a	15,9b	4,5b	0,5a	3,5a	0,1b	13,1b	54,7a
CN – Faz. Chica Barbosa	0-20	1,0a	4,6a	2,6a	1,2a	0,6a	2,6b	66,1a	3,4b	0,5a	3,4a	0,6a	25,9a	25,6b
	20-40	0,9a	4,6a	2,9a	1,0a	0,4a	0,9b	54,0a	1,6b	0,6a	3,6a	0,2a	18,5a	46,6b
	40-100	0,8a	4,7a	3,5a	1,4a	0,5a	3,5a	51,8a	1,0b	1,1b	3,7a	0,1a	22,8a	41,6b
<i>E. dunnii</i>	0-20	0,4b	4,7a	1,6b	0,4b	0,2b	3,8a	44,5b	3,0b	0,5a	3,2a	0,4a	15,1b	52,6a
	20-40	0,4b	4,6a	1,9b	0,3b	0,1b	1,5a	29,1b	3,1a	0,4a	3,9a	0,2a	8,1b	73,0a
	40-100	0,4b	4,6a	1,9b	0,5b	0,1b	1,7b	19,5b	5,2a	0,5a	4,2a	0,1a	9,0b	70,5a
<i>E. grandis</i>	0-20	0,6b	4,5a	2,1a	0,8a	0,3b	4,0a	33,5b	4,2a	0,7a	3,4a	0,5a	19,4b	40,7a
	20-40	0,7a	4,5a	2,7a	0,5b	0,3a	1,6a	33,1b	3,9a	0,7a	5,1a	0,2a	11,4b	64,7a
	40-100	0,6a	4,5a	3,5a	1,4a	0,5a	0,9c	24,3b	2,2b	0,6a	5,9a	0,1a	20,6a	43,9a
CN – Faz. Antoniuzzi	0-20	1,0a	5,0a	4,4a	2,5a	1,2a	5,3a	91,4a	1,1b	0,5a	3,7a	0,8a	50,4a	12,0b
	20-40	1,0a	5,1a	3,6a	1,8a	1,1a	0,9b	88,1a	2,7b	0,5a	3,4a	0,1b	40,1a	11,3b
	40-100	1,1a	5,0a	4,4a	2,1a	1,1a	2,9a	65,0a	4,1b	0,4a	3,9a	0,4a	32,9a	24,2b
<i>E. saligna</i>	0-20	1,0a	4,2b	4,1a	1,5b	0,8a	4,9a	67,6b	6,1a	0,6a	3,2a	0,7a	19,3b	43,6a
	20-40	1,2a	4,5b	3,9a	1,3a	0,8a	1,8a	61,3b	7,9a	0,4a	3,9a	0,3a	22,0b	40,5a
	40-100	1,2a	4,6b	4,0a	1,4b	0,8a	1,8b	48,9a	5,8a	0,5a	3,9a	0,2a	19,7b	43,0a

Onde: <sup>1</sup>CN = Campo Nativo. Letras iguais na vertical, não diferem estatisticamente entre as espécies, e a respectiva área adjacente com campo nativo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-100 cm, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Os maiores estoques de nutrientes, nos solos das plantações com o eucalipto, são observados nas áreas com *E. saligna* (N, K, Mg, Zn), *E. grandis* (Ca, B e Cu), *E. urograndis* (S), e *E. benthamii* (P) (Tabela 5).

Tabela 5 – Estoque total de N e de nutrientes disponíveis no solo dos povoamentos de eucaliptos e campo nativo, no Bioma Pampa.

Espécie/Local	Profundidade (cm)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn
		(kg ha <sup>-1</sup> )								
CN – Faz. Cabanha da Prata	0-20	1771,6	14,3	88,2	745,8	116,9	13,6	1,6	15,0	5,0
	20-40	1193,2	12,1	54,6	560,2	102,3	22,1	1,6	20,1	4,8
	40-100	2349,4	5,1	45,3	745,0	149,3	34,8	0,9	16,7	2,0
Total		5314,2	31,5	188,1	2051,0	368,4	70,5	4,1	51,9	11,8
<i>E. urograndis</i>	0-20	1214,6	21,0	112,2	484,6	58,0	33,9	1,8	11,1	1,4
	20-40	975,1	8,9	84,8	243,9	27,6	22,8	1,3	12,7	0,7
	40-100	2674,1	9,7	247,1	1112,5	144,2	127,0	4,1	45,1	2,3
Total		4863,8	39,6	444,1	1841,0	229,8	183,7	7,2	68,9	4,3
<i>E. benthamii</i>	0-20	1188,6	19,3	87,0	270,4	32,6	17,9	2,0	11,4	0,9
	20-40	1099,2	9,6	57,9	308,4	51,9	19,5	1,8	12,1	0,4
	40-100	2741,5	11,0	141,5	1634,7	296,9	40,6	4,8	36,2	0,9
Total		5029,4	39,9	192	2213,5	381,4	78,0	8,5	59,8	2,2
CN – Faz. Chica Barbosa	0-20	1514,6	7,8	195,6	692,6	217,6	10,1	1,5	10,1	1,7
	20-40	1238,3	2,6	156,7	557,3	151,6	4,6	1,7	10,6	0,5
	40-100	3197,2	9,0	132,6	719,4	163,3	2,6	2,9	9,5	0,3
Total		5950,2	19,4	485,0	1969,2	532,5	17,3	6,1	30,1	2,5
<i>E. dunnii</i>	0-20	631,9	10,9	127,9	243,2	81,7	8,7	1,4	9,1	1,2
	20-40	644,9	4,3	86,3	199,5	42,3	9,2	1,3	11,4	0,7
	40-100	1679,9	14,1	164,1	778,0	110,1	43,9	4,6	35,1	1,2
Total		2956,6	29,4	378,3	1220,7	234,1	61,8	7,4	55,6	3,1
<i>E. grandis</i>	0-20	1018,7	13,2	108,1	518,6	134,6	13,7	2,1	10,9	1,7
	20-40	1043,1	4,9	100,1	327,9	124,9	12,0	2,0	15,7	0,7
	40-100	2692,8	7,8	214,9	2453,3	519,1	19,5	5,3	50,5	0,8
Total		4754,5	25,9	423,1	3299,8	778,6	45,2	9,4	77,2	3,2
CN – Faz. Antoniuzzi	0-20	1415,9	15,6	270,5	1473,9	424,3	3,3	1,6	10,9	2,4
	20-40	1475,3	2,6	255,7	1056,5	393,2	7,8	1,6	9,8	0,3
	40-100	4151,1	7,3	166,4	1080,3	332,8	10,5	1,1	10,1	1,0
Total		7042,3	25,5	692,6	3610,7	1150,3	21,6	4,3	30,8	3,7
<i>E. saligna</i>	0-20	1710,5	16,1	226,7	950,9	312,6	20,4	2,0	10,5	2,3
	20-40	1852,6	6,8	155,3	543,6	207,0	24,4	1,3	11,9	0,8
	40-100	4685,0	9,4	341,9	1497,1	652,3	45,9	3,5	29,1	1,4
Total		8248,2	32,2	723,9	2991,6	1171,9	90,7	6,8	51,5	4,6

Onde: <sup>1</sup>CN = Campo Nativo

Embora os solos das áreas apresentem classe textural 4, no solo com *E. urograndis* e *E. saligna*, observa-se os maiores teores de argila em superfície e profundidade, o que pode explicar os maiores teores e estoques para a maioria dos elementos. Destacando-se que maiores teores de argila proporcionam uma maior retenção e fluxo de água, além de contribuir na dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta.

A redução dos teores de matéria orgânica verificada nos solos com eucalipto em relação ao solo com campo nativo foi evidenciada por diversos pesquisadores (FONSECA et al., 1993; ZINN et al., 2002; BEHERA e SAHANI 2003; SILVA et al., 2009). Este comportamento tende a estar relacionado à oxidação biológica da matéria orgânica original do solo devido ao preparo do solo e tratos culturais, a deposição inicial de serapilheira, bem como as mudanças, proporcionadas pelas plantações florestais, na composição qualitativa da serapilheira (SILVA et al., 2009).

Quanto as demais diferenças observadas nos atributos do solo na área de eucalipto em relação ao campo nativo, os resultados encontrados por Silva et al. (2009), estudando uma área cultivada com eucalipto por 24 anos no cerrado em Planaltina-DF, indicaram elevação nos teores de K, e não ocorreu diferenças significativas nos teores de P, Ca e Mg em relação ao ambiente natural, o que não corresponde ao verificado neste trabalho. Neste caso entende-se que, quanto maior a permanência do componente arbóreo no ambiente, melhor será a sua contribuição ecológica e nutricional para o sistema solo-planta.

Analisando os estoques totais dos nutrientes nos solos cultivados com o eucalipto em relação ao campo nativo, observa-se um aumento no estoque de N para *E. saligna*; de P para todas as espécies; de K para *E. urograndis* e *E. saligna*; de Ca para *E. benthamii* e *E. grandis*; de Mg para *E. benthamii*, *E. grandis* e *E. saligna*; de S, B e Cu para todas as espécies; e de Zn para *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*. Esses resultados indicam que as espécies apresentam comportamentos distintos na ciclagem dos nutrientes e, principalmente, que existe uma contribuição nutricional para o solo com o cultivo do eucalipto, corroborando para a relevância da escolha do material genético, do manejo e do uso da biomassa arbórea.

A redução verificada nos teores e quantidades dos nutrientes, para algumas espécies, e na saturação por bases pode ser explicada pelas grandes quantidades de nutrientes extraídos e alocados na biomassa arbórea, o que também está relacionado ao aumento da saturação por alumínio, pela liberação de  $H^+$  das árvores, promovida pela exportação de cátions do solo (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Apesar de as espécies do gênero *Eucalyptus* apresentar 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), Guimarães et al. (2015a), identificaram em um estudo de crescimento com *Eucalyptus saligna*, aos dois anos de idade, em solos arenosos, nos municípios de São Francisco de Assis e Unistalda-RS, decréscimo de até 50% nos parâmetros de crescimento devido a saturação por Al, a saturação por bases e o teor de Mg trocável.

## 4.2 Caracterização dendrométrica e crescimento

Apesar de não se constatar significância nas diferenças estatísticas entre o DAP e H, verifica-se um maior incremento médio anual com casca (IMA<sub>c/c</sub>) para *E. saligna*, sendo 10, 11, 18 e 25% maior em relação ao *E. grandis*, *E. urograndis*, *E. benthamii* e *E. dunnii*, respectivamente (Tabela 6). Os valores da densidade básica da madeira (DBM) foram obtidos por Rosa (2015), na mesma área deste trabalho, em um estudo do uso da madeira para a produção de painéis particulados.

Tabela 6 – Características dendrométricas dos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Variável	<i>E. urograndis</i>			<i>E. grandis</i>			<i>E. dunnii</i>			<i>E. benthamii</i>			<i>E. saligna</i>		
	Média	$\sigma$	CV	Média	$\sigma$	CV	Média	$\sigma$	CV	Média	$\sigma$	CV	Média	$\sigma$	CV
DAP	18,02a	3,01	15,97	18,34a	4,64	25,30	17,9a	3,68	21,77	19,38a	4,92	25,38	19,04a	4,63	25,28
H	26,67a	2,24	8,08	26,42a	4,31	16,33	24,36a	2,25	9,61	25,67a	3,94	15,36	27,06a	2,12	7,85
G	28,49ab	0,01	28,59	29,06a	0,01	51,79	26,42b	0,01	41,91	27,20ab	0,01	46,17	31,60a	0,19	54,03
V <sub>c/c</sub>	0,34ab	0,12	27,30	0,35ab	0,18	50,01	0,31b	0,14	44,18	0,38a	0,18	52,50	0,39a	0,12	29,15
V <sub>s/c</sub>	0,30a	0,14	29,24	0,32a	0,21	59,49	0,27b	0,14	56,21	0,34a	0,17	52,35	0,34a	0,13	29,84
N	1117			1100			1050			922			1110		
IMA <sub>c/c</sub>	54,25			54,84			45,97			49,87			61,10		
IMA <sub>s/c</sub>	48,32			50,10			40,50			44,46			54,34		
VT <sub>c/c</sub>	379,78			383,88			321,80			349,11			427,55		
VT <sub>s/c</sub>	338,27			350,49			283,50			311,12			380,40		
DBM	0,47			0,41			0,58			0,53			0,49		

Onde: DAP= Diâmetro médio à altura do peito em cm; H= Altura em m; G= Área basal em m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; V<sub>c/c</sub>= Volume árvore individual com casca em m<sup>3</sup>; V<sub>s/c</sub>= Volume árvore individual sem casca em m<sup>3</sup>; N = Número de árvores por hectare; IMA<sub>c/c</sub>= Incremento médio anual com casca em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; IMA<sub>s/c</sub>= Incremento médio anual sem casca em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; VT<sub>c/c</sub>= Volume total c/c em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; VT<sub>s/c</sub>= Volume total sem casca em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; DBM = Densidade básica da madeira em g cm<sup>3</sup>;  $\sigma$  = Desvio padrão; CV= Coeficiente de variação em %; Letras iguais na horizontal, não diferem estatisticamente entre as espécies, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

A diferença observada no IMA, possivelmente pode estar associada ao melhoramento genético do *E. saligna*, por ser proveniente de mudas clonais obtidas de matrizes desenvolvidas no Rio Grande do Sul. Outro aspecto, é que *E. benthamii* e *E. dunnii* apresentam o menor número de árvores por hectare, além de apresentarem a maior frequência (41 e 30%), distribuída no intervalo de classe diamétrica de 10 a 16 cm, enquanto que *E. saligna* apresenta a maior frequência (70 e 23%), seguido pelo *E. urograndis* (78 e 7%), distribuída nos intervalos de classe diamétrica de 16,1 a 22 cm e 22,1 a 28 cm, respectivamente (Figura 6).

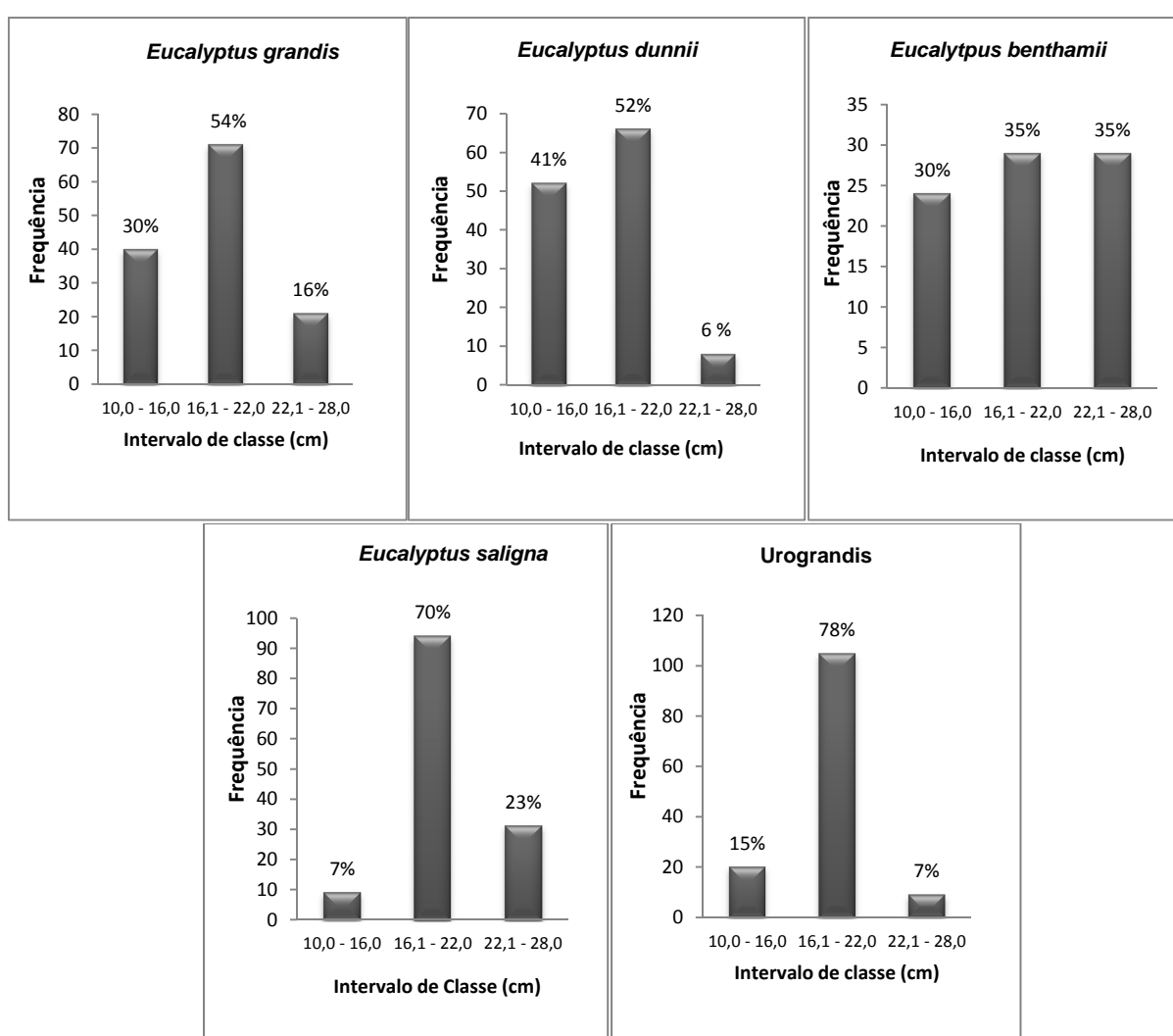


Figura 6: Distribuição por classe diamétrica, para *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus saligna* e *E. urograndis*, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

De acordo com Finger (1992), o maior número de árvores por hectare, encontra-se nas frequências em torno do diâmetro médio do povoamento, decrescendo para os menores e maiores valores de diâmetro. Porém, neste estudo, observa-se que para *E. benthamii* esta tendência não se confirmou, o que pode estar relacionado a procedência desse material, cujas sementes (selvagens) foram coletadas em seu ambiente natural de origem, na Austrália.

Embora a boa sobrevivência verificada nos plantios clonais (> 97%), observa-se o potencial dos plantios seminais indicando que adequações no manejo poderão contribuir para o incremento em produtividade, além do banco genético em escala comercial que já está disponível para estudos de clonagem e hibridação, considerando que estes materiais estão adaptados as condições adversas de clima e solo da região.

O ajuste das equações para as estimativas da altura e volume (Tabela 7), através da análise de regressão, apresentou alto coeficiente de determinação ajustado e baixo erro padrão relativo das estimativas, indicando boa predição para as variáveis.

Tabela 7 – Equações para a estimativa da altura e volume dos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Espécie	Modelo	Estatísticas de ajuste da regressão		
		Prob. > F	R <sup>2</sup> ajust.	Syx(%)
<i>E. saligna</i>	$H = 31,31553 - 1513,94.1/DAP^2$	0,0001	0,8137	6,36
	$\text{Log } V = -3,321635 + 1,2985171.\text{logDAP} + 0,9403579.\text{LogH}$	0,0001	0,9950	6,32
	$\text{Log } V = -3,343036 + 1,289418.\text{logDAP} + 0,9348008.\text{LogH}$	0,0001	0,9963	5,95
<i>E. dunnii</i>	$\text{LnH} = 1,909889 + 0,44095.\text{LnDAP}$	0,0001	0,9198	0,17
	$V = -0,120289 + 0,004644.DAP + 0,0009461.DAP^2$	0,0001	0,9759	10,24
	$V = -0,087971 + 0,0024176.DAP + 0,0008483.DAP^2$	0,0001	0,9797	9,33
<i>E. grandis</i>	$\text{LnH} = 3,879678 - 10,5889.1/DAP$	0,0001	0,9397	0,21
	$\text{Log } V = -3,798667 + 1,8303813.\text{logDAP} + 0,7588608.\text{LogH}$	0,0001	0,9983	4,60
	$\text{Log } V = -3,911918 + 1,9050592.\text{logDAP} + 0,73765.\text{LogH}$	0,0001	0,9984	4,85
<i>E. urograndis</i>	$H = -4,41076 + 2,985537.DAP - 0,06638075.DAP^2$	0,0001	0,9584	2,65
	$\text{Log } V = -3,431403 + 0,6777343.\text{logDAP} + 1,6091175.\text{LogH}$	0,0001	0,9930	7,86
	$\text{Log } V = -3,48463 + 0,6403517.\text{logDAP} + 1,6531673.\text{LogH}$	0,0001	0,9926	8,96
<i>E. benthamii</i>	$H = 31,80838 - 1811,672462.1/DAP^2$	0,0001	0,8996	5,95
	$\text{Log } V = -3,634929 + 1,5414769.\text{logDAP} + 0,894537.\text{LogH}$	0,0001	0,9966	7,21
	$\text{Log } V = -3,688916 + 1,4279525.\text{logDAP} + 0,995249.\text{LogH}$	0,0001	0,9970	8,14

Onde: ln = logaritmo natural; DAP = diâmetro à altura do peito em cm; H = altura total, em m; VC c/c = volume do fuste comercial com casca, em m<sup>3</sup>; VC s/c = volume do fuste comercial sem casca, em m<sup>3</sup>; Prob. > F = nível de significância; R<sup>2</sup>aj. = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa relativo.



### 4.3 Biomassa

Analisando as equações de regressão ajustadas para se estimar a biomassa individual ( $\text{kg árvore}^{-1}$ ), dos diversos componentes das árvores (Tabela 8), observa-se que os modelos gerados se apresentam altamente significativos e com boa capacidade de predição, fundamentados nos valores do coeficiente de determinação ajustados e no erro padrão relativo.

Tabela 8 – Equações de regressão para estimativa da biomassa ( $\text{kg árvore}^{-1}$ ) dos componentes das árvores dos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Esp.	Comp	Modelos	R <sup>2</sup> aj.	Syx(%)
<i>E. urograndis</i>	F	$y = -5,44273^{**} + 0,52327^{**}.d$	0,9280	16,41
	G	$y = 16,52665^{**} - 6,66802^{**}.d^3h^3$	0,8178	8,91
	C	$y = -3,06224^{**} + 0,00087626^{**}.dh^2$	0,9845	7,31
	M	$y = 83,30263^{**} + 15,50483^{**}.vd + 13,10273^{*}Ln v^2$	0,9944	4,43
	BT	$y = 39,64578^{**} + 21,28606^{**}.vd$	0,9899	5,25
	F + G	$y = 15,36401^{**} + 0,00564^{**}.v^3d^3$	0,9033	7,59
	C + M	$y = 88,47032^{**} + 16,46085^{**}.vd - 28,05520^{*}Ln1/v$	0,9946	4,38
<i>Eucalyptus grandis</i>	F	$y = -0,79242^{ns} - 0,00004289^{**}.h.d^3 + 0,00194^{**}.d^3$	0,9805	11,05
	G	$y = 15,27499^{**} + 0,03962^{**}.v^2h^2 - 0,02916^{**}.v^2d^2 - 11586^{**}1/h^2 + 192576^{**}1/h^3$	0,9994	0,96
	C	$y = 2,82856^{**} + 0,00074211^{**}.v^3h^3$	0,9522	14,65
	M	$y = 11,75430^{ns} + 17,20872^{**}.vh - 0,00019905^{*}.d^3h$	0,9946	5,27
	BT	$y = 28,66564^{**} + 25,71262^{**}.vh - 0,00041112d^2h^2$	0,9959	4,42
	F + G	$y = 38,10242^{**} - 1,11589^{ns}.d + 4,20064^{**}.d^3h^3 - 92660^{**}1/d^3 + 71,83027^{**}1/vh$	0,9973	2,62
	C + M	$y = 13,07148 + 18,08197^{**}.vh - 0,000202248hd^3$	0,9944	5,42
<i>Eucalyptus dunnii</i>	F	$y = -0,88490^{ns} + 21,03127^{**}.v$	0,8550	28,11
	G	$y = 19,95561^{**} + 1,313003^{*}.d^3 - 0,00155.d^3h^3$	0,4688	19,44
	C	$y = -3,27890^{ns} + 0,04421^{**}.d^2$	0,9341	17,19
	M	$y = -0,80558^{ns} + 21,70170^{**}.vh - 0,01445^{*}d^3v^3$	0,9909	5,04
	BT	$y = 5,27159^{ns} + 618,77659^{**}.v$	0,9831	7,70
	F + G	$y = 18,52507^{**} + 0,00195^{**}.dv$	0,8119	13,57
	C + M	$y = 9,27931^{ns} + 13,97998^{*}.hv + 0,60712^{*}.d^2v - 0,03917^{**}.d^3v^3$	0,9984	2,87

Tabela 8 – (continuação).

Esp.	Comp	Modelos	R <sup>2</sup> aj.	Syx(%)
<i>Eucalyptus benthamii</i>	F	$y = -0,192074^{ns} + 0,000273411^{**}.d^2h$	0,9283	20,26
	G	$y = 13,87236^{**} + 10,23822^{*}.hv - 0,00049041^{**}.d^2h^2 + 0,00691^{**}.d^3$	0,9382	11,52
	C	$y = -1,80420^{ns} + 74,59571^{**}.v - 1,162225^{*}.hv$	0,9915	6,61
	M	$y = -22,33094^{*} + 869,02702^{**}.v - 0,00034689.d^2h^2$	0,9957	4,76
	BT	$y = -44,85056^{**} + 1348,85096^{**}.v - 0,00071892^{**}.d^2h^2 + 122064^{ns}.1/h^3$	0,9976	3,58
	F + G	$y = 13,96618^{**} + 10,78749^{**}.hv - 0,00050939^{**}.d^2h^2 + 0,00727^{**}.d^3$	0,9647	9,13
	C + M	$y = -23,88367^{*} + 939,37265^{**}.v - 0,00037597^{ns}.d^2h^2$	0,9963	4,48
<i>Eucalyptus saligna</i>	F	$y = 22,82700^{*} + 0,00007554^{**}.d^3h - 0,00295^{**}.d^3v^3 - 4,47819^{*}.1/dv - 4,03830^{**}.Ln d^3v$	0,9979	4,06
	G	$15,43941^{**} + 2,45137^{**}.dv^3 - 0,00252^{ns}.1/v^3$	0,9055	11,68
	C	$y = -1,47618^{ns} + 33,39119^{**}.v$	0,9621	12,15
	M	$y = -23,83989^{*} + 497,21386^{**}.v$	0,9880	6,84
	BT	$y = -18,19384^{ns} + 575,98424^{**}.v$	0,9882	6,45
	F + G	$y = 15,63749^{**} + 2,27555^{**}.dv^2 - 0,00232^{ns}.1/v^3$	0,9601	8,53
	C + M	$y = -25,31174^{*} + 530,59080^{**}.v$	0,9885	6,68

Onde: y = biomassa de folha (F), galho (G), casca do tronco (C), madeira do tronco (M), biomassa total (BT), copa (F + G) e tronco (C + M), em kg árvore<sup>-1</sup>; d = dap (diâmetro à altura do peito, em cm); h = altura total, em m; v = volume, em m<sup>3</sup>; Ln = logaritmo natural; Prob > F = nível de significância para a estatística; R<sup>2</sup> aj. = coeficiente de determinação ajustado em função do número de coeficientes da equação; Syx (%) = erro-padrão da estimativa relativo; ns = não significativo; \* Significativo ao nível de 5% probabilidade de erro; \*\* Significativo ao nível de 1% probabilidade de erro.

A despeito da boa capacidade preditiva das equações, no caso de extrapolações com os modelos de regressão, em outras avaliações, o recomendado é que se faça uma verificação desses modelos, e se necessário, novas amostragens com recalibração das equações ou nova modelagem (WITSCHORECK, 2014).

A maior produção de biomassa foi observada no povoamento de *E. saligna*, com 289,94 Mg ha<sup>-1</sup>; seguido pelo *E. urograndis*, com 231,66 Mg ha<sup>-1</sup>; *E. grandis*, com 228,51 Mg ha<sup>-1</sup>; *E. benthamii*, com 225,35 Mg ha<sup>-1</sup> e pelo *E. dunnii* com 205,62 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 9).

Analisando a produção da biomassa individual média observa-se uma inversão em relação à biomassa total, sendo a maior produção para *E. dunnii*, com 247,36 kg árvore<sup>-1</sup>; seguido pelo *E. saligna*, com 229,85 kg árvore<sup>-1</sup>; *E. benthamii*, com 228,59 kg árvore<sup>-1</sup>; *E. urograndis*, com 220,82 kg árvore<sup>-1</sup> e pelo *E. grandis* com 214,21 kg árvore<sup>-1</sup>.

Apesar de *E. saligna* apresentar volume individual (m<sup>3</sup>), para madeira comercial com casca, 20% superior ao *E. dunnii* (Tabela 6), observa-se que com relação à biomassa individual acima solo (Tabela 9), este comportamento se inverte proporcionando uma

produção de biomassa individual (kg) para *E. dunnii*, 7% superior ao *E. saligna*. A principal variável, que pode explicar essa condição, é a maior densidade básica observada na madeira de *E. dunnii* ( $0,58 \text{ g cm}^{-3}$ ) em relação ao *E. saligna* ( $0,48 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Tabela 6). Além disso, Binkley et al. (1997) argumentam que as causas ecofisiológicas da diferença de produtividade entre espécies provavelmente inclui a habilidade de obter recursos (luz, água e nutrientes), e a eficiência do uso desses recursos para produzir biomassa.

Tabela 9 – Biomassa total e individual por compartimento nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Componente	<i>E. urograndis</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. benthamii</i>	<i>E. saligna</i>
	Mg ha <sup>-1</sup>				
F	3,94 ab	4,37 ab	4,78 ab	2,51 b	5,17 a
G	14,73 b	15,37 ab	19,02 ab	21,18 ab	23,46 a
CT	10,38 a	11,00 a	12,49 a	12,55 a	14,51 a
MT	171,85 ab	169,83 ab	137,59 b	155,76 b	204,49 a
R	30,76 a	27,94 a	31,74 a	33,35 a	42,32 a
BT	231,66 b	228,51 b	205,62 b	225,35 b	289,94 a
BAS	200,90 b	200,54 b	173,88 b	192,00 b	247,62 a
Copa = F+G	18,67 b	19,74 b	23,8 ab	23,69 ab	28,63 a
MCC = MT+CT	182,23 ab	180,83 ab	150,08 b	168,31 ab	219 a
Serapilheira	11,30 bc	12,80 ab	14,00 a	9,30 c	11,80 ab
Serapilheira + BT	242,96 ab	248,25 ab	219,62 b	234,62 ab	301,74 a
Componente	Kg Árvore <sup>-1</sup>				
F	4,09 ab	4,55 ab	6,39 a	2,49 b	4,06 ab
G	15,65 ab	13,96 b	18,73 ab	21,08 a	19,29 ab
CT	9,77 b	9,83 b	16,12 a	12,60 ab	10,85 b
MT	162,51 a	153,93 a	168,59 a	157,17 a	161,52 a
R	28,8 a	31,94 a	37,53 a	35,25 a	34,13 a
BT	220,82 a	214,21 a	247,36 a	228,59 a	229,85 a
BAS	192,02a	182,27 a	209,83 a	193,34 a	195,72 a
Copa = F+G	19,74 b	18,51 b	25,12 a	23,57 ab	23,35 ab
MCC = MT+CT	172,28 a	163,76 a	184,71 a	169,77 a	172,37 a
Serapilheira	10,96 b	12,60 ab	14,43 a	11,34 b	11,44 b
Serapilheira + BT	231,78 a	226,81 a	261,79 a	239,93 a	241,29 a

Onde: F = Folhas; G = Galhos; CT = Casca do tronco; MT = Madeira do tronco; R = Raiz e BT = Biomassa total; BAS = Biomassa acima do solo; MCC = Madeira com casca. 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.

Viera (2015) avaliando o híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus*, aos 10 anos de idade, em Eldorado do Sul-RS, verificou 198,5 Mg ha<sup>-1</sup> de produção de biomassa acima do solo, resultado similar ao observado para as espécies deste trabalho, exceto para *E. saligna*, que apresentou produção superior. Em um estudo com *E. urograndis*, aos 6,5 anos de idade, na região dos Campos das Vertentes-MG, Benatti (2013) encontrou uma produção de 143,87 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa acima do solo.

Gonzalez et al. (2011) analisando o potencial do uso de diversas espécies de eucalipto como bioenergia no sul dos Estados Unidos, verificaram uma produção média de biomassa de 112 Mg ha<sup>-1</sup> aos 4 anos de idade, o que proporcionaria uma produção total no sétimo ano de aproximadamente 198 Mg ha<sup>-1</sup>. Valores semelhantes, também foram observados por Santana et al. (2008), em um estudo com *E. urograndis* e *E. grandis*, aos 4,5 anos de idade, em diferentes regiões do Brasil.

Schumacher e Caldeira (2001) estudando *E. globulus*, Beulch (2013), avaliando *E. saligna*, aos 4 anos de idade e Guimarães et al. (2015b), em estudo com *E. dunnii*, aos 4,5 anos de idade, localizados no município de São Francisco de Assis e de Alegrete-RS, encontraram 83, 89 e 105 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa acima do solo, respectivamente. Turner e Lambert (2008), em outro estudo com *E. grandis* e *E. pilularis*, com 5 anos de idade na Austrália, encontraram uma produção de biomassa consideravelmente inferior, sendo 52,23 e 35,13 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Bernardo et al. (1998) avaliando povoamento de *E. urophylla*, *E. pellita* e *E. camaldulensis*, na região sudeste no Brasil, observaram que o diâmetro, a produção de biomassa por árvore e a biomassa do sistema radicular aumentam conforme se amplia o espaçamento de plantio, mas a produção total da biomassa por hectare diminui. Porém, os resultados observados neste estudo apresentaram uma produção de biomassa, significativamente maior, no arranjo espacial 3,5 m x 2,5 m, para *E. saligna* em relação ao arranjo espacial de 3,5 m x 2,0 m para *E. grandis*, *E. benthamii* e *E. dunnii*, o que indica a superioridade deste híbrido, considerando-se apenas a produção de biomassa.

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.

Segundo Kimmins (1987) e Schumacher (1996), a distribuição de carboidratos, resultantes da fotossíntese, bem como, o padrão de crescimento estrutural dos diferentes componentes de uma árvore pode ser distintos em função dos fatores edafoclimáticos do

ambiente de produção, além da espécie e da densidade de plantio (SCHNEIDER, 1993; SCHUMACHER et al., 2011).

Scheeren et al. (2004), esclarecem que ao manejar um povoamento florestal, deve-se levar em consideração todos os fatores que influenciam no crescimento, de tal maneira que seja aproveitada ao máximo a capacidade produtiva do sítio. Entre estes fatores destaca-se a densidade do povoamento, que se for muito baixa, pode-se não estar aproveitando todo o potencial do sítio, em termos de luz, nutrientes e água. Por outro lado, se a densidade for muito elevada, estes elementos, muitas vezes, não são suficientes para garantir o bom desenvolvimento das árvores do povoamento.

Neste contexto a inferência no manejo, pelo Silvicultor, fundamentada em uma análise acurada das diversas variáveis relacionadas ao crescimento, poderá aumentar sistematicamente os ganhos em produtividade e reduzir os custos de produção.

Os valores observados para a serapilheira acumulada foram semelhantes aos verificados por: Schumacher et al. (2002) avaliando *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cleosiana* e *Eucalyptus grandis*, com nove anos de idade, em Santa Maria-RS; Balieiro et al. (2004) avaliando *Eucalyptus grandis* e *Pseudosamanea guachapele*, com sete anos de idade, em Seropédica – RJ; Kleinpaul et al. (2005) avaliando *Eucalyptus sp.*, com 12 anos de idade, em Santa Maria-RS; e Viera (2012) avaliando o híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus*, com 10 anos de idade, em Eldorado do Sul-RS.

Contrastando com os valores observados, Zaia e Gama-Rodrigues (2004) avaliando *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita*, com seis anos de idade, em Campos dos Goytacazes-RJ, verificaram valores inferiores aos observados nesse estudo. A mesma tendência foi constatada por: Schumacher et al. (1994) avaliando *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis*, com sete anos de idade, e *Eucalyptus torelliana*, com dez anos de idade, em Anhembi-SP; Souza e Davide (2001) avaliando *Eucalyptus saligna*, com 13 anos de idade, e *Mimosa scabrella*, com sete anos de idade, em área de mineração de bauxita em Poços de Caldas-MG; e Santiago et al. (2011) avaliando *Eucalyptus globulus* Labill., com 14 anos de idade, na Espanha.

Figueiredo Filho et al. (2003), explicam que a variação na deposição de serapilheira, está relacionada a fatores, abióticos e bióticos, como tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, regimes de luminosidade, relevo, disponibilidade hídrica e características do solo, destacando-se o clima como um dos mais importantes.

A partição relativa da biomassa por componente, entre os cinco materiais genéticos, apresentou a mesma tendência decrescente de distribuição em madeira > raiz > galho > casca > folha (Figura 7).

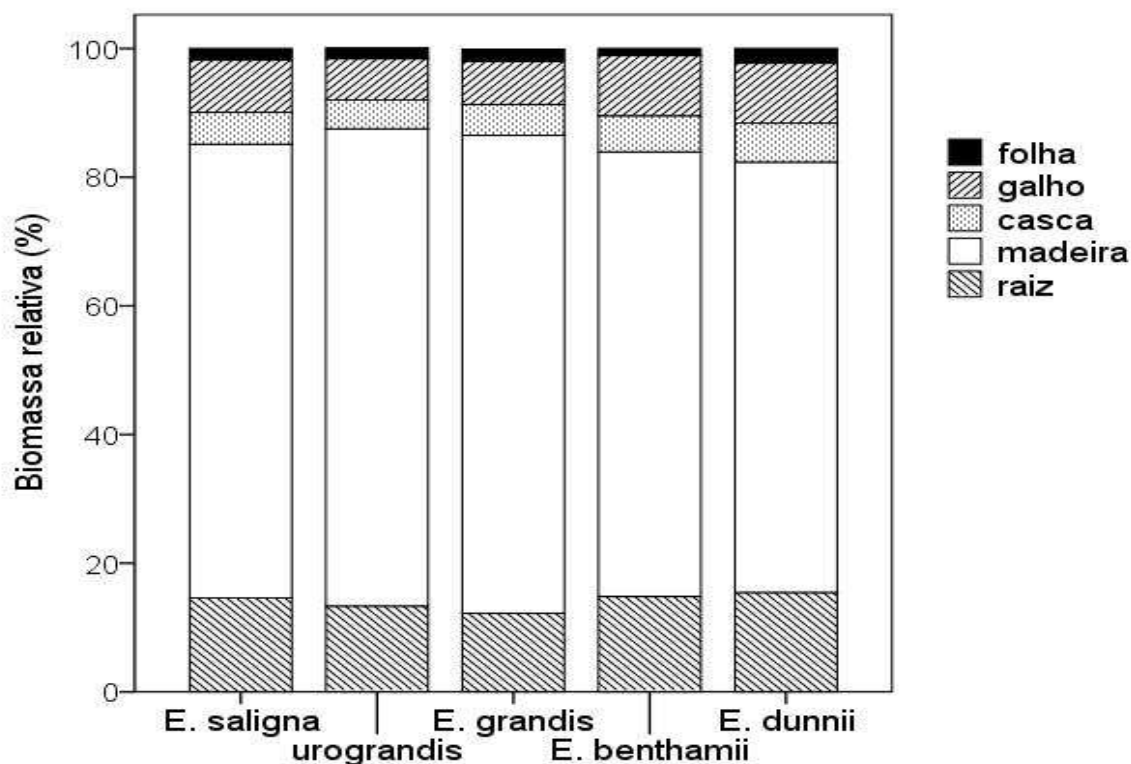


Figura 7 – Partição relativa da biomassa total dos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Analisando a compartimentalização, observa-se que *E. urograndis* e *E. grandis* acumularam 74% da biomassa total na madeira do tronco, seguido pelo *E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*, com 70, 69 e 67%, respectivamente. Considerando apenas a biomassa acima do solo, para este mesmo componente, verifica-se que *E. urograndis* e *E. grandis* acumularam 85% seguido pelo *E. saligna* 83%, *E. benthamii* 81% e *E. dunnii* 79%, e, quando se acrescenta a casca obtêm-se 90% para *E. urograndis* e *E. grandis* e 88, 87 e 86% para *E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii* respectivamente.

Este padrão de distribuição foi observado por diversos pesquisadores. Poggiani et al. (1983) e Pereira et al. (1984) estudando *E. saligna*, com 8 e 9 anos de idade, identificaram que 85% da biomassa aérea encontrava-se nos componentes madeira com casca.

Schumacher (1998), avaliando *E. globulus*, com 4 anos de idade observou que a madeira do tronco com casca representam 72% da biomassa acima do solo. O 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; Spangenberg et al. (1996), com *E. urograndis* e por Santana et al. (2008) com diversas espécies de eucalipto aos 4,5 anos de idade, os quais identificaram que 90% da biomassa estão distribuídos nestes mesmos componentes.

Viera (2012) e Beulch (2013) verificaram em estudos com o híbrido *E. urophylla* x *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. A mesma tendência de distribuição, também foi observada por Guimarães (2014), estudando *E. urograndis*, *E. grandis*, *E. dunnii* aos 4,5 anos de idade no município de Alegrete-RS.

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.

Schumacher et al. (2011), avaliando povoamentos de *Eucalyptus* spp. com diferentes idades, observaram que aos 2 anos de idade, 47% da biomassa estava alocada na madeira do tronco, e que aos 8 anos de idade, a proporção da biomassa na madeira do tronco aumentou para 74,4 %, com a redução da biomassa relativa dos demais componentes.

A diferença na alocação da biomassa nos componentes arbóreos é muito dinâmica e apresenta grandes mudanças com a idade do povoamento, fertilidade do solo, densidade de plantio e espécie (BINKLEY et al., 1997). Em um estudo dos processos, que podem provocar as mudanças na produtividade e na alocação da biomassa nos componentes das árvores, com a idade dos povoamentos florestais, Ryan et al. (1997), concluíram que o declínio da produtividade está fortemente relacionado com a redução da área foliar e a diminuição da capacidade fotossintética com a idade das árvores.

Gonçalves e Mello (2004), explicam que os povoamentos florestais se desenvolvem em dois estágios nutricionais, onde no primeiro estágio, durante a fase de adaptação a campo (antes do fechamento das copas), entre um a três meses pós-plantio, a maior parte da alocação dos nutrientes, embora pequena, e fotoassimilados é para garantir o suprimento de água através da síntese das raízes. Com as plantas devidamente estabelecidas, a alocação dos fotoassimilados é direcionada para a copa e sistema radicular (raízes finas), o que proporciona uma fase de intenso crescimento e acúmulo de nutrientes. No segundo estágio (após o fechamento das copas), o maior acúmulo de biomassa e nutrientes é direcionado para o tronco, devido à relativa estabilidade alcançada no desenvolvimento da copa, em função do autossombreamento que proporciona um limite à área foliar.

#### 4.4 Nutrientes na biomassa e serapilheira

Os teores de macro e micronutrientes, alocados na biomassa, diferiram significativamente ( $p \leq 0,05$ ) entre os seus respectivos componentes (Tabela 10).

Na componente folha estão concentrados 56% do N, 35% do K, 44% do S, 41% do B, 38% do Mn (valores médios entre as cinco espécies); 42%, 36% e 34% do P para *E. saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*, respectivamente; e 33% do Cu para *E. benthamii*. Na casca do tronco encontram-se os maiores teores de Ca – 42% e Mg – 37%; e na raiz são observados os maiores teores de Fe – 81% e Zn – 33%.

Em relação aos maiores teores de nutrientes verificados nas folhas, Viera (2012) argumenta que a tendência é que a maioria dos nutrientes se acumule nas estruturas mais novas da planta, por estas apresentarem maior atividade metabólica e, além disso, nessas regiões é que se encontram a maioria das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e pela transpiração. Ressalta-se também que a maioria dos nutrientes possui mobilidade dentro da planta tendendo a se concentrar nos órgãos mais novos (FERRI, 1985).

Adicionalmente, Pallardy (2008) corrobora com o comentário anterior explicando que 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 às quantidades totais.

De forma geral, entre todos os componentes da biomassa, *E. benthamii* apresentou os maiores teores para N, P, K, S, Cu, Fe e Zn; *E. saligna* os maiores teores para Mg e B; *E. grandis* os maiores teores para Ca e *E. dunnii* os maiores teores para Mn.

Os maiores teores de Ca observados na casca são amplamente citados pela literatura (SCHUMACHER & PONGIANI, 1993; SANTANA et. al, 1999; NEVES, 2000; BELLOTE e SILVA, 2004; VIERA, 2012; VIERA et. al, 2013; CARVALHO, 2014; SILVA, 2014; GUIMARÃES et. al, 2015b).

Destaca-se que para *E. benthamii*, o teor de Ca observado na casca do tronco correspondeu a 48% 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).



Tabela 10 – Concentração de macro e micronutrientes na biomassa dos componentes das árvores das diferentes espécies de eucalipto, aos 7 anos de idade, no Bioma Pampa.

Esp.	Comp.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
<i>E. urograndis</i>	<sup>1</sup> F	19,6c <sup>2</sup> (1,7)	1,3b (0,1)	10,0ab (3,2)	7,8a (0,3)	2,7ab (0,3)	0,9c (6,1)	28,3b (6,1)	10,6a (1,0)	97,3b (11,3)	996,1ab (379,2)	10,3b (2,9)
	G	4,9a (1,5)	1,1a (0,5)	5,1a (2,2)	9,5a (2,5)	2,3a (0,7)	0,4a (0,1)	9,6a (2,0)	11,14a (3,6)	49,3b (19,0)	717,8a (186,7)	16,4ab (6,9)
	Ct	4,6b (0,8)	1,6a (0,4)	7,8a (3,1)	17,8a (4,9)	3,7a (0,8)	0,4a (0,1)	10,8a (1,2)	6,6a (1,7)	70,0b (25,4)	955,0ab (229,9)	10,7a (3,6)
	Mt	1,3bc (0,2)	0,2b (0,01)	1,2a (0,2)	1,1a (0,3)	0,2bc (0,01)	0,3a (0,1)	4,4a (0,4)	2,1a (0,6)	47,9a (17,6)	66,0bc (22,6)	20,7b (5,4)
	R	4,2b (0,8)	0,5c (0,1)	3,0a (0,9)	5,2b (1,4)	0,6b (0,1)	0,3b (0,01)	14,9a (2,0)	5,4b (1,6)	945,9a (181,4)	158,9b (71,6)	20,9bc (3,9)
<i>E. grandis</i>	F	24,6b (2,8)	1,3b (0,3)	8,3ab (1,4)	8,5a (2,1)	3,2a (0,8)	1,3ab (0,2)	35,9ab (6,0)	10,3ab (1,4)	110,5ab (14,7)	1154,8ab (286,4)	12,9ab (3,2)
	G	5,5a (1,3)	0,6b (0,2)	4,3a (1,6)	11,7ab (2,9)	2,2a (0,7)	0,4a (0,2)	10,7a (2,5)	10,3a (2,3)	90,2a (29,0)	653,8a (132,6)	13,9ab (8,0)
	Ct	4,5b (0,4)	1,5a (0,6)	6,1a (1,4)	24,4a (3,1)	3,9a (0,7)	0,4a (0,1)	15,7a (3,5)	4,7ab (1,0)	77,5ab (22,3)	878,5ab (142,2)	7,9a (3,2)
	Mt	1,0c (0,1)	0,1b (0,01)	1,4a (0,4)	0,5b (0,1)	0,2bc (0,01)	0,2b (0,01)	2,0a (0,3)	2,6a (0,7)	9,9b (2,2)	36,2d (9,5)	7,1c (1,4)
	R	3,7b (0,3)	0,4c (0,1)	3,9a (1,3)	10,3a (1,7)	0,7b (0,1)	0,3b (0,02)	18,5a (2,5)	6,3b (0,6)	1174a (111,5)	137,3b (62,9)	26,3b (4,3)
<i>E. dunni</i>	F	19,2c (1,6)	1,5ab (0,4)	7,8b (1,2)	8,8a (1,5)	2,5ab (0,4)	1,1abc (0,2)	31,3b (5,0)	8,3b (1,0)	98,8b (13,3)	1572,9a (358,6)	10,7b (1,8)
	G	4,7a (1,0)	0,4b (0,1)	5,0a (0,9)	9,5b (1,7)	2,2a (0,4)	0,4a (0,1)	10,2a (1,8)	7,0b (2,1)	55,5ab (21,6)	729,4a (180,9)	11,1b (2,5)
	Ct	6,4a (0,5)	1,2a (0,5)	6,7a (1,4)	18,2a (5,8)	3,5a (0,8)	0,5a (0,3)	18,1a (8,8)	3,7b (1,5)	69,7b (30,2)	1122,2a (305,4)	12,9a (7,8)
	Mt	1,4bc (0,2)	0,3b (0,04)	1,7a (0,2)	0,7ab (0,2)	0,5a (0,1)	0,2b (0,03)	2,7a (0,5)	2,2a (0,9)	13,1b (2,4)	100,3a (27,9)	13,4bc (4,1)
	R	3,9b (0,8)	0,8b (0,5)	4,3a (1,4)	7,6ab (2,5)	1,8a (0,2)	0,3b (0,02)	17,5a (1,6)	9,0a (5,6)	1221,6a (206,9)	267,3a (139,0)	36,5a (13,4)
<i>E. benthamii</i>	F	31,0a (3,5)	2,10a (0,4)	12,7a (2,2)	6,2a (2,7)	2,3b (0,6)	1,5a (0,4)	32,0ab (5,7)	11,4a (1,7)	130,7a (10,4)	1058,5ab (280,1)	16,8a (3,0)
	G	6,5a (2,2)	0,8ab (0,3)	4,8a (1,7)	9,7ab (6,0)	1,9a (1,4)	0,5a (0,2)	10,9a (2,3)	8,4ab (2,6)	47,5b (17,7)	479,7a (313,9)	22,5a (7,6)
	Ct	8,0a (5,4)	1,3a (0,3)	6,4a (1,2)	19,7a (8,7)	3,6a (0,8)	0,6a (0,4)	15,5a (8,5)	5,1a (2,9)	65,7b (18,0)	825,6ab (214,7)	22,8a (8,7)
	Mt	1,9a (0,2)	0,4a (0,1)	1,5a (0,2)	0,8ab (0,1)	0,1c (0,04)	0,3a (0,03)	4,5a (0,5)	2,2a (0,8)	44,9a (12,7)	77,2ab (21,9)	29,8a (7,6)
	R	10,8a (1,6)	1,6a (0,2)	5,5a (1,2)	4,8b (0,6)	1,2ab (0,4)	0,6a (0,1)	19,9a (3,2)	7,7ab (1,5)	1134,4a (195,5)	280,5a (21,5)	29,8ab (9,4)
<i>E. saligna</i>	F	21,2bc (1,5)	1,4b (0,1)	9,4ab (1,9)	6,9a (0,9)	2,9ab (0,2)	1,1abc (0,2)	39,1a (3,3)	6,9c (1,0)	128,1a (18,5)	677,7b (215,1)	10,4b (2,0)
	G	5,3a (1,5)	0,6b (0,2)	6,3a (1,8)	11,8ab (2,6)	2,6a (0,6)	0,4a (0,1)	12,4a (1,7)	9,6ab (2,0)	49,3b (16,4)	530,7a (82,4)	18,4ab (5,5)
	Ct	8,7a (6,7)	0,8b (0,2)	5,5a (0,6)	15,8a (7,5)	4,0a (0,5)	0,6a (9,3)	17,4a (9,3)	6,3c (3,0)	50,1c (17,2)	661,7b (137,21)	12,8a (8,1)
	Mt	1,7ab (0,5)	0,2b (0,1)	1,5a (0,2)	0,9ab (0,4)	0,3b (0,1)	0,2b (0,01)	3,1a (0,5)	2,3a (0,4)	16,5b (2,8)	47,0dc (13,3)	10,23c (3,1)
	R	3,8b (0,3)	0,3c (0,1)	4,6a (0,9)	8,8a (1,0)	1,1ab (0,2)	0,3b (0,03)	20,3a (1,6)	4,3b (1,5)	1160,1a (368,9)	135,2b (33,0)	14,9c (3,4)

Onde: <sup>1</sup>biomassa de folha (F), galho (G), casca do tronco (Ct), madeira do tronco (Mt), raiz (R); 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; <sup>2</sup>desvio padrão.

Ao analisar as quantidades totais de macro e micronutrientes alocados na biomassa (Tabela 11), observa-se que as espécies apresentaram em termos médios 552 kg ha<sup>-1</sup> de N, 82 kg ha<sup>-1</sup> de P, 505 kg ha<sup>-1</sup> de K, 682 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, 159 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, 60 kg ha<sup>-1</sup> de S e 1,3 kg ha<sup>-1</sup> de B, 0,7 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, 19 kg ha<sup>-1</sup> de Fe, 38 kg ha<sup>-1</sup> Mn e 3,6 kg ha<sup>-1</sup> de Zn; apresentando em ordem decrescente a seguinte tendência de distribuição: macronutrientes Ca > N > K > Mg > P > S e micronutrientes Mn > Fe > Zn > B > Cu. Exceto para *urograndis* e *E. benthamii* que apresentou uma inversão entre o N e K.

O comportamento de distribuição observado foi semelhante ao verificado por Cunha et al. (2005) estudando *E. grandis*, com 8 anos de idade, no norte fluminense RJ e por Guo et al. (2006) com *E. botryoides*, *E. globulus* e *E. ovata*, aos 3 anos de idade, na Nova Zelândia. Benatti (2013) avaliando *urograndis* I-144 e I-220, com 6,5 anos de idade, em MG; Beulch (2013) com *E. saligna*, aos 4 anos de idade, em São Francisco de Assis no RS. Guimarães (2014) em estudo com *E. urograndis*, *E. grandis* e *E. dunnii*, aos 4,5 anos de idade, Carvalho (2014) com *E. urograndis* e Silva (2015) com *E. dunnii*, aos 4 anos de idade em Alegrete no RS, também identificaram a mesma tendência de alocação dos nutrientes.

Segundo Hernández et al. (2009), as concentrações e quantidades dos nutrientes distribuídos nos diversos componentes das árvores de eucalipto, e a sua respectiva produção de biomassa tem relação direta com as condições edáficas do sítio e o manejo do povoamento.

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.

Hernández et al. (2009), estudando *E. dunnii*, com 9 anos de idade no Uruguai, observaram, para os macronutrientes, a sequência N > P > K > Ca > Mg e Witschoreck (2014) estudando *E. saligna*, com diferentes idades na região de Guaíba no RS, verificou para macro e micronutrientes Ca > N > K > Mg > P ~ S > Fe > Mn > B > Zn > Cu, que diferem da sequência observada neste trabalho.

Embora a madeira do tronco apresente os menores teores de nutrientes (Tabela 10), para as quantidades totais este comportamento de alocação se inverte em função da maior biomassa produzida por esse componente, onde se verifica as maiores porcentagens de N, P, K, S, B, Cu e Zn; seguido pela casca do tronco que apresentou a maior proporção de Ca, Mg e Mn; exceto *E. saligna* que apresentou a maior concentração de Ca no galho (Figura 8 e 9).

Tabela 11 – Quantidades de macro e micronutrientes na biomassa dos componentes das árvores das diferentes espécies de eucalipto, aos 7 anos de idade, no Bioma Pampa.

Esp.	Comp.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		kg ha <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup>				
<i>E. urograndis</i>	<sup>1</sup> F	79,0	5,5	37,7	31,3	10,9	3,8	111,3	45,8	401,4	4108,9	39,2
	G	68,6	17,2	82,0	128,5	30,9	5,8	157,7	177,8	818,6	10914,1	240,4
	Ct	48,5	15,8	76,3	208,0	41,6	3,0	124,4	59,2	813,8	11891,1	117,1
	Mt	210,3	39,7	228,6	162,7	32,9	52,6	764,1	458,6	11434,9	9708,8	3398,0
	R	46,5	6,1	41,8	59,7	7,3	3,20	174,7	65,1	10522,2	2073,2	255,7
	Bt	452,9	84,3	466,4	590,2	123,6	68,4	1332,2	806,5	23990,9	38696,2	4050,5
<i>E. grandis</i>	F	99,6	5,1	32,6	34,0	12,8	5,3	150,2	44,9	493,4	4796,5	48,9
	G	82,3	9,3	63,1	169,9	33,5	6,7	158,1	163,5	1435,1	10220,7	202,7
	Ct	48,1	14,9	60,5	261,4	45,5	3,7	163,5	56,6	825,9	10084,2	86,3
	Mt	167,7	23,5	208,0	77,1	34,5	33,8	356,5	418,9	1633,1	5588,7	1176,1
	R	34,5	3,8	35,8	96,3	6,9	2,6	172,6	58,5	10949,0	1291,1	246,1
	Bt	432,3	56,7	400,0	638,6	133,3	52,0	1001,1	742,4	15336,6	31981,2	1760,0
<i>E. dunni</i>	F	81,8	6,1	31,4	43,1	11,9	4,6	127,6	39,3	458,7	6204,3	46,9
	G	97,2	8,3	97,4	189,9	43,7	7,0	200,0	132,2	1142,2	13451,9	208,1
	Ct	60,9	12,7	76,6	249,4	39,1	4,9	181,1	41,1	811,0	13932,7	117,0
	Mt	184,1	40,3	231,1	94,5	73,2	27,6	368,0	296,4	1964,2	13629,8	2163,1
	R	50,0	8,3	45,8	86,7	20,0	3,1	192,2	74,2	12120,8	2243,9	348,4
	Bt	474,0	75,8	482,3	663,6	187,9	47,2	1069,0	583,2	16496,9	49462,6	2884,0
<i>E. benthamii</i>	F	77,5	5,0	32,1	12,3	5,0	3,6	80,5	27,1	344,8	2256,0	39,5
	G	137,0	16,7	106,9	172,5	37,0	9,2	237,5	175,4	1010,8	9385,3	440,0
	Ct	82,3	15,1	80,0	248,1	41,4	6,0	164,0	54,6	974,2	10825,1	222,7
	Mt	332,7	63,6	257,6	124,1	25,9	51,4	692,8	374,6	6799,6	12798,3	5462,0
	R	64,8	16,8	67,0	53,2	14,7	6,5	208,4	78,6	11707,9	3110,7	285,8
	Bt	694,4	117,3	543,7	610,1	124,0	76,7	1383,2	710,2	20837,2	38375,4	6450,0
<i>E. saligna</i>	F	114,3	7,1	41,0	33,8	15,1	5,8	191,2	32,8	615,5	2891,2	48,7
	G	109,7	13,1	137,4	303,7	71,0	8,5	306,2	211,4	951,1	11391,4	401,9
	Ct	64,2	10,7	78,3	301,0	69,2	4,4	171,4	62,5	578,8	9776,4	112,5
	Mt	372,7	39,4	315,8	140,3	57,0	31,5	568,2	453,2	3147,3	7861,3	2305,3
	R	53,9	4,5	62,3	127,3	14,4	3,4	277,6	51,9	14308,8	1747,9	190,8
	Bt	714,8	74,8	634,9	906,1	226,7	53,7	1514,6	811,7	19601,5	33668,3	3059,2

Onde: <sup>1</sup>biomassa de folha (F), galho (G), casca do tronco (Ct), madeira do tronco (Mt), raiz (R), biomassa total (Bt).

Com relação aos micronutrientes, verifica-se que a raiz apresentou a maior porcentagem de Fe (em termos médios 68%), exceto *E. urograndis* que apresentou a maior proporção na madeira do tronco. Os altos valores de Fe verificados nas raízes provavelmente estão relacionados à contaminação do solo por óxido de Fe (SCHUMACHER et al., 2003).

Para Bellote e Silva (2004), cada componente possui uma concentração de nutrientes relacionada com suas funções, havendo gradiente que geralmente obedece à sequência de concentração folhas > casca > galhos > tronco, podendo apresentar variações significativas de concentração, dentro do mesmo compartimento, conforme evidenciado por esse estudo.

Porém, em termos relativos, verifica-se que a alocação dos macronutrientes por compartimento não apresentou a mesma sequência observada, em relação aos teores, com uma tendência de distribuição, entre as espécies, de: madeira do tronco > casca do tronco > galhos > folhas > raiz. A mesma condição foi constatada para os micronutrientes, com uma pequena variação na sequência de distribuição, sendo para *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. benthamii* e *E. saligna*: madeira do tronco > galhos > raiz > > casca do tronco > folhas e para *E. urograndis*: madeira do tronco > galhos > casca do tronco > raiz > folha.

Teixeira et al. (1989) e Santana et al. (1999), observaram a mesma tendência encontrada nesse estudo, avaliando *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. O mesmo comportamento foi confirmado por Freitas (2000) avaliando *Eucalyptus grandis*, aos nove anos de idade, e por Schumacher e Caldeira (2001) avaliando *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii*, aos quatro anos de idade.

Viera (2012), enfatiza que algumas espécies de eucaliptos podem se adaptar melhor em sítios com restrições nutricionais de clima, desde que se faça a seleção de espécies e procedências mais adaptadas às condições específicas de sítio e, acrescenta também, que o manejo intensivo das plantações de eucaliptos pode aumentar sistematicamente a produção de biomassa, e conseqüentemente, potencializar a remoção de nutrientes do sistema em povoamentos manejados em rotações sucessivas.

Portanto, conhecer a distribuição dos nutrientes nos componentes das árvores, bem como suas respectivas concentrações e quantidades, são elementos de grande importância para a tomada de decisões, se manter a capacidade produtiva (SANTANA et al., 2002; SCHUMACHER et al., 2011), além de permitir que se identifique o melhor manejo dos resíduos em função da intensidade do uso da biomassa e otimizar a relação custo benefício para a produção florestal sustentável (GUIMARÃES et al., 2015b).



Figura 8 – Partição relativa (%) de macronutrientes por componente da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

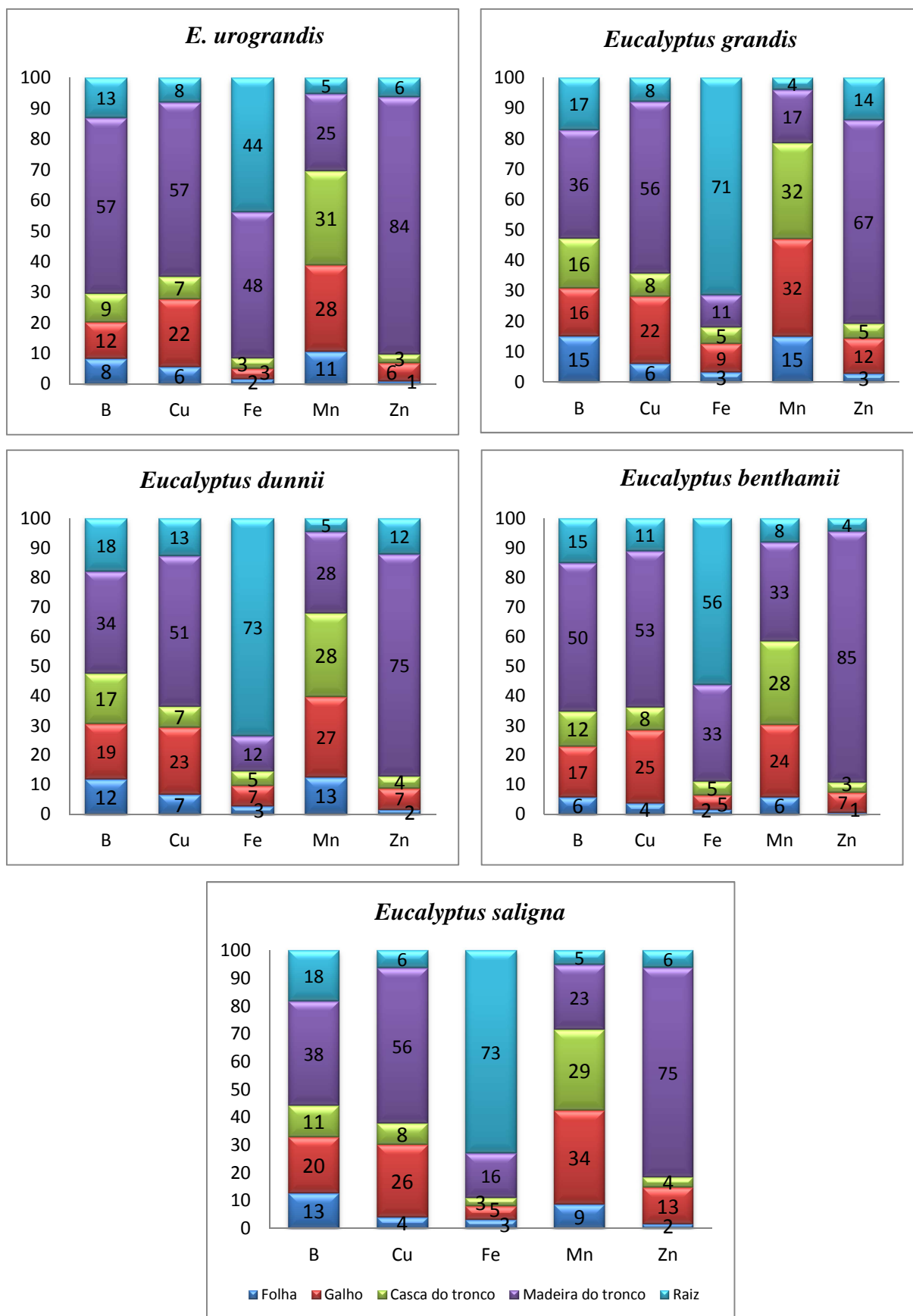


Figura 9 – Partição relativa (%) de micronutrientes por componente da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Seguindo a mesma tendência dos teores de macro e micronutrientes, alocados na biomassa, observam-se diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) para os nutrientes alocados na serapilheira (Tabela 12).

Tabela 12 – Concentração de macro e micronutrientes na serapilheira das diferentes espécies de eucalipto, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
<i>E. urograndis</i>	12,4b	0,7ab	1,1ab	14,0ab	1,7b	0,9b	18,8b	18,8a	667,7a	1026,8ab	19,8a
<i>E. grandis</i>	11,3bc	0,5c	1,0b	16,9a	2,1a	0,7c	18,6b	16,1a	708,4b	825,8c	11,5c
<i>E. dunnii</i>	10,4c	0,6bc	1,2ab	13,1ab	1,4b	0,8bc	15,8b	12,5b	1022,6a	1093,6a	14,2bc
<i>E. benthamii</i>	16,4a	0,8a	1,2ab	12,5b	1,5b	1,1a	18,3b	13,1b	707,7b	961,9bc	16,8ab
<i>E. saligna</i>	12,2b	0,6bc	1,5a	16,5ab	1,8b	1,0bc	25,9a	10,4c	1172,6a	889,9bc	15,7bc

Letras iguais na vertical, não diferem estatisticamente entre as espécies, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Verifica-se as maiores concentrações de N, P, K e S para *E. benthamii*; Ca, B e Fe para *E. saligna*; Mg para *E. grandis*; Cu, Mn e Zn para *E. urograndis*. O maior teor médio foi apresentado pelo Ca, exceto para o N observado em *E. benthamii*.

Para Clevelário Jr. (1996 apud BORÉM; RAMOS, 2002), o maior teor de cálcio na serapilheira pode ser decorrente de uma liberação mais lenta deste elemento pelo material recém-depositado, da retranslocação de outros elementos antes da abscisão, e/ou em função da detenção desse elemento, na serapilheira, precipitado pela deposição atmosférica. Além disso, por ser o cálcio um elemento de baixa mobilidade, essa característica faz com que fique armazenado em forma de cristais na folha, mesmo em sua senescência (DIAS et al., 2002).

Viera (2012) complementa que árvores com sistema radicular bem desenvolvido absorvem o cálcio em maiores profundidades e o devolvem via serapilheira, na superfície do solo, melhorando a fertilidade, uma vez que disponibilizam este elemento para ser reabsorvido pelas raízes finas que permeiam a camada de serapilheira acumulada ou estão na camada mais superficial do solo.

As quantidades de nutrientes alocados na serapilheira são apresentadas na Figura 10. Com a mesma tendência observada nas concentrações, verifica-se que o elemento Ca apresenta as maiores quantidades para *E. urograndis*, *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. saligna*, exceto para *E. benthamii* que apresentou a maior quantidade de N.

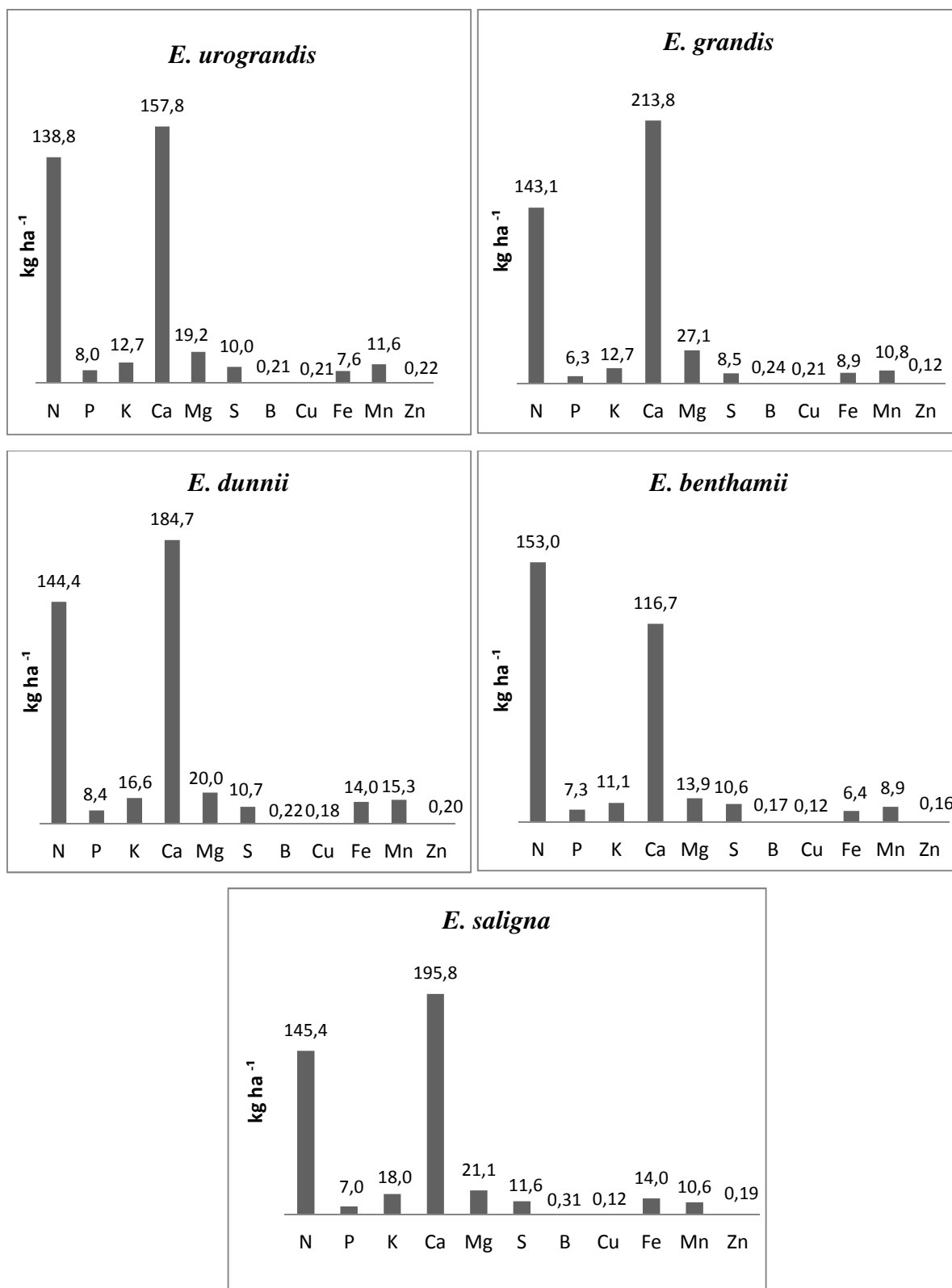


Figura 10 – Quantidades de macro e micronutrientes alocados na serapilheira nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.



Considerando as quantidades totais de nutrientes, depositados sobre o solo dos plantios com o eucalipto pela serapilheira, observa-se, em termos médios para as cinco espécies, que o Ca + N representam mais de 80% de todos os macronutrientes, e que o Mn + Fe representam aproximadamente 97% de todos os micronutrientes devolvidos ao ambiente edáfico.

Verifica-se para os teores e as quantidades, em ordem decrescente, a seguinte tendência de distribuição: macronutrientes  $\text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{P}$  e micronutrientes  $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$ .

O mesmo comportamento de distribuição foi observado por: Schumacher et al. (1994) avaliando *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis*, com sete anos de idade, e *Eucalyptus torelliana*, com dez anos de idade, em Anhembi-SP; Zaia e Gama-Rodrigues (2004) avaliando *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita*, com seis anos de idade, em Campos dos Goytacazes-RJ; Carvalho (2014) em *E. urograndis* e por Silva (2015) em um estudo com *E. dunnii*, com 4 anos de idade, em Alegrete-RS. Neves (2012), estudando *E. dunnii*, em Santa Catarina observou para macro nutrientes um distribuição não similar a esse estudo, sendo  $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ .

Em relação à elevada quantidade de Fe e Mn verificada na serapilheira acumulada, Viera e Schumacher (2010), explicam que essa condição é decorrente das altas concentrações desses elementos no solo e/ou da contaminação das amostras com partículas de solo. Ainda, de acordo com os autores, a contaminação da serapilheira poderia ser causada pela aderência do solo aos resíduos vegetais, sendo de difícil separação (mesmo com a limpeza), devido à presença de resíduos vegetais em avançado processo de decomposição.

A variação na concentração e no conteúdo de nutrientes na serapilheira está relacionada, principalmente, à concentração de nutrientes no solo e a densidade populacional, a habilidade da espécie em absorver, utilizar e translocar os nutrientes antes da senescência foliar, a proporção de folhas em relação aos demais componentes, as condições edafoclimáticas e a idade das árvores (VIERA; SCHUMACHER, 2009).

Os valores observados corroboram para a importância do conhecimento de alocação dos nutrientes na serapilheira. Especificamente para o N, que é o segundo elemento em quantidade observado, evidencia-se que os teores e quantidades são relevantes para a adequação das recomendações da fertilização, principalmente nas adubações nitrogenadas.

Neste mesmo contexto, Vogel (2005) destaca a necessidade dos estudos sobre a devolução de nutrientes pela serapilheira devido a importante contribuição desta para a manutenção nutricional do ecossistema.

## 4.5 Implicações silviculturais e ecológicas

### 4.5.1 Eficiência de utilização de nutrientes

Para os valores referentes ao CUB na biomassa acima do solo (Tabela 13), observam-se diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ), principalmente na madeira do tronco que também apresentou as melhores conversões de nutrientes em biomassa.

Tabela 13 – Coeficiente de utilização biológica de macro e micronutrientes nos componentes da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Esp.	Comp.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
<i>E. urograndis</i>	F	50a	715a	104a	126a	363a	1026a	35404a	86027a	959a	100544a
	G	215a	856b	180b	115a	477a	2549a	93405a	82829a	1350a	61267a
	Ct	214a	657a	136a	50a	249a	3484a	83439a	175284a	873b	88624a
	Mt	817ab	4324bc	752a	1056b	5221ab	3269c	224902c	374765a	17700bc	50574c
	R	661a	5050ab	737a	524ab	4224a	9628a	176061a	472456a	14837a	120283ab
<i>E. grandis</i>	F	44a	850a	134a	129a	341a	830a	29090a	97250a	911a	89343a
	G	187a	1655ab	244a	90a	458a	2309a	97191a	94015a	1504a	75843a
	Ct	229a	736a	182a	42a	242a	2984a	67276a	194380a	1091ab	127507a
	Mt	1012a	7225a	817a	2202a	4919abc	5025b	476371a	405390a	30388a	144401a
	R	881a	7275a	781a	290b	4059a	10892a	161928a	477898a	21640a	113514ab
<i>E. dunnii</i>	F	58a	779a	152a	111a	401a	1039a	37455a	121678a	770a	101934a
	G	196a	2289a	195ab	100a	436a	2702a	95106a	143860a	1414a	91390a
	Ct	205a	985a	163a	50a	320a	2535a	68961a	303826a	896b	106674a
	Mt	747b	3411bc	595a	1456ab	1879c	4990b	373846b	464260a	10095c	63606bc
	R	775a	3843ab	693a	366ab	1583b	10199a	165173a	427746a	14145a	91109b
<i>E. benthamii</i>	F	32a	498a	78a	204a	507a	706a	31181a	92765a	1113a	63510a
	G	155a	1265b	198ab	123a	573a	2297a	89163a	120765a	2257a	48131a
	Ct	152a	831a	157a	51a	303a	2088a	76543a	229874a	1159ab	56359a
	Mt	468c	2450c	605a	1256ab	6014a	3030c	224817c	415795a	12170c	28517c
	R	515b	1987b	498a	627a	2276ab	5119b	160051a	424493a	10721a	116685ab
<i>E. saligna</i>	F	45a	725a	126a	153a	343a	885a	27043a	157835a	1788a	106107a
	G	214a	1791ab	171b	77a	331a	2748a	76626a	110957a	2059a	58371a
	Ct	226a	1360a	185a	48a	210a	3261a	84643a	232274a	1484a	128994a
	Mt	549bc	5196ab	648a	1458ab	3587bc	6487a	359885b	451225a	26012ab	88705c
	R	785a	9487a	680a	333b	2935ab	12352a	152438a	815727a	24213a	221752a

Letras iguais na vertical, não diferem estatisticamente entre as espécies, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Considerando o CUB apenas para madeira do tronco, por ser essa a de maior interesse comercial, verifica-se que *E. grandis* apresentou a melhor EUN para N: 26%, 46% e 54% maior em relação a *E. dunnii*, *E. saligna* e *E. benthamii*; para P: 40%, 53% e 66% maior em relação a *E. urograndis*, *E. dunnii* e *E. benthamii*; para Ca: 52% maior em relação a *urograndis*. Para Mg, *E. benthamii* foi 40% e 69% maior em relação a *E. saligna* e *E. dunnii*; e para S, *E. saligna* foi 23% maior em relação a *E. grandis* e *E. dunnii* e 50% maior em relação a *E. urograndis*.

A melhor EUN, para a maioria dos nutrientes essenciais, observada entre *E. grandis* sobre as demais espécies desse estudo, foi constatada por Silva et al. (1983) que verificaram maior EUN entre *Eucalyptus grandis* sobre *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus robusta*, respectivamente. Santana et al. (2002), estudando *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, sob diferentes idades e situações edafoclimáticas, também identificaram maior EUN entre *Eucalyptus grandis* sobre *Eucalyptus saligna*.

Santana et al. (2002), explicam que 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.

Quanto à magnitude de distribuição dos nutrientes na madeira do tronco (macro e micro) observa-se em ordem decrescente a seguinte tendência: *E. urograndis* – Mg > P > S > Ca > N > K e Cu > B > Zn > Mn; *E. grandis* e *E. dunnii* – P > S > Mg > Ca > N > K e B > Cu > Zn > Mn para *E. grandis* e Cu > B > Zn > Mn para *E. dunnii*; *E. benthamii* – Mg > S > P > Ca > K > N e Cu > B > Mn > Zn. Resultados similares, com inversão na distribuição de alguns elementos, foram encontrados por: Witschoreck (2008) com *Pinus taeda* – P > Mg > S > K > Ca > N e Cu > Zn > B > Mn; Viera (2012) com híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus* – P > S > Mg > Ca > N > K; Beulch (2013) com *E. saligna* – S > P > Mg > Ca > N > K e Cu > Zn > B > Mn e Guimarães (2014) com *E. urograndis*, *E. dunnii* e *E. grandis* – P > Mg > Ca > S > N > K e Cu > B > Zn > Mn.

No contexto silvicultural, o que se busca é potencializar a produtividade de madeira, sendo assim quanto maior a EUN neste componente melhor será a sua eficiência (WITSCHORECK, 2008; VIERA, 2012). Santana et al. (2002) destacam que este parâmetro se apresenta como um dos principais indicadores para a seleção de genótipos e definição das melhores técnicas de manejo, e consequentemente, com efeito direto na manutenção da capacidade produtiva do sítio florestal.

#### 4.5.2 Remoção de nutrientes, balanço e custos para reposição nutricional

A colheita da madeira do tronco apresentou a menor remoção de nutrientes do sistema, com as maiores quantidades observadas para *E. saligna*, seguido pelo *E. benthamii*, *E. dunni*, *E. urograndis* e *E. grandis* (Tabela 14).

Entre os cenários avaliados, verifica-se em termos médios uma permanência dos nutrientes acumulados nos componentes da biomassa no campo, na seguinte proporção:

- Colheita da madeira do tronco – 55% do N, 50% do P, 51% do K, 82% do Ca, 72% do Mg, 35% do S, 57% do B, 45% do Cu, 76% do Fe, 75% do Mn e 23% do Zn;
- Colheita da madeira do tronco com casca – 44% do N, 32% do P, 36% do K, 45% do Ca, 42% do Mg, 27% do S e 44% do B, 38% do Cu, 72% do Fe, 45% do Mn e 19% do Zn;
- Colheita da madeira do tronco com casca + copa – 9% do N, 9% do P, 10% do K, 12% do Ca, 8% do Mg, 6% do S e 16% do B, 9% do Cu, 64% do Fe, 5% do Mn e 9% do Zn.

Embora se verifique uma redução dos nutrientes dentro dos cenários de colheita em relação apenas a colheita da madeira do tronco, observa-se os maiores efeitos para o Ca e Mg na colheita da madeira do tronco com casca, onde se apresenta uma redução de 55% e 58% para estes elementos, respectivamente.

Considerando apenas os aspectos nutricionais a colheita da madeira do tronco com casca + copa praticamente exauri o estoque de nutrientes alocado na biomassa, proporcionando ao ambiente edáfico apenas os nutrientes restantes nas raízes e serapilheira.

Para 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*, o que também foi verificado por Guimarães (2014) avaliando *E. urograndis*, *E. grandis* e *E. dunni*.

Porém, a mesma tendência não foi encontrada por Spangenberg et al. (1996), estudando *E. urograndis* e Merino et al. (2005), estudando *E. globulus* na Espanha.

Tabela 14 – Estimativa da remoção de macro e micronutrientes em quatro cenários de colheita da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Esp.	Cenário de Colheita	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		Kg ha <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup>				
<i>E. urograndis</i>	Madeira do Tronco <sup>1</sup> c/c + Copa +Raiz	453	84	466	589	124	68	1332	807	23991	38696	4050
	Madeira do Tronco c/c + Copa	406	78	425	531	116	65	1158	741	13469	36623	3795
	Madeira do Tronco com Casca	259	56	305	371	75	56	889	518	12249	21600	3515
	Madeira do Tronco	210	40	229	163	33	53	764	459	11435	9709	3398
<i>E. grandis</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	432	57	400	639	133	52	1001	742	15337	31981	1760
	Madeira do Tronco c/c + Copa	398	53	364	542	126	49	828	684	4388	30690	1514
	Madeira do Tronco com Casca	216	38	269	338	80	37	520	476	2459	15673	1262
	Madeira do Tronco	168	24	208	77	35	34	357	419	1633	5589	1176
<i>E. dunnii</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	465	76	482	664	188	47	1069	583	16497	49463	2883
	Madeira do Tronco c/c + Copa	424	67	436	577	168	44	877	509	4376	47219	2535
	Madeira do Tronco com Casca	245	53	308	344	112	33	549	337	2775	27562	2280
	Madeira do Tronco	184	40	231	95	73	28	368	296	1964	13630	2163
<i>E. benthamii</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	694	117	544	610	124	77	1383	710	20837	38375	6450
	Madeira do Tronco c/c + Copa	630	100	477	557	109	70	1175	632	9129	35265	6164
	Madeira do Tronco com Casca	415	79	338	372	67	57	857	429	7774	23623	5685
	Madeira do Tronco	333	64	258	124	26	51	693	375	6800	12798	5462
<i>E. saligna</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	715	75	635	906	227	54	1515	812	19601	33668	3059
	Madeira do Tronco c/c + Copa	661	70	573	779	212	50	1237	760	5293	31920	2868
	Madeira do Tronco com Casca	437	50	394	441	126	36	740	516	3726	17638	2418
	Madeira do Tronco	373	39	316	140	57	32	568	453	3147	7861	2305

Onde: <sup>1</sup>c/c com casca.

Entre as espécies avaliadas *E. grandis* apresenta as menores taxas de remoção de nutrientes em todos cenários de colheita avaliados (Tabela 15). Baixas taxas de remoção de nutrientes pela colheita indicam uma maior EUN, e ao se considerar esse parâmetro no manejo nutricional, proporciona-se uma tendência de maior sustentabilidade ao ecossistema (SANTANA et al., 1999).

Tabela 15 – Taxa de remoção de macro e micronutrientes em quatro cenários de colheita da biomassa nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Esp.	Cenário de Colheita	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>E. urograndis</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	<sup>2</sup> 1,95	0,36	2,01	2,54	0,53	0,30	<sup>3</sup> 5,75	3,48	103,56	167,04	17,48
	Madeira do Tronco <sup>1</sup> c/c + Copa	2,02	0,39	2,11	2,64	0,58	0,32	5,76	3,69	67,04	182,29	18,89
	Madeira do Tronco com Casca	1,42	0,30	1,67	2,03	0,41	0,30	4,88	2,84	67,22	118,53	19,29
	Madeira do Tronco	1,22	0,23	1,33	0,95	0,19	0,31	4,45	2,67	66,54	56,50	19,77
<i>E. grandis</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	1,89	0,25	1,75	2,79	0,58	0,23	4,38	3,25	67,12	139,96	7,70
	Madeira do Tronco c/c + Copa	1,98	0,26	1,82	2,70	0,63	0,25	4,13	3,41	21,88	153,01	7,55
	Madeira do Tronco com Casca	1,20	0,21	1,49	1,88	0,44	0,21	2,89	2,64	13,64	86,96	7,00
	Madeira do Tronco	0,99	0,14	1,22	0,45	0,20	0,20	2,10	2,47	9,62	32,91	6,93
<i>E. dunzii</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	2,26	0,37	2,35	3,23	0,91	0,23	5,20	2,84	80,23	240,55	14,02
	Madeira do Tronco c/c + Copa	2,43	0,39	2,50	3,30	0,96	0,25	5,02	2,92	25,06	270,44	14,52
	Madeira do Tronco com Casca	1,63	0,35	2,05	2,29	0,75	0,22	3,66	2,25	18,49	183,65	15,19
	Madeira do Tronco	1,34	0,29	1,68	0,69	0,53	0,20	2,67	2,15	14,28	99,06	10,52
<i>E. benthamii</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	3,08	0,52	2,41	2,71	0,55	0,34	6,14	3,15	92,47	170,29	28,62
	Madeira do Tronco c/c + Copa	3,28	0,52	2,48	2,90	0,57	0,37	6,12	3,29	47,55	183,67	32,11
	Madeira do Tronco com Casca	2,47	0,47	2,01	2,21	0,40	0,34	5,09	2,55	46,19	140,36	33,77
	Madeira do Tronco	2,14	0,41	1,65	0,80	0,17	0,33	4,45	2,41	43,65	82,17	35,07
<i>E. saligna</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa +Raiz	2,47	0,26	2,19	3,12	0,78	0,19	5,22	2,80	67,61	116,12	10,55
	Madeira do Tronco c/c + Copa	2,67	0,28	2,31	3,14	0,86	0,20	5,00	3,07	21,37	128,90	11,58
	Madeira do Tronco com Casca	1,99	0,23	1,80	2,02	0,58	0,16	3,38	2,35	17,01	80,54	11,04
	Madeira do Tronco	1,82	0,19	1,54	0,69	0,28	0,15	2,78	2,22	15,39	38,44	11,27

Onde: <sup>1</sup>c/c com casca; <sup>2</sup>Taxa de remoção em kg e g de nutrientes/Mg de biomassa, para macro e micronutrientes respectivamente.

De acordo com as taxas observadas, verifica-se em termos médios a seguinte tendência de remoção de nutrientes em função dos cenários de colheita: madeira do tronco – K > N > Ca > S > P > Mg > Fe > Mn > Zn > B > Cu; madeira do tronco com casca – Ca > K > N > Mg > P ~ S > Mn > Fe > Zn > B > CU; madeira do tronco com casca + copa – Ca > K > N > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > B > CU;

A colheita de toda a biomassa arbórea se apresenta como o modelo mais agressivo de remoção dos nutrientes do sistema (Figuras 11, 12, 13, 14 e 15), o que consequentemente, se reflete no balanço nutricional e no número de rotações de produção.

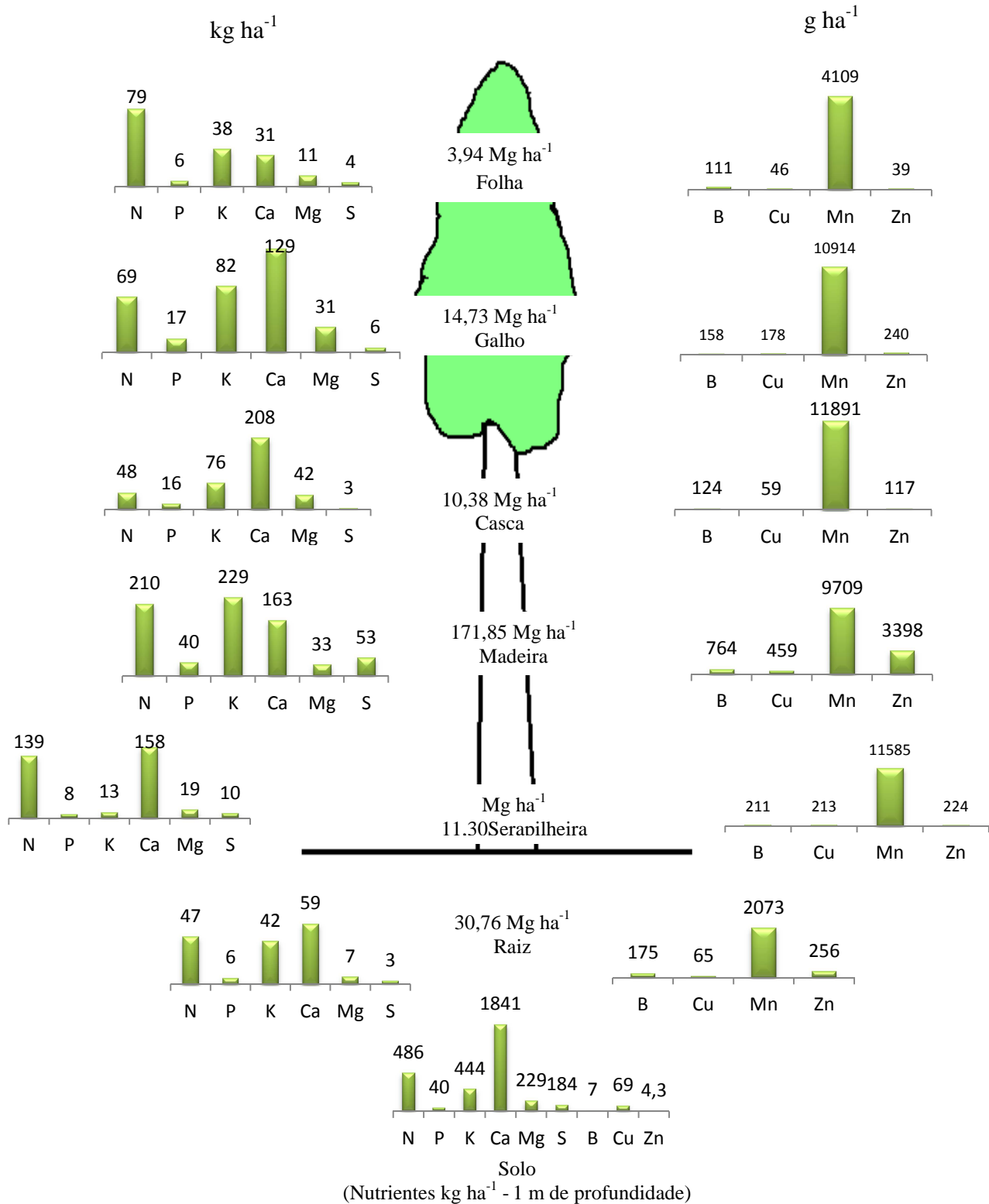


Figura 11 – Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para *E. urograndis* no Bioma Pampa.

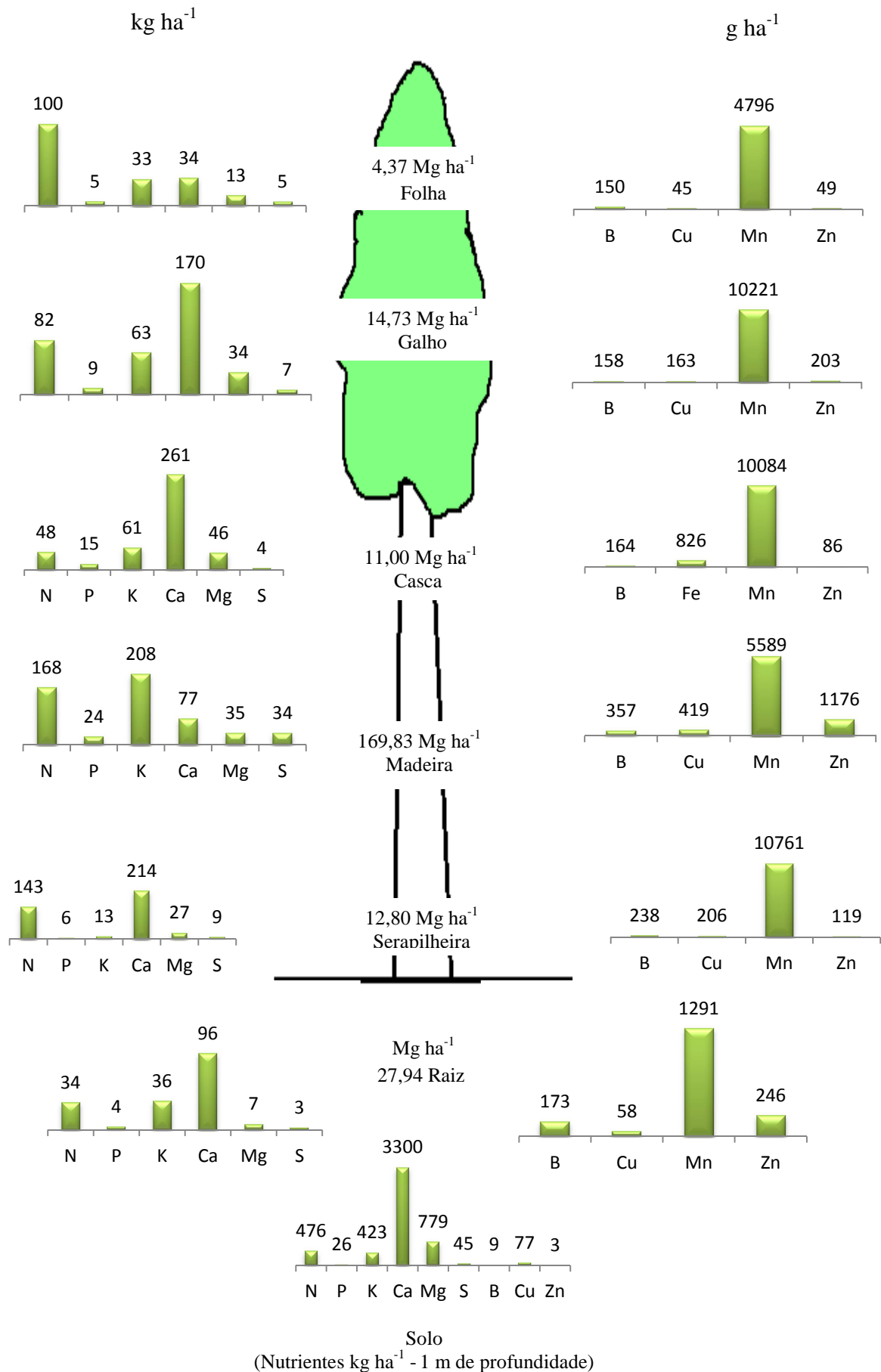


Figura 12 – Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para *Eucalyptus grandis* no Bioma Pampa.



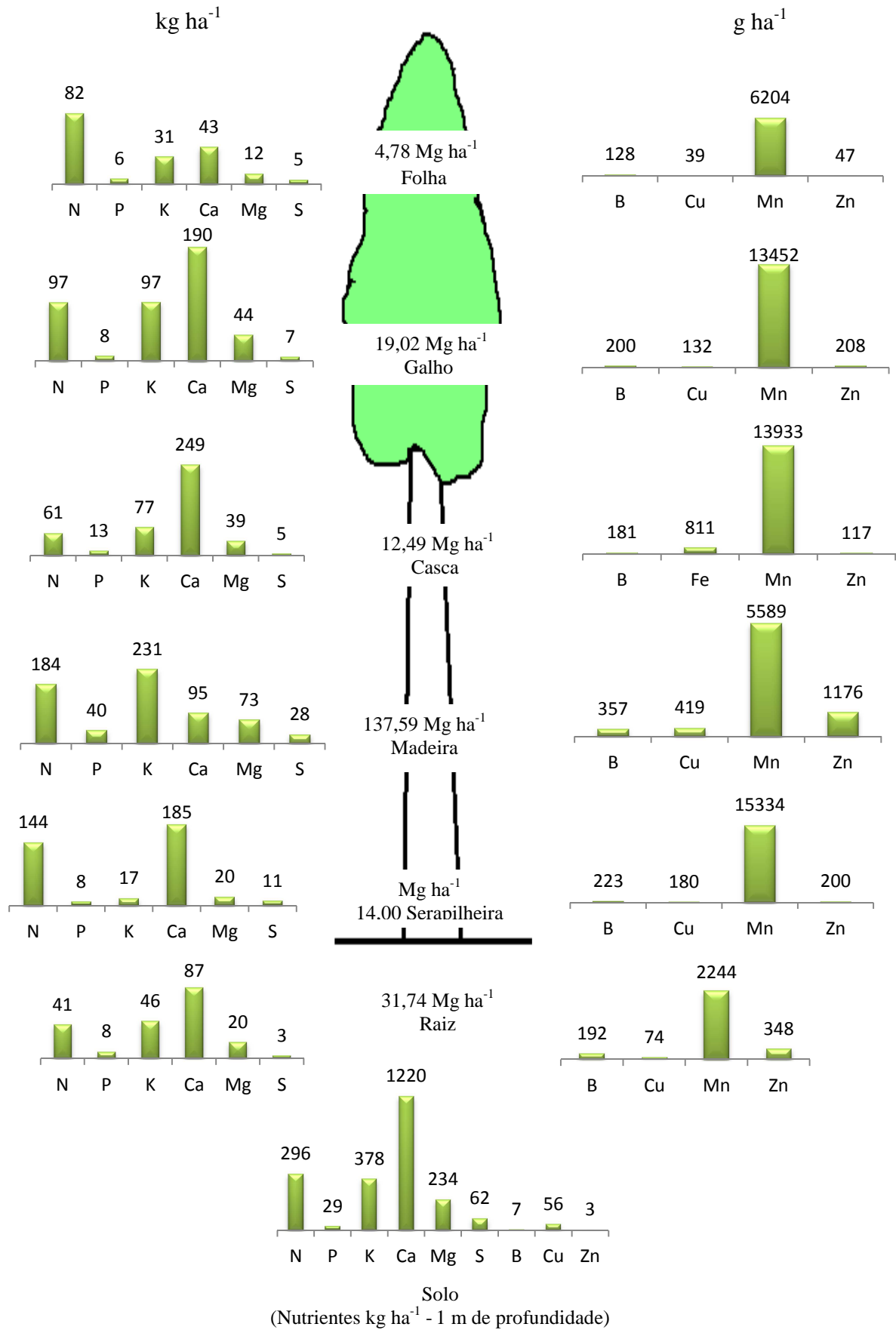


Figura 13 – Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para *Eucalyptus dununii* no Bioma Pampa.



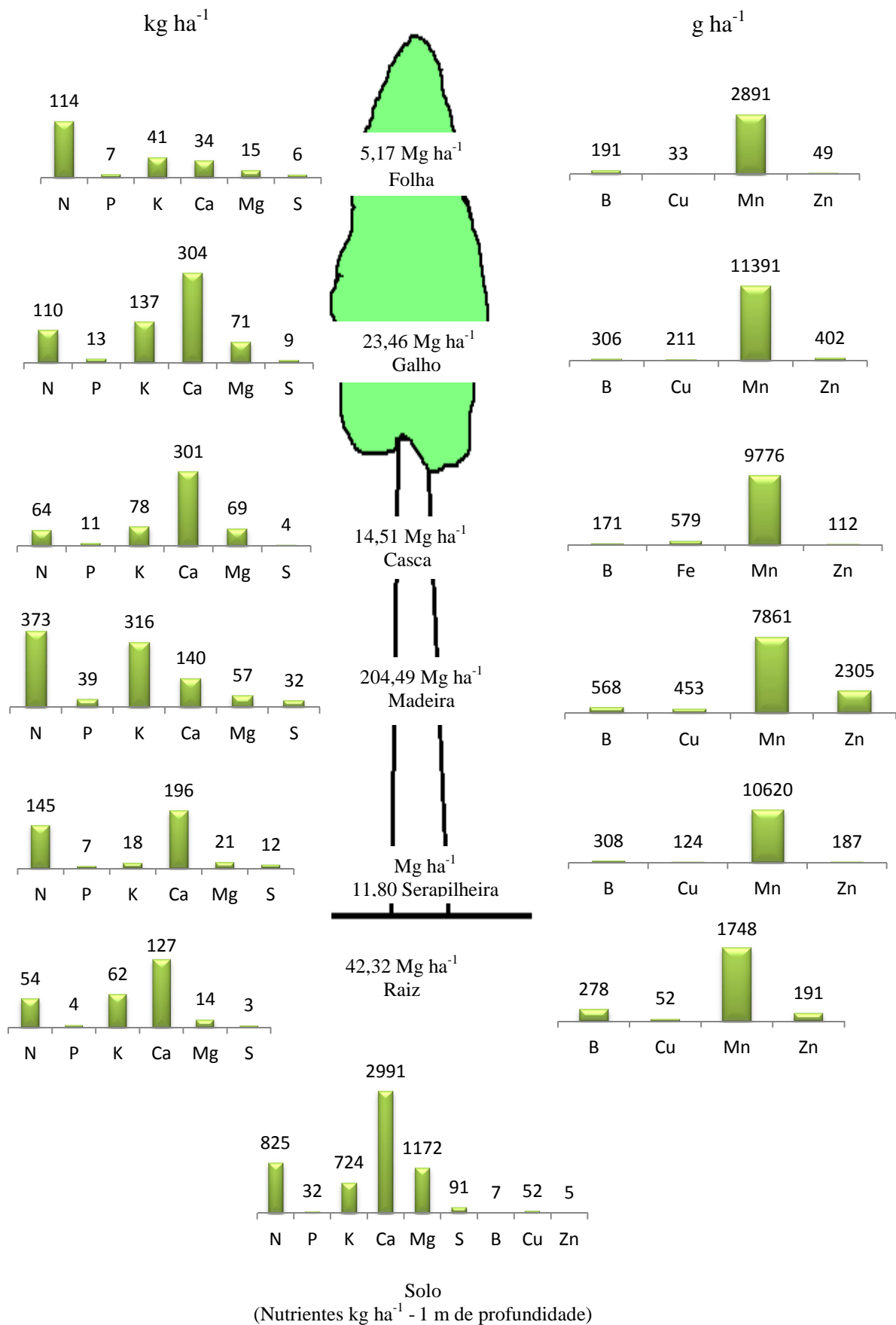


Figura 15 – Estoque de nutrientes por compartimento da biomassa e no solo (disponíveis N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn), para *Eucalyptus saligna* no Bioma Pampa.

Em relação ao balanço nutricional e o número potencial de rotações de produção de acordo com o cenário de colheita da biomassa, *E. benthamii* apresentou balanços negativos para K nos cenários da madeira do tronco com casca + copa + raiz, madeira do tronco c/c + copa e madeira do tronco c/c (Tabela 16).

Tabela 16 – Balanço nutricional e estimativa do número de rotações de produção nos povoamentos de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Esp.	Cenário de Colheita	Macronutrientes					
	Balanço Nutricional	N	P	K	Ca	Mg	S
	Número de Rotações de Produção	kg ha <sup>-1</sup>					
<i>E. urograndis</i>	Madeira do Tronco <sup>1</sup> c/c + Copa + raiz	452,9	84,3	466,4	589,3	123,6	68,4
	Balanço	276,8	48,4	108,5	1449,4	140,1	144,2
	<sup>2</sup> NRP	4,5	<i>i</i>	2,7	6,2	3,9	6,4
	Madeira do Tronco c/c + Copa	406,4	78,3	424,6	530,6	116,3	65,2
	Balanço	323,3	54,5	150,3	1508,1	147,4	147,4
	NRP	5,5	<i>i</i>	3,0	7,1	4,2	6,9
	Madeira do Tronco com Casca	258,8	55,5	305,0	370,7	74,6	55,6
	Balanço	470,9	77,2	270,0	1667,9	189,2	157,1
	NRP	49,2	<i>i</i>	4,3	12,8	7,5	9,0
	Madeira do tronco	210,3	39,7	228,6	162,7	32,9	52,6
	Balanço	519,4	93,0	346,3	1875,9	230,8	160,0
	NRP	<i>i</i>	<i>i</i>	6,9	<i>i</i>	<i>i</i>	10,0
	Madeira do Tronco c/c + Copa + raiz	432,3	56,7	400,0	638,7	133,3	52,0
	Balanço	299,6	70,6	161,9	2914,8	687,1	20,7
	NRP	4,9	<i>i</i>	3,1	10,2	10,0	4,0
<i>E. grandis</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa	397,8	52,9	364,2	542,3	126,4	49,4
	Balanço	334,1	74,5	197,7	3011,1	694,0	23,2
	NRP	5,8	<i>i</i>	3,4	13,3	10,7	4,3
	Madeira do Tronco com Casca	215,9	38,5	268,5	338,5	80,1	37,5
	Balanço	516,1	88,9	293,4	3215,0	740,4	35,2
	NRP	<i>i</i>	<i>i</i>	5,0	42,9	22,5	8,2
	Madeira do Tronco	167,7	23,5	208,0	77,1	34,5	33,8
	Balanço	564,2	103,9	353,9	3476,3	785,9	38,8
	NRP	<i>i</i>	<i>i</i>	8,2	<i>i</i>	<i>i</i>	12,4

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

Tabela 16 – Continuação.

Esp.	Cenário de Colheita	Macronutrientes					
	Balanço Nutricional	N	P	K	Ca	Mg	S
	Número de Rotações de Produção	kg ha <sup>-1</sup>					
<i>E. dunnii</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa + raiz	464,9	75,7	482,3	663,6	187,9	47,3
	Balanço	88,2	57,3	38,7	781,7	80,9	44,3
	<b>NRP</b>	3,5	<i>i</i>	2,5	4,3	2,8	6,2
	Madeira do Tronco c/c + Copa	424,0	67,5	436,5	576,9	167,9	44,1
	Balanço	129,2	65,5	84,5	868,4	101,0	47,4
	<b>NRP</b>	4,1	<i>i</i>	2,7	5,1	3,0	7,3
	Madeira do Tronco com Casca	245,0	53,0	307,7	343,9	112,3	32,5
	Balanço	308,2	80,0	213,3	1101,4	156,5	59,0
	<b>NRP</b>	<i>i</i>	<i>i</i>	4,0	13,1	4,5	32,8
	Madeira do Tronco	184,1	40,3	231,1	94,5	73,2	27,6
	Balanço	369,1	92,6	289,9	1350,8	195,6	64,0
	<b>NRP</b>	<i>i</i>	<i>i</i>	6,3	<i>i</i>	8,0	<i>i</i>
<i>E. benthamii</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa + raiz	694,4	117,3	543,7	610,1	123,9	76,7
	Balanço	74,4	25,2	-214,3	1759,9	286,1	30,9
	<b>NRP</b>	2,7	6,4	1,8	6,2	5,3	3,3
	Madeira do Tronco c/c + Copa	629,6	100,5	476,7	556,9	109,3	70,2
	Balanço	139,2	41,9	-147,3	1813,2	300,7	37,4
	<b>NRP</b>	3,0	17,6	1,9	6,9	6,1	3,6
	Madeira do Tronco com Casca	415,1	78,7	337,6	372,1	67,3	57,4
	Balanço	353,7	63,7	-8,3	1998,0	342,7	50,2
	<b>NRP</b>	5,8	<i>i</i>	2,5	12,0	11,6	4,9
	Madeira do Tronco	332,7	63,6	257,6	124,1	25,9	51,4
	Balanço	436,0	78,8	71,7	2246,0	384,1	56,2
	<b>NRP</b>	11,1	<i>i</i>	3,5	<i>i</i>	<i>i</i>	5,9
<i>E. saligna</i>	Madeira do Tronco c/c + Copa + raiz	714,8	74,7	634,9	906,1	226,7	53,8
	Balanço	360,4	49,7	225,2	2321,3	981,0	67,4
	<b>NRP</b>	3,3	<i>i</i>	2,7	5,8	7,3	6,2
	Madeira do Tronco c/c + Copa	660,9	70,3	572,6	778,8	212,3	50,3
	Balanço	414,3	54,1	287,4	2448,6	995,4	70,8
	<b>NRP</b>	3,6	<i>i</i>	3,0	6,9	7,8	7,1
	Madeira do Tronco com Casca	436,9	50,0	394,1	441,3	126,3	36,0
	Balanço	638,3	74,3	465,9	2786,0	1081,4	85,2
	<b>NRP</b>	6,8	<i>i</i>	4,3	16,7	14,4	23,0
	Madeira do Tronco	372,7	39,4	315,8	140,3	57,0	31,5
	Balanço	702,5	85,0	544,2	3087,1	1150,7	89,7
	<b>NRP</b>	9,8	<i>i</i>	5,8	<i>i</i>	57,9	116,4

Observa-se tendência de sustentabilidade nutricional em *E. urograndis*, para N sob a colheita da madeira do tronco, para P sob todos os cenários, para Ca e Mg sob a colheita da madeira do tronco; em *E. grandis*, para N sob a colheita da madeira do tronco com casca e madeira do tronco, para P sob todos os cenários de colheita e para Ca e Mg sob a colheita da madeira do tronco; em *E. dunnii*, para N sob a colheita da madeira do tronco com casca e madeira do tronco, para P sob todos os cenários de colheita e para Ca e S sob a colheita da madeira do tronco; em *E. benthamii*, para N sob a colheita da madeira do tronco com casca e madeira do tronco, para Ca e S sob a colheita da madeira do tronco; e em *E. saligna*, para P sob todos os cenários e para Ca sob a colheita da madeira do tronco.

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

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, mas pode ser crítico a partir da 2ª rotação, principalmente para o K. 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), salientam 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.

Sob a óptica empresarial, o modelo de manejo nutricional está relacionado diretamente ao objetivo final da madeira junto à indústria. Consequentemente, dependendo da intensidade do uso da biomassa, grandes quantidades de fertilizantes poderão ser utilizadas para

reestabelecer o equilíbrio nutricional e garantir a produtividade florestal nas próximas rotações, porém, com um aumento significativo dos custos das atividades.

Para este estudo, verifica-se que a colheita da madeira do tronco com casca + copa + raiz proporcionou um acréscimo, média entre as espécies, de aproximadamente 120% nos custos (R\$ m<sup>3</sup>) com a aquisição dos fertilizantes e mão de obra, quando comparado com a colheita apenas da madeira do tronco (Tabela 17).

Tabela 17 – Simulação dos custos para reposição nutricional nas áreas com plantios de eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa.

Espécie	Cenário de Colheita	Insumos		Mão de Obra	Total	
		<sup>2</sup> ton ha <sup>1</sup>	R\$ ha <sup>1</sup>	R\$ ha <sup>1</sup>	R\$ ha <sup>1</sup>	R\$ m <sup>3</sup>
<i>E. urograndis</i>	Madeira do Tronco <sup>1</sup> c/c+ Copa + Raiz	1,04	1553,32	1137,00	2690,32	7,08
	Madeira do Tronco c/c+ Copa	0,92	1379,68	825,75	2205,43	5,80
	Madeira do Tronco com casca	0,56	846,07	568,50	1414,57	3,72
	Madeira do Tronco	0,39	587,28	568,50	1155,78	3,04
<i>E. dunnii</i>	Madeira do Tronco c/c+ Copa + Raiz	1,20	1805,16	1137,00	2942,16	9,14
	Madeira do Tronco c/c+ Copa	1,07	1604,19	1137,00	2741,19	8,51
	Madeira do Tronco com casca	0,62	922,82	825,75	1748,57	5,43
	Madeira do Tronco	0,40	605,19	568,50	1173,69	3,64
<i>E. grandis</i>	Madeira do Tronco c/c+ Copa + Raiz	1,02	1537,20	1137,00	2674,20	6,96
	Madeira do Tronco c/c+ Copa	0,92	1380,55	825,75	2206,30	5,75
	Madeira do Tronco com casca	0,51	762,83	568,50	1331,33	3,47
	Madeira do Tronco	0,33	501,49	568,50	1069,99	2,79
<i>E. benthamii</i>	Madeira do Tronco c/c+ Copa + Raiz	1,67	2503,46	1137,00	3640,46	10,43
	Madeira do Tronco c/c+ Copa	1,46	2189,25	1137,00	3326,25	9,53
	Madeira do Tronco com casca	0,93	1395,59	825,75	2221,34	6,36
	Madeira do Tronco	0,68	1020,26	852,75	1873,01	5,37
<i>E. saligna</i>	Madeira do Tronco c/c+ Copa + Raiz	1,54	2307,76	1137,00	3444,76	8,05
	Madeira do Tronco c/c+ Copa	1,39	2085,81	1137,00	3222,81	7,53
	Madeira do Tronco com casca	0,87	1307,83	825,75	2133,58	4,99
	Madeira do Tronco	0,68	1025,87	852,75	1878,62	4,39

Onde: <sup>1</sup>c/c = com casca, <sup>2</sup>ton = tonelada.

A literatura, através de vários pesquisadores (SANTANA et al., 1999; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001; SILVA, 2014; GUIMARÃES et al., 2015b; VIERA, 2015), demonstra que para o ajuste de um modelo de manejo nutricional, o desejável é que não se faça apenas as reposições dos nutrientes removidos pela uso da biomassa, via fertilização mineral, mas que se considere ao máximo a manutenção dos resíduos no campo após a colheita.

Adicionalmente ao manejo da fertilização e dos resíduos pós-colheita é preponderante destacar que em solos de baixa fertilidade natural, o incremento dos ganhos em produtividade poderá ser proporcionado também através do uso de espécies baseado na eficiência do uso de nutrientes, pois quanto maior a eficiência nutricional, menor será a exigência de altos teores dos elementos essenciais no solo (SANTANA et al., 2002).

Por conseguinte, ao se escolher uma base de material genético para ser implantada em um determinado ambiente em escala comercial, preferencialmente, sugere-se que sejam consideradas a sua eficiência nutricional e compatibilidade com a fertilidade do solo (GUIMARÃES, 2014), além disso, Santana et al. (1999) explicam que genótipos pouco eficientes na absorção de um determinado nutriente são indicados para solos com boa disponibilidade desse ou, para se garantir uma produtividade mínima aceitável, deverá recebê-lo via adubação (SANTANA et al., 1999).

Além dos aspectos abordados, destaca-se também 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

Em relação aos atributos químicos e estoques de nutrientes no solo, comparados ao campo nativo, verificou-se aumento nos teores de P, K e S, para a maioria das espécies; e aumento nos estoques de N para *E. saligna*, de P, S, B e Cu para todas as espécies, de K para *E. urograndis* e *E. saligna*; de Ca para *E. grandis* e *E. benthamii*, de Mg para *E. grandis*, *E. benthamii* e *E. saligna*, e de Zn para *E. grandis*, *E. saligna* e *E. dunnii*.

A maior produção de madeira e biomassa foi observada em *E. saligna* seguido pelo *E. urograndis* ~ *E. grandis*, *E. benthamii* e *E. dunnii*; com uma magnitude de alocação da biomassa entre os componentes de: madeira do tronco > raiz > galho > casca > folha.

Verificou-se maior concentração de N, P, K, S, B, Cu e Mn na folha, e de Ca e Mg na casca da madeira; com a maior quantidade dos nutrientes alocada nos componentes da biomassa, observada na madeira do tronco, exceto para o Ca e Mg, também alocados na casca da madeira.

A maior eficiência de utilização de nutrientes foi observada em *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. saligna* para P; *E. urograndis* e *E. benthamii* para o Mg; e *E. saligna* para S, destacando-se também a melhor eficiência em N, K e Ca para *E. grandis*.

A colheita apenas da madeira do tronco proporcionou uma manutenção de nutrientes no solo pelos demais componentes da biomassa, acima de 50%, especialmente para Ca e Mg verificou-se uma devolução de 82 e 72%, respectivamente.

Com o aumento da intensidade de colheita verificou-se aumento nas taxas de remoção de nutrientes para todos os genótipos, com a menor taxa de remoção de nutrientes observada em *E. grandis*.

Em relação ao número de rotações de produção, em função da intensidade da colheita da biomassa, para todas as espécies, o P indicou uma condição de sustentabilidade nutricional, sob todos os cenários de colheita, o N sob a colheita da madeira do tronco com casca e madeira do tronco, e o Ca e Mg sob a colheita da madeira do tronco; sendo que o K apresentou o maior risco a limitação da produtividade.

O menor custo de reposição nutricional, entre os cenários de colheita da biomassa, foi verificado no *E. grandis* seguido pelo *E. urograndis*, *E. dunnii*, *E. saligna* e *E. benthamii*.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Considerando o modelo de manejo aplicado nas áreas deste estudo, recomenda-se para os argissolos com textura mais arenosa que se utilize como material genético *E. grandis* e *E. urograndis*, devido aos indicadores de produção e nutricionais verificados nesta condição.

Para *E. dunnii* e *E. benthamii*, sugere-se que sejam implantados nos solos com maiores teores de argila, devido as exigências nutricionais observadas para estas espécies. Destacando-se o potencial de crescimento que poderá ser incrementado pelo melhoramento genético por clonagem e hibridação, além da boa tolerância destes materiais a baixas temperaturas.

Ressalva-se que com o aporte de nutrientes via fertilização mineral a demanda nutricional destes materiais poderá ser suprida, porém, 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.

Os valores dos balanços nutricionais e do número de rotações de produção para o P em todos os cenários de colheita, e para o N, Ca e Mg, na colheita apenas da biomassa da madeira do tronco, indicam a necessidade de ajuste das curvas de calibração para a recomendação da fertilização neste ambiente, o que poderá contribuir para a adequação/redução das quantidades dos adubos fosfatados, adubados nitrogenados e da calagem.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: Editora UFV, 2004. 442 p.
- 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.
- ANDRADE, G. de C. et al. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, 2003.
- ASSIS, T. F. de; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p. 93-121.
- BACCARIN, F. J. B. **Métodos para resgate, conservação e multiplicação em larga escala de matrizes de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage**. 2012. 78f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.
- BALIEIRO, F. C. et al. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 597-601, jun. 2004.
- 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.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BEHERA, N.; SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to *Eucalyptus* plantation and natural regeneration on tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 174, p. 1-11, 2003.
- 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.

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.

BENSON, D.; McDOUGALL, L. Ecology of Sydney plant species: part 6 dicotyledon family Myrtaceae. **Cunninghamia**, Sydney, v. 5, n. 4, p. 809-987, 1998.

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.

BILLARD, C. E.; LALLANA, V.H. Multiplicación in vitro de *Eucalyptus dunnii*. **Ciencia, Docência y Tecnología**, n. 30, Ano XVI, mayo 2005.

BINKLEY, D. **Forest nutrition management**. John Wiley & Sons, 1986. 290 p.

BINKLEY, D. et al. Stand development and productivity. In: NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR Australia, CSIRO Australia, CIFOR Indonesia, 1997. p. 339-378.

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.

BOCAGE, I.; ULERY, A. Caracterización anatómica de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage cultivado en Uruguay. In: JORNADA FORESTAL: VISITA A ENSAYOS DE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO DE PINUS Y EUCALIPTOS. 2., 2005, Colonvade. **ACTAS...** Colonvade: INIA Tacuarembó - Estación Experimental del Norte, Programa Nacional Forestal, Facultad de Agronomía - UDELAR. 2005. p. 19-21. Disponível em: <[http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/tb/ad/2005/ad\\_416.pdf](http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/tb/ad/2005/ad_416.pdf)>. Acesso em: 22/10/2007.

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.

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 42-59, jul.-dez. 2002.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, A. C.; EBERHARDT, D. Clima e vegetação natural do estado do Rio Grande do Sul segundo o diagrama climático de Walter e Lieth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 91-100, abr.-jun. 2007.

BUTCHER, P. A.; SKINNER, A. K.; GARDINER, C. A. Increased inbreeding and interspecies gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v. 6, n. 2, p. 213-226, 2005.

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.

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>.

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

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 17 nov. 2014.

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.

COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis* plantado no Distrito Federal, para a produção de celulose Kraft.** 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, 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.

DIAS, H. C. T. et al. Variação temporal de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Lavras, Minas Gerais – Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 1-16, jul.-dez. 2002.

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.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. Londrina, Editora Planta, 2006. 403p.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. Melhoramento genético florestal dos Eucalyptus no Brasil - Breve histórico e perspectivas. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, Salvador. **Proceedings**. Colombo: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1997. v. 1; p. 14-34.

FERREIRA, M. A Aventura dos eucaliptos. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Santa Maria: UFSM, 2015. p. 13-48.

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

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Avaliação Estacional da Deposição de Serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista Localizada no Sul do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, jan.-jun. 2003.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/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 an Improvement of Eucalyptus, 1997, Proceedings, Vol.3. Colombo: EMBRAPA/CNPf, p. 15-22.

FONSECA, S.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; LEAL, P. G. L.; NEVES, J. C. L. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem. I. Propriedades físicas e químicas. **Revista Árvore**, v. 17, p. 271-288, 1993.

FREITAS, R.A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete- RS**. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

GONÇALVES, J. L. M. et al. An evaluation of minimum and intensive soil preparation regarding fertility and tree nutrition. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Forestry nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 13-64.

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

GONÇALVES, J. L. M. **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.

GRAÇA, M. E. C.; TOTH, V. B. dos R. Rebrotas de *Eucalyptus dunnii*: a influência da altura, diâmetro e procedência no vigor das brotações. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 20, p. 49-57, 1990.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrotas e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 135-138, 1999.

GUIMARÃES, C. C. **Biomassa e Nutrientes em plantios de Eucaliptos no Bioma Pampa**. 2014. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GUIMARÃES, C. C.; FORIANO, E. P.; VIEIRA, F. C. B. Limitações químicas ao crescimento inicial de *Eucalyptus saligna* em solos arenosos do Pampa Gaúcho: estudo de caso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 7, p. 1183-1190, jul, 2015a.

GUIMARÃES, C. C.; SCHUMACHER, M. V.; WITSHORECK, R., SOUZA, H. P.; SANTOS, J. C. VIEIRA, F. C. B. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa Gaúcho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 873-882, set.-out. 2015b.

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.

HALL, N.; BROOKER, I. **Camden White Gum: Eucalyptus benthamii** Maiden et Cambage. Canberra: Department of National Development Forestry and Timber Bureau, 1973. 4 p. (Forest Tree Series, 57).

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.

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

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**. 100f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. **Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2003. 4 p. (Comunicado Técnico, 100).

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2014**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/pt>> Acesso em: 25/08/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas de Biomas e de Vegetação**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm> > Acesso em: 07/03/2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Indicação para escolha de espécies de *Eucalyptus***. Piracicaba, SP. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>> Acesso em: 08/10/2014.

JAEGER, P.; ZIGER, M. Avaliação das propriedades mecânicas de painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus dunnii*/*Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 329-338, 2007.

JOVANOVIĆ, 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.

JOVANOVIĆ, 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.

KELLY, S. **Eucalyptus**. Singapore: Australia: Thomas Nelson, v. 2, 1982. 76 p.

KIMMINS, J. P. **Forest Ecology**. New York: Macmillan Publishing Company, 1987. 531 p.

KJAER, E. et al. Strategies for conservation of forest genetic resources. Conservation of *Eucalyptus benthamii*: an endangered eucalypt species from eastern Australia. In: FAO, FLD, IPGRI. **Forest genetic resources conservation and management**: overview, concepts and some systematic approaches. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute, v. 1, 2004. p. 5-24.



KLEINPAUL, I. S. et al. Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliotti* Engelm, *Eucalyptus* sp. e Floresta Estacional Decidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 965-972, nov./dez. 2005.

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.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONTS, T. L. **Plant physiological ecology**. 2nd ed. New York: Springer, 2008. 604 p.

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

LIMA, C. K. P. et al. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na clonagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LITTLE, K. M.; GARDNER, R. A. W. Coppicing ability of 20 *Eucalyptus* species grown at two high-altitude sites in South Africa. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 2, n. 33, p. 181-189, 2003.

LOPES, J. L. W. **Qualidade de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs *Eucalyptus urophylla*, submetidos a diferentes regimes hídricos**. (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 171 p. 2008.

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.

MAFIA, R. G. et al. Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 843-851, 2005.

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.

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.

MMA\_ Ministério do Meio Ambiente. **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da Biodiversidade Brasileira**. Brasília: MMA/SBF, 2007. 328 p.

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.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. de; FARIA, U. P. de (Eds). **Produção de bovinos a pasto – SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM**. 13, 1996. Piracicaba, Fealq, **Anais...**, 1996.

NAVROSKI, M. C. **Multiplificação *in vitro* de genótipos de *Eucalyptus dunnii* MAIDEN** 2011. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

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.

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

NSW - NATIONAL PARKS & WILDLIFE SERVICE. **Threatened species information: *Eucalyptus benthamii* Maiden and Cambage**. Hurstville: National Parks & Wildlife Service, 2000. 3 p.

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. dos; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2006. 45 p. (Documentos, 129).

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.

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

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.

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

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](http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-54349084259&origin=inward&txGid=jaJ98w8cP0jXz_zJx1oK-Wo%3a2)> Acesso em: 10 de out.2014.

POTTS, B. M.; BARBOUR, R. C.; HINGSTON, A. B. **Genetic pollution from farm forestry using eucalypt species and hybrids**. Australia: Canprint, Joint Venture Agroforestry Program, Rural Industries Research and Development Corporation, 2001. 119 p.

PRYOR, L. D. **Biology of eucalypts**. London: Camelot Press, Edward Arnold, 1976. 82 p. (The Institute of Biology's, Studies in Biology, 61).

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

RAMEZOV, N. P. The method of studying the biological cycle of elements in forests. **Pochvovedenic**, v. 1, p. 71-79, 1959.

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.

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.

RYAN, M. G. et al. Age-related decline in forest productivity: pattern and process. **Advances in Ecological Research**, v. 27, p. 213-262, 1997.

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: p. 1806-1812, 2005.

RODERJAN, C. V. **O gênero Eucalyptus L'Herit (1788) – Myrtaceae**. Notas de aula. Departamento de Silvicultura e Manejo – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná. 1999, 10 p.

ROSA, T. S. **Utilização de cinco espécies de *Eucalyptus* provenientes de plantios de curta rotação para a produção de painéis particulados.** 2015. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

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.

SANTIAGO, J.; MOLINERO, J; POZO, J. Impact of timber harvesting on litterfall inputs and benthic coarse particulate organic matter (CPOM) storage in a small stream draining a eucalyptus plantation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 6, p.1146-1156, Sept. 2011.

SANTOS, A. F. do; AUER, C. G.; GRIGOLETTI JUNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil:** identificação e controle. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2001. 20 p. (Circular Técnica, 45).

SAS. **User's guide:** statistics. Cary, North Carolina, Institute Inc., 2003, 956 p.

SCHEEREN, L. W. et al. Crescimento e produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados com desbaste, na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 111-122, set.-out. 2004.

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. et al. Transferência de nutrientes das copas para o solo através da deposição de folheto em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus torelliana* plantados em Anhembi-SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 47, p. 56-61, maio 1994.

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. Fracionamento da serapilheira em três espécies de eucalipto no município de Santa Maria –RS: *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloesiana* e *Eucalyptus grandis*. In: 2º CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONESUL. **Anais...** Santa Maria, 2002, p. 173-180.

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.

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

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

SILVA, J. C. Eucalipto – **A madeira do futuro**. Revista da Madeira. Curitiba, PR. 114 p. set. 2001. Edição nº 59.

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, L. G; MENDES, I. C; JUNIOR, F. B. R.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v.44, n.6, p.613-620, jun. 2009.

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 26 de out. 2014.

SILVA, J. C. M. **Ciclagem biogeoquímica de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* Maiden em uma microbacia hidrográfica experimental do Bioma Pampa**. 2015. 111 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SOUZA, J.A.; DAVIDE, A.C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 101-113, jan.-jun. 2001.

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 FLORESTAL RS. **Banco de registros fotográficos**. (Dados não publicados). 2014.

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.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, n. 2, p. 143-147, 1972.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719 p.

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

TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do Médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, v. 13, n. 1, p. 34-50, 1989.

THINLEY, C. et al. Spiral and interlocking grain in *Eucalyptus dunnii*. **Holz als Roh – und Werkstoff**, v. 63, n. 5, p. 372-379, 2005.

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.

TOZER, M. The native vegetation of the Cumberland Plain, western Sydney: systematic classification and field identification of communities. **Cunninghamia**, v. 8, n. 1, p. 1-75, 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.

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

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.

VIERA, M. et al. Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 3, p. 432-439, mar, 2015.

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 mai. 2015.

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, 2005.

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.

WITSCHORECK, R. **Recomendação de fertilizantes para *Eucalyptus saligna* sm. com base no balanço nutricional na região de Guaíba-RS**. 2014. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

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

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 166, p. 285-294, 2002.



## APÊNDICE

**Apêndice A** – Registro fotográfico da coleta dos dados nos povoamentos com eucaliptos, aos sete anos de idade, no Bioma Pampa-RS.

