

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TIAGO LUIS HABITZREITER

PRODUÇÃO DE BIOMASSA E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES DE  
*Eucalyptus grandis* E *E. urophylla*

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2016

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**TIAGO LUIS HABITZREITER**

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES DE**  
*Eucalyptus grandis* E *E. urophylla*

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2016**

TIAGO LUIS HABITZREITER

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES DE  
*Eucalyptus grandis* E *E. urophylla***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Adami

Coorientador: Prof. Dr. Eleandro José Brun

Coorientador: Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor

PATO BRANCO

2016

H116p Habitzreiter, Tiago Luis.

Produção de biomassa e exportação de nutrientes de  
*Eucalyptus grandis* E *E. urophylla* – Pato Branco: [s.n], 2016.  
92 f.:il.

Orientador: Paulo Fernando Adami

Coorientador: Eleandro José Brun

Coorientador: Laércio Ricardo Sartor

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em  
Agronomia. Pato Branco, 2016.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação n.º 129

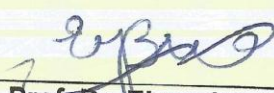
*Produção de Biomassa e Exportação de Nutrientes de Eucalyptus Grandis e Eucalyptus Urophylla*

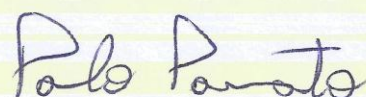
Por

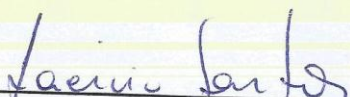
**Tiago Luis Habitzreiter**

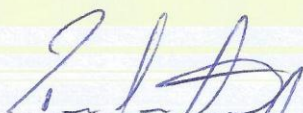
Dissertação apresentada às oito horas e trinta minutos do dia sete de março de dois mil e dezesseis, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Integração Lavoura-Pecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eleandro José Brun  
UTFPR/Dois Vizinhos

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Sérgio Pavinato  
USP/Piracicaba

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor  
UTFPR/Dois Vizinhos

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Fernando Adami  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Giovani Benin  
Coordenador do PPGAG

A Deus, fonte de toda ciência.  
Ao meu pai, Olivio.  
À minha mãe, Iracilde.  
Com todo meu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

À Olívio e Iracilde, pais incentivadores, pelos ensinamentos de honestidade, trabalho intensivo e perseverança.

A minha namorada Jessica Martello, por todo amor, carinho e incentivo.

Ao meu orientador, Dr. Paulo Fernando Adami pela orientação, apoio, dedicação ao meu aprendizado, confiança, ensinamentos e conselhos. Exemplo que levarei para a vida toda.

Aos professores Drs. Eleandro José Brun e Laércio Ricardo Sartor pela co-orientação.

Ao Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva pela parceria em análises de poder calorífico.

Aos professores que passaram por minha vida, por favorecerem meu desenvolvimento como profissional e cidadão.

Aos colegas da Pós-Graduação, por compartilharem dificuldades, experiências e conhecimento.

Aos colegas André Lucas Santana, Fernando Franceschi, Andrei Zanella, pela motivação e toda ajuda na finalização da dissertação.

A equipe da FlorCoop pela disponibilidade da área de estudo.

A todos os colegas que auxiliaram nas análises laboratoriais.

À UTFPR e ao PPGAG, pela oportunidade da realização do mestrado.

À CAPES, pela concessão de bolsa.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, meus sinceros agradecimentos.

“O fracasso quebra as almas pequenas e engrandece as grandes,  
assim como o vento apaga a vela e atíça o fogo da floresta.”

Benjamin Franklin



## RESUMO

HABITZREITER, Tiago Luis. Produção de biomassa e exportação de nutrientes de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla*. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

A investigação científica na área de tecnologia de produção florestal busca técnicas que aumentem a produção por unidade de área, com alta viabilidade econômica e com redução dos impactos ambientais. Quando se tratam de plantios florestais, são necessários estudos da produção de biomassa e seu teor de nutrientes, sendo estes dados parâmetros para planejar as implicações ambientais de diferentes intensidades de colheita florestal. Diante do exposto, o presente estudo buscou elucidar a produção e exportação de biomassa e nutrientes para duas espécies do gênero *Eucalyptus* (*E. grandis* e *E. urophylla*) cultivadas na região sudoeste do Paraná. Para isso, foi avaliado: o estoque de biomassa e nutrientes na árvore (madeira, casca, galhos e folhas) aos 60 meses de idade do povoamento; a taxa de exportação de nutrientes; o poder calorífico e viabilidade econômica. A biomassa e os maiores estoques de nutrientes do eucalipto encontram-se predominantemente alocados no fuste (madeira + casca). Os componentes da biomassa apresentaram composições químicas distintas, sendo geralmente maiores nas folhas e casca e menores nos componentes madeira e galhos. Quanto ao poder calorífico, a folha teve seu poder calorífico estatisticamente superior às demais frações avaliadas, seguidas dos galhos, madeira e casca. O teor de Carbono orgânico (C.O.) está diretamente ligado ao poder calorífico, sendo que quanto maior o mesmo na fração, maior o poder calorífico. A madeira apresentou os maiores valores de eficiência de utilização de nutrientes, algo bastante desejável e de grande interesse para a silvicultura. Nas folhas estão os menores valores de eficiência de utilização de nutrientes, com exceção do Ca e Mg que estão na casca, indicando a importância da manutenção destes componentes no solo após a colheita. A fração madeira apresenta a biomassa de menor custo considerando o custo de reposição dos nutrientes exportados. Por outro lado, a fração folhas apresentou o maior custo de reposição de NPK.

**Palavras-chave:** Nutrição florestal. Poder calorífico. Análise econômica.

## ABSTRACT

HABITZREITER, Tiago Luis. Biomass production and nutrient exportation of *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla*. 97 f. Thesis (MS in Agronomy) - Graduate in Agronomy Program (Concentration Area: Plant Production), Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2016.

Scientific research in forest production technology area search techniques that increase production per unit area, with high economic viability and reducing environmental impacts. When dealing with forest plantations, studies are needed in the production of biomass and its nutrient content, and these are data parameters for planning the environmental implications of different intensities of forest harvesting. Given the above, this study aimed to elucidate the production and export of biomass and nutrients for two species of the genus *Eucalyptus* (*E. grandis* and *E. urophylla*) grown in the southwestern region of Parana. For this, it was evaluated: the stock of biomass and nutrients in eucalyptus (wood, bark, branches and leaves) at 60 months of age; the export rate of nutrients; the calorific value and economic viability. The biomass and the largest eucalyptus nutrient stocks are predominantly allocated to the stem (wood + bark). The components of biomass showed different chemical compositions, generally being higher in the leaves and bark and lower in wood and branches components. As for the calorific value, the leaves had its calorific value statistically superior than the other fractions, followed by branches, wood and bark. The organic carbon content (C.O.) is directly connected to the calorific value, and the calorific value increases as its content increase. The wood had the highest nutrient use efficiency values, something highly desirable and of great interest to forestry. The leaves showed smaller nutrient utilization efficiency values, with the exception of Ca and Mg that were smaller in the bark, indicating the importance of maintaining these components in the soil after harvest. The wood fraction presents the biomass lower cost when considering the replacement of nutrients exported by its biomass. On the other hand, the leaf fraction showed NPK higher cost of replacement.

**Keywords:** Forest Nutrition. Calorific value. Economic analysis.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL COM AS DUAS ÁREAS; (A) <i>E. urophylla</i> E (B) <i>E. grandis</i> .	26
FIGURA 2 - TRADO DE PERFURAÇÃO DO SOLO E PONTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO	37
FIGURA 3 - ÁRVORE SECCIONADA PARA A CUBAGEM POR SMALIAN.	39
FIGURA 4 - SATURAÇÃO DA MADEIRA EM ÁGUA PARA DETERMINAR DENSIDADE.	42
FIGURA 5 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA PELO MÉTODO DE IMERSÃO EM ÁGUA.	42
FIGURA 6 - ILUSTRAÇÃO DA POSIÇÃO DE COLETA DOS DISCOS PARA A AMOSTRAGEM DE MADEIRA E CASCA.	62
FIGURA 7 - CADINHOS SECOS DENTRO DO DESSECADOR (A), CADINHOS APÓS A QUEIMA DAS AMOSTRAS (B).	81
FIGURA 8 - BOMBA CALORIMÉTRICA UTILIZADA PARA, DETERMINAR PODER CALORÍFICO.	83

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES PARA <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	37
TABELA 2 - VALORES DE NÚMEROS DE PLANTAS INICIAIS PLANTADAS POR HECTARE, NÚMERO DE ÁRVORES INVENTARIADAS E PORCENTAGEM DE FALHAS.	44
TABELA 3 - NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE POR CLASSE DIAMÉTRICA E FREQUÊNCIA, PARA AS ESPÉCIES <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	45
TABELA 4 - VALORES DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE A VOLUME DE MADEIRA (VM), VOLUME DE CASCA (VC) E MADEIRA + CASCA (VM+VC), REFERENTE AS DUAS ESPÉCIES POR HECTARE E AS QUATRO CLASSES.	46
TABELA 5 - PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS DE DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP), ALTURA TOTAL (HT), VOLUME COM CASCA (VC/C) E SEM CASCA (V S/C), FATOR DE FORMA COM CASCA (FF C/C) E SEM CASCA (FF S/C) E VOLUME DE CASCA (VC %) DOS <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	47
TABELA 6 - VOLUME MÉDIO PARA AS CLASSES DIAMÉTRICAS, NAS DIFERENTES FRAÇÕES: MADEIRA, CASCA, MADEIRA MAIS CASCA, NAS ESPÉCIES <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	48
TABELA 7 - QUANTIDADE DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO (MG.MS.HA <sup>-1</sup> ) E PORCENTAGEM EM CADA FRAÇÃO PARA POVOAMENTO DE <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	49
TABELA 8 - VALORES REFERENTE A TEORES DE MACRONUTRIENTES (N, P, K, Ca E Mg) NA FRAÇÃO MADEIRA, REFERENTE AS ESPÉCIES <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	64
TABELA 9 - TEORES MÉDIOS DE NUTRIENTES (g.kg <sup>-1</sup> ), NA FRAÇÃO MADEIRA, PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	64
TABELA 10 - VALORES REFERENTE A TEORES DE MACRONUTRIENTES (N, P, K, Ca E Mg) NA FRAÇÃO CASCA, REFERENTE AS ESPÉCIES <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	65
TABELA 11 - TEORES MÉDIOS DE NUTRIENTES (g.kg <sup>-1</sup> ), NA FRAÇÃO CASCA, PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	66
TABELA 12 - VALORES REFERENTE A TEORES DE MACRONUTRIENTES (N, P, K, Ca E Mg) NA FRAÇÃO GALHO, REFERENTE AS ESPÉCIES <i>E. GRANDIS</i> E <i>E. UROPHYLLA</i> .	67
TABELA 13 - TEORES MÉDIOS DE NUTRIENTES (g.kg <sup>-1</sup> ), NA FRAÇÃO GALHO, PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	67
TABELA 14 - VALORES REFERENTE A TEORES DE MACRONUTRIENTES (N, P, K, Ca E Mg) NA FRAÇÃO FOLHA, REFERENTE AS ESPÉCIES <i>E. GRANDIS</i> E <i>E. UROPHYLLA</i> .	68
TABELA 15 - TEORES MÉDIOS DE NUTRIENTES (g.kg <sup>-1</sup> ), NA FRAÇÃO FOLHA, PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> .	68
TABELA 16 - COMPARAÇÃO DO TEOR MÉDIO DE NUTRIENTES ENTRE AS FRAÇÕES	70
TABELA 17 - QUANTIDADE DE NUTRIENTES NOS DIFERENTES COMPONENTES FORMADORES DA BIOMASSA DO <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> . AOS 60 MESES DE IDADE.	71
TABELA 18 - TEOR DE CINZAS (%), PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E CARBONO ORGÂNICO (C.O %), NAS FRAÇÕES MADEIRA, CASCA, FOLHA E GALHOS EM EUCALIPTO.	84
TABELA 19 - PRODUÇÃO DE BIOMASSA MÉDIA ENTRE <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> . PODER CALORÍFICO INFERIOR E PRODUÇÃO GERAL DE ENERGIA PARA AS FRAÇÕES MADEIRA, CASCA, FOLHA E GALHOS DE EUCALIPTO.	86
TABELA 20 - QUANTIDADE DE NPK EXPORTADO NAS DIFERENTES FRAÇÕES DE DUAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO AOS 60 MESES DE IDADE, E O CUSTO DE REPOSIÇÃO DO NPK EXPORTADO ATRAVÉS DA BIOMASSA.	87
TABELA 21 - BIOMASSA E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES (EUN) DE NUTRIENTES, PARA <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> , AOS 60 MESES DE IDADE.	88
TABELA 22 - CUSTO DE REPOSIÇÃO DE NPK EXPORTADO POR TONELADA DE BIOMASSA PARA <i>E. GRANDIS</i> E <i>E. UROPHYLLA</i> , AOS 60 MESES DE IDADE.	88
TABELA 23 - PRODUÇÃO MÉDIA DE BIOMASSA, PRODUÇÃO DE ENERGIA E ANÁLISE ECONÔMICA PARA AS DUAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO AOS 60 MESES DE IDADE.	89
TABELA 24 - TEOR DE NITROGÊNIO NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS E NAS DIFERENTES FRAÇÕES PARA <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> . AOS 60 MESES DE IDADE.	95
TABELA 25 - TEOR DE FÓSFORO NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS E NAS DIFERENTES FRAÇÕES PARA <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> . AOS 60 MESES DE IDADE.	95
TABELA 26 - TEOR DE POTÁSSIO NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS E NAS DIFERENTES FRAÇÕES PARA <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> . AOS 60 MESES DE IDADE.	96

TABELA 27 - TEOR DE CÁLCIO NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS E NAS DIFERENTES FRAÇÕES PARA <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> . AOS 60 MESES DE IDADE. ....	96
TABELA 28 - TEOR DE MAGNÉSIO NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS E NAS DIFERENTES FRAÇÕES PARA <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> . AOS 60 MESES DE IDADE. ....	97

## **LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMO**

PR Unidade da federação – Paraná

UTFPR-DV Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Dois Vizinhos

NBR- Normas Técnicas Brasileira.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

## LISTA DE ABREVIATURA

CAP	Circunferência a altura do peito
cm	Centímetro
C.O.	Carbono orgânico
DAP	Diâmetro à altura do peito
GL	Graus de liberdade
p.	Página
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
MS	Matéria seca
QM	Quadrado médio

## LISTA DE SÍMBOLO

m <sup>3</sup>	Metro cubico
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m	Metro
mm	Milímetro
%	Porcentagem
°	Grau
Π	Pi
g	Gramma
GW	Gigawatts
Gcal	Gigacalorias
ha	Hectare
kg	Quilograma
kcal	Quilocalorias
Mg	Megagrama ou tonelada



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2.	OBJETIVO GERAL.....	19
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2.2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.2.1.	Descrição Do Eucalipto .....	20
2.2.2.	Biomassa e Nutrientes.....	21
2.2.3.	Inventário Florestal .....	22
2.2.3.1.	Diâmetro a altura do peito (DAP) .....	23
2.2.3.2.	Altura .....	23
2.2.3.3.	Volume .....	24
2.2.3.4.	Área transversal (g).....	24
2.2.3.5.	Classe diamétricas .....	25
2.3.	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	25
2.3.2.	Características Climáticas.....	26
2.3.3.	Características Do Solo .....	27
2.3.4.	Histórico Da Área .....	27
2.3.5.	Material Experimental .....	27
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
3.	PRODUÇÃO EM VOLUME E BIOMASSA DE <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i> 33	
3.1.	INTRODUÇÃO .....	35
3.2.	MATERIAL E MÉTODOS .....	36
3.2.1.	Caracterização Da Fertilidade Do Solo.....	36
3.2.2.	Coleta De Dados.....	38
3.2.3.	Coleta de Árvores-amostra.....	38
3.2.4.	Fator De Forma .....	40
3.2.5.	Determinação Da Biomassa .....	40
3.2.6.	Determinação Da Densidade .....	41
3.2.7.	Análise De Dados .....	43
3.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
3.3.1.	Características Dendrométricas.....	43
3.3.2.	Análise Volumétrica .....	44
3.3.3.	Biomassa Aérea.....	49
3.4.	CONCLUSÕES .....	52

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>
<b>4. TEOR DE NUTRIENTES E TAXA DE EXPORTAÇÃO PELA BIOMASSA AÉREA DE <i>E. grandis</i> E <i>E. urophylla</i>.....</b>	<b>58</b>
4.1. INTRODUÇÃO .....	60
4.2. MATERIAL E MÉTODOS .....	61
4.2.1. Coleta Da Biomassa .....	61
4.2.2. Determinação Do Teor De Nutrientes .....	62
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	63
4.3.1. Teor De Nutrientes Na Madeira .....	63
4.3.2. Teor De Nutrientes Na Casca .....	65
4.3.3. Teor De Nutrientes Nos Galhos.....	67
4.3.4. Teor De Nutrientes Na Folha .....	67
4.3.5. Teor Médio De Nutrientes Nas Frações.....	70
4.3.6. Teor De Nutrientes Na Biomassa.....	71
4.4. CONCLUSÕES .....	72
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
<b>5. PODER CALORÍFICO E ANÁLISE ECONÔMICA DA VIABILIDADE DE USO DA BIOMASSA TOTAL OU PARCIAL .....</b>	<b>77</b>
5.1. INTRODUÇÃO .....	79
5.2. MATERIAL E MÉTODOS .....	80
5.2.1. Coleta De Amostras .....	80
5.2.2. Teor De Cinzas.....	80
5.2.3. Determinação Do Poder Calorífico .....	81
5.2.4. Determinação De Carbono Orgânico.....	83
5.2.5. Análise De Custo De Fertilizantes.....	83
5.2.6. Eficiência de Utilização de Nutrientes .....	83
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	84
5.3.1. Poder Calorífico.....	84
5.3.2. Análise Econômica Da Produção De Biomassa .....	86
5.4. CONCLUSÕES .....	90
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>91</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O plantio de florestas de rápido crescimento em propriedades rurais traz consigo uma série de benefícios, tais como ocupação dos solos de difícil mecanização, proteção de nascentes e cursos d' água, recuperação do solo, entre outros (HIGA; MORA, 2006). Contudo, a cultura da floresta é também uma atividade econômica, tal como uma cultura agrícola tradicional. Uma propriedade bem planejada tem perfeitas condições de manter áreas com floresta plantada representando ao agricultor um investimento em sua propriedade, que pode ser explorada ao longo dos anos.

O setor de florestas plantadas vem desempenhando importante papel no cenário socioeconômico do país, contribuindo com a produção de bens e serviços, agregação de valor aos produtos florestais e para a geração de empregos e renda a todos os envolvidos na atividade. Seguramente, o Brasil detém uma das mais avançadas técnicas de cultivo de florestas plantadas do mundo, sendo o eucalipto o seu principal componente (AHRENS, 2010).

A área de florestas plantadas para fins industriais no Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014, aumento de 1,8% em relação a 2013. Esse total corresponde a apenas 0,9% do território brasileiro. Além das árvores plantadas, dos 851 milhões de hectares do território nacional, 66,1% estavam cobertos por habitats naturais, 23,3% ocupados por pastagens, 6,2% por agricultura e 3,5% por redes de infraestrutura e áreas urbanas. Os plantios de eucalipto ocupam 5,56 milhões de hectares da área de árvores plantadas no País, o que representa 71,9% do total, e estão localizados principalmente nos Estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%) (IBA, 2015).

De maneira geral, o eucalipto produz grande quantidade de biomassa, devido à sua elevada adaptação ao clima e às condições edafoclimáticas encontradas no Brasil. O estudo desta produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes em plantações de eucaliptos, em especial o que diz respeito à exportação de nutrientes através da colheita da biomassa, é a base para o entendimento da dinâmica nutricional em sítios florestais (VIERA, 2012).

Os povoamentos florestais são sistemas abertos sujeitos a constantes

mudanças, com entradas e saídas de elementos químicos, sendo que muitos deles são classificados como essenciais ao desenvolvimento vegetal (PALLARDY, 2008). A biomassa é fonte de nutrientes, sendo em muitos casos o principal compartimento de armazenamento, como é o caso de muitas áreas de floresta tropical (PRITCHETT, 1990).

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

O manejo eficiente de um povoamento florestal também está ligado à ciclagem de nutrientes, para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo com o que é assimilado novamente pelas raízes. Portanto, estimar a exportação de macro e micronutrientes através dos diferentes componentes é importante para a compreensão de um manejo correto da floresta.

Para se entender melhor o funcionamento de um sistema florestal se fazem necessários estudos de quantificação da biomassa e de nutrientes, sendo de fundamental importância que se conheça a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do ecossistema. Assim podem-se encontrar indicadores de possíveis impactos que algumas técnicas silviculturais podem causar (CALDEIRA et al., 2008).

A literatura atual disponibiliza trabalhos (SCHUMACHER, 1996; VIERA, 2012) sobre a produção e exportação de nutrientes do Eucalipto, no entanto, estes dados são referentes a regiões do Rio grande do sul, com condições edafoclimáticas distintas e de materiais genéticos antigos. Estes aspectos, aliado a pouca informação com base regional, o surgimento de novos materiais genéticos, justificam a necessidade do presente estudo.

Diante do exposto, o objetivo geral da presente dissertação foi determinar a produção de biomassa aérea e estimar a exportação de nutrientes nas diferentes frações da planta, em plantios de duas espécies de Eucalipto (*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*) no município de Salto do Lontra-PR, Brasil.

## 2. OBJETIVO GERAL

Quantificar a biomassa, poder calórico e o estoque de nutrientes em dois plantios puros *E. grandis* e *E. urophylla*.

### 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar a biomassa acima do solo das árvores de *E. grandis* e *E. urophylla*;
- Determinar o estoque de nutrientes nos diferentes frações da biomassa;
- Estimar a exportação de nutrientes pela biomassa aérea, nos diferentes compartimentos da planta;
- Avaliar a viabilidade econômica do uso dos diferentes componentes da árvore considerando o poder calorífico e a exportação de nutrientes.

## 2.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico são exploradas informações sobre a descrição do eucalipto, biomassa e nutrientes e inventário florestal.

### 2.2.1. Descrição Do Eucalipto

O gênero *Eucalyptus*, originário da Austrália, possui cerca de 700 espécies descritas e tem sido uma grande alternativa ao uso da madeira nativa na produção madeireira. Isso se dá principalmente em razão do seu rápido crescimento e da alta produtividade (RAMOS et al, 2011). No Brasil, das mais de 100 espécies introduzidas, o *E. grandis* ainda é o mais plantado, seguido pelo *E. saligna* e *E. urophylla*, cabendo ainda destacar os resultados satisfatórios com a introdução de novas espécies na região como *E. camaldulensis*, *E. benthami*, *E. viminalis*, *E. citriodora*, além de clones e híbridos que tem apresentado bom desempenho e adaptação as diversas condições climáticas (SBS, 2010).

Relata a historia que as primeiras espécies de eucalipto introduzidas no Brasil para fins comerciais foram plantadas por Navarro de Andrade entre 1900 - 1910, para atender a uma crescente demanda de madeira como fonte energética para as locomotivas a vapor da Companhia Paulista de Estrada de Ferro. Somente nos anos 50 que a importância econômica do eucalipto ganhou impulso no Brasil, com o início de sua utilização como matéria-prima para a produção de celulose e papel (HASSE, 2006).

De acordo com Pereira et al. (2000), o gênero *Eucalyptus* compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bastante diferenciadas, o que permite a substituição de várias espécies nativas. Uma das espécies do gênero que se destaca é o *Eucalyptus grandis* como uma das mais plantadas no Brasil e no mundo, e considerada uma das espécies de madeira mais versáteis e indicadas para uso múltiplo (HASELEIN et al., 2004).

O *Eucalyptus grandis* tem boa adaptação em todas as regiões do Brasil, com elevado potencial silvicultural e plantios em larga escala; as árvores

possuem boa forma, produzem toras adequadas para serraria e produção de moveis (ROCHA, 2000).

O *Eucalyptus urophylla*, ocorrendo naturalmente na ilha de Timor e em outras ilhas a leste do arquipélago indonésio, adapta-se a solos hidromórficos ou francamente arenosos, em diferentes altitudes. É considerada apta para regiões onde não ocorrem geadas e situações de déficits hídricos severos (CIFLORESTAS, 2015).

De acordo com Arantes (2009), a madeira do *Eucalyptus urophylla* é considerada medianamente leve e as propriedades de resistência mecânica são moderadas. É uma madeira de relativa estabilidade e alta permeabilidade. No Brasil, é indicada para usos gerais e muito utilizada em laminação, componentes estruturais para construção, caixotaria, mourões, escoras, celulose e papel, chapas duras, painéis, lenha e carvão.

O eucalipto se destaca entre as principais fontes de matéria-prima para a produção de celulose e de carvão vegetal (biomassa energética) para siderurgia, bem como para serrarias e fabricação de cimento, postes, óleos essenciais, entre outras finalidades (LIMA, 1996). O gênero *Eucalyptus*, se adaptou muito bem as diferentes condições edafoclimáticas do Brasil, refletindo nos maiores incrementos médios anuais mundiais (SCARPINELLA, 2002).

### **2.2.2. Biomassa e Nutrientes**

Segundo Soares et al. (2011), biomassa pode ser definida como a massa orgânica produzida por unidade de área, podendo ser expressa em peso de matéria seca, peso de matéria úmida e peso de carbono. Sua análise é de grande importância na avaliação de ecossistemas, em virtude da aplicação na análise da produtividade, conversão de energia, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenamento de energia solar e carbono, entre outros.

A quantificação da biomassa presente na parte aérea de uma árvore pode ser obtida através do método direto ou destrutivo, que consiste em abater algumas árvores amostra, para obtenção dos dados, sendo coletados valores

referentes a volume de madeira e casca, e quantificação da biomassa galhos e folhas, e o método indireto, que se obtêm estimativas de produção de biomassa através de equações matemáticas.

A produção de matéria seca por árvore e sua distribuição para cada componente da parte aérea e do sistema radicular variam de acordo com a espécie, sítio e espaçamento (SANTOS et al., 2012).

Sartório (2014) relata que espaçamentos mais amplos promoveram um maior desenvolvimento individual, resultando em árvores com maiores valores de DAP (Diâmetro a altura do peito), altura, volume e biomassa seca total. A produção de biomassa pode variar intensamente conforme a disponibilidade de recursos do sítio florestal, que influenciam na fotossíntese, no particionamento do carbono, na produção de folhas, respiração, entre outros (RYAN et al., 2010).

A disponibilidade de água e nutrientes também afeta diretamente a produção de biomassa florestal. A quantificação dessa biomassa e de nutrientes em qualquer forma de ecossistema florestal é de fundamental importância para que se conheça a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos da planta e do ecossistema (CALDEIRA et al., 2008).

### **2.2.3. Inventário Florestal**

O inventário florestal é uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas, ou seja, determinar o que tem e quanto tem de biomassa em uma determinada área. São importantes técnicas utilizadas no diagnóstico do potencial produtivo ou protetivo de florestas. É através dos resultados do inventário florestal que se determinam as decisões a serem tomadas quanto ao manejo a ser aplicado (SCOLFORO, 2004).

Os inventários florestais são utilizados em vários tipos de levantamentos para fins de reconhecimento, diagnóstico e avaliações no campo florestal. Bem como a quantificação de estoques de carbono e também o volume de



biomassa. O inventário florestal é composto basicamente pela tomada de dados de diâmetro a altura do peito (DAP), Altura (ht), volume e número de indivíduos.

### **2.2.3.1. Diâmetro a altura do peito (DAP)**

Até início do século XX, as medidas de diâmetro eram tomadas em diferentes alturas no tronco, sendo que em alguns países, era padrão a coleta destes dados próximo à base da árvore. A falta de padronização do local de coleta devido à coleta de dados por diferentes pessoas em diferentes locais na planta sempre impossibilitou a comparação de dados. A fim de possibilitar tal comparação, conveniu-se que a altura mais adequada para a medição de diâmetro seria a 1,30m a partir do solo, denominando essa mediada por diâmetro à altura do peito (MACHADO, 2009).

O diâmetro é uma das variáveis mais importantes na quantificação volumétrica e avaliação de biomassa ou estudo de crescimento. Serve também para diferenciar, ainda que empiricamente, árvores finas de árvores grossas.

A medida de diâmetro da árvore, desempenha um papel importante no levantamento de informações sobre a floresta. Dentre os pontos mais importantes podemos destacar como sendo uma variável de fácil acesso e medição, além de servir de base para muitos outros cálculos de produção.

### **2.2.3.2. Altura**

A altura de uma árvore ou porção dela é a distância linear ao longo de seu eixo principal, partindo do solo até o topo ou até outro ponto referencial, sempre em conformidade com o tipo de altura que se procura medir.

A altura constitui-se em outra importante característica da árvore que pode ser medida ou estimada. Ela serve essencialmente para o cálculo do volume e para o cálculo de incrementos em altura e em volume. A obtenção dos dados de altura pode ser determinada através de medidas diretas, indiretas e estimativas (MACHADO, 2009).

### 2.2.3.3. Volume

A expressão quantitativa mais usada em florestas é o volume de madeira. O volume das árvores pode ser estimado através de relações previamente estabelecidas entre eles e dimensões facilmente mensuráveis. Diâmetro, altura e forma são as variáveis independentes geralmente utilizadas para estimar o volume de madeira. O resultado final de uma relação desse tipo pode ser apresentado em forma de tabela, chamada de tabela de volume (HUSCH et al., 1972).

Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos levantamentos florestais, quando se tratando de povoamentos destinados para fins comerciais. O volume real do fuste de uma árvore pode ser considerado uma porcentagem do volume de um cilindro, definido pelo DAP (diâmetro a altura do peito) e pela altura total ou comercial das árvores, essa relação entre os volumes define o chamado Fator de forma (SOARES et al. 2012).

Podem ser calculados volumes de madeira com casca, (que é a soma de madeira mais casca), madeira sem casca (somente a madeira), volume de casca (volume de madeira com casca menos o volume de madeira) e a biomassa de galho e de folhas.

### 2.2.3.4. Área transversal (g)

A área transversal (g) refere-se à área da secção transversal no ponto de medida do diâmetro, geralmente para árvores medidas em pé, refere-se ao DAP. E o cálculo se da pela seguinte equação:

$$g = \frac{\pi d^2}{4}$$

Onde que:

g = área transversal (m<sup>2</sup>);

d = diâmetro a altura do peito (m);

### 2.2.3.5. Classe diamétricas

A caracterização da distribuição diamétrica pode indicar o potencial de utilização de povoamentos florestais, principalmente quando se trabalha com multiprodutos. A distribuição diamétrica de determinado povoamento ou floresta é facilmente avaliada por meio da medição direta das árvores, com os diâmetros agrupados em classes de amplitudes definidas (ARAÚJO et al., 2010).

Para definição do número de classes de diâmetros ( $nc$ ) utiliza-se a fórmula de Sturges:

$$nc = 1 + 3,3 \log n$$

Em que:  $n$  = número de indivíduos observados; e  $nc$  = número de classes.

A determinação do intervalo de classes ( $L$ ) é realizada através da razão entre a amplitude total e o número de classes:

$$L = R / nc$$

Em que:  $R$  = amplitude - o maior valor da amostra menos o menor valor da amostra e;  $nc$  = número de classes diamétricas.

## 2.3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL

### 2.3.1. Localização Da Área Experimental

A área experimental foi instalada em uma floresta plantada com duas espécies: *E. grandis* e *E. urophylla*. A área de propriedade da Cooperativa FlorCoop, com sede no município de Francisco Beltrão-PR. A pesquisa foi realizada em uma das áreas de reflorestamento da cooperativa, esta com área de 25 hectares de Eucaliptos, localizada no município de Salto do Lontra-PR e delimitada pelas

coordenadas geográficas 25° 46' 38,24" de latitude S, longitude de 53° 12' 26,8" W e altitude de aproximadamente 510 m.

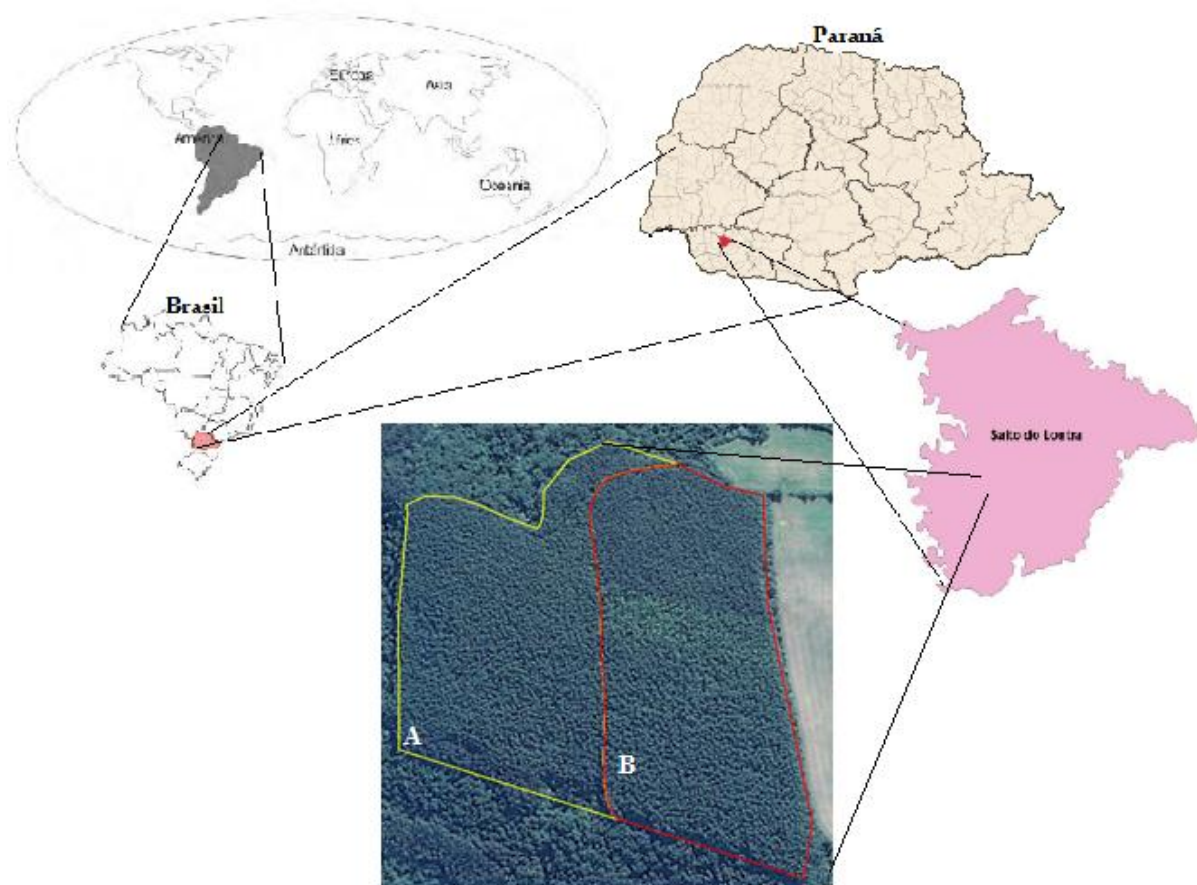


Figura 1 - Localização da área experimental com as duas áreas; (A) *E. urophylla* e (B) *E. grandis*.

### 2.3.2. Características Climáticas

A região possui clima "Cfa", conforme classificação de Köppen, de transição subtropical úmido mesotérmico, verões quentes com temperatura média de 22°C, e inverno com geadas pouco frequentes. Possui temperatura média inferior a 18°C, com as quatro estações do ano bem definidas, chuvas frequentes, sempre acima de 60 mm por mês, e com pluviosidade média anual de 1800 a 2000 mm (MAACK, 1981).

### 2.3.3. Características Do Solo

Segundo Bhering et al. (2007), os solos do município de Salto do Lontra são classificados em três classes: - Latossolos Vermelhos Distroféricos, Neossolos Litólicos Eutróficos e Nitossolos Vermelhos Distroféricos.

O solo da área em estudo está classificada como Nitossolo Vermelho Distroférico, onde este solo é característico de áreas levemente onduladas e livres de pedras, com solo profundo e boa drenagem, com baixa fertilidade e altos teores de ferro nos horizontes superficiais (BHERING et al., 2007).

### 2.3.4. Histórico Da Área

Historicamente, esta área era utilizada para cultivo com culturas anuais, basicamente cultivado com milho, soja e aveia. Após aquisição da área pela cooperativa, no ano de 2009, foi realizado o plantio da floresta de eucalipto, o qual teve início em setembro de 2010. A área foi previamente preparada com escarificação do solo a uma profundidade de 30 cm e controle das plantas daninhas, com o uso de herbicida.

### 2.3.5. Material Experimental

O material experimental foi composto por duas espécies de Eucalipto com idade de 60 meses:

- *Eucalyptus grandis* (Família: Myrtaceae; Nome popular: Eucalipto grandis);
- *Eucalyptus urophylla* (Família: Myrtaceae; Nome popular: Eucalipto urophylla);

As duas espécies foram plantadas no mesmo sítio florestal, sendo esta alocada em uma área de plantio de 25 ha, onde a mesma foi dividida em duas áreas com tamanhos equivalentes para plantio das duas espécies.

O plantio das mudas foi realizado com espaçamento 3x2 entre plantas, com isso cada planta inicialmente tinha um espaçamento relativo de 6m<sup>2</sup> cada,

sendo a densidade inicial por hectare de 1666 árvores por hectare.

As mudas utilizadas eram de origem seminal, com boa sanidade e vigor, sendo que foi utilizado adubação de base com NPK.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, S.; PINTO JÚNIOR, J.E; **Cultivo do eucalipto**. 2 ed. Embrapa Florestas. Colombo, PR. 2010. Sistemas de Produção, 4 - 2ª edição ISSN 1678-8281 – Versão Eletrônica.

ARANTES, M.D.C. Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis w. hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla s. t. blake*. **Tese** (Doutorado) na área de processamento e utilização da madeira. UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico **ABRAF 2013**. ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013, 148 p.

BHERING, S. B.; SANTOS, H.G.; MANZATTO, C.V.; BOGNOLA, I.; CARVALHO, A. P.; POTTER, O. AGLIO, M.L.D.; SILVA, J.S.; CHAFFIN, C.E.; CARVALHO J.W. Mapa de Solos do Estado do Paraná. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 73 p. 2007.

CALDEIRA, M.V.W.; VITORINO, M.D.; SCHAADT, S.S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CARNEIRO, A.C.O.; TRUGILHO, P.F. Propriedades da madeira e estimativas demassa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore** (Impresso), Viçosa - MG, v. 36, p. 971-980, 2012.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS. Eucalipto. Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/> . Acesso em: 2 Dezembro. 2015.

HASELEIN, C.R.; LOPES, M. de C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S.J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D.L.G.; MENEZES, L.F. de. Características tecnológicas da madeira

de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, mar./abr. 2004.

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

HIGA, R.C.V.; MORA, A.L.; HIGA, A.R. Plantio de Eucalipto na pequena propriedade rural. 2 ed. Colombo: **Embrapa Florestas**. 2006.

HUSCH, B.; MILLER, C.I. E BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 2.ed. New York, The Ronald Press Co., 1972. 410p.

Indústria Brasileira de árvores (IBA), 2015. Disponível em: [http://iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf). Acesso em 04/08/2015.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. **Gotha**: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

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

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba: J. Olympio, 1981.

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

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: **EMBRAPA Florestas**, 2000. 113 p. (EMBRAPA Florestas. Documentos, 38).



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

RAMOS, L.M.A.; LATORRACA, J.V. de F.; PASTRO, M.S.; SOUZA, M.T. de; GARCIA R.A.; CARVALHO, A.M. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, dez. 2011.

ROCHA, M.P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias. 2000. 186 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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, apr. 2010.

SARTÓRIO, I.P. Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades. **Dissertação** (mestrado) Área: Manejo Florestal. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2014.

SCARPINELLA, G.D. **Reflorestamento no Brasil e o protocolo de Quioto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistema 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.

SCOLFORO, J.; ROBERTO. S., et al. **Biometria florestal**: medição, volumetria e gravimetria. UFLA/FAEPE, Lavras. 2004. 285p.

SOARES, C.P.B.; NETO, F.P.S.; AGOSTINHO L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Editora UFV, 272 p. 2011.

SOARES, F.A.; FLÔRES, E.L.; CABACINHA, C.D.; CARRIJO, G.A.; VEIGA, A.C.P. **Recursive diameter prediction for calculating merchantable volume of Eucalyptus clones without previous knowledge of total tree height using artificial neural networks**. *Applied Soft Computing*. 12 (2012) 2030–2039.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo: SBS. 2010. 93 p.

VIERA, M. Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, **Tese** (doutorado) – Silvicultura. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2012.

### 3. PRODUÇÃO EM VOLUME E BIOMASSA DE *E. grandis* E *E. urophylla*

#### RESUMO

A estimativa do volume e biomassa para as diferentes frações em povoamentos de *E. grandis* e *E. urophylla*, é importante para entender a dinâmica de crescimento destas espécies. O intuito deste trabalho foi estimar o volume produzido de madeira e a produção de biomassa acima do solo nas frações folha, galho, madeira e casca em cultivo de *E. grandis* e *E. urophylla* com 60 meses de idade, com objetivo de estimar a produção de matéria seca em cada fração. Foram alocadas doze parcelas experimentais (20 m x 20 m) para cada espécie estudada, onde se realizou o inventário florestal e a definição das classes diamétricas do povoamento (quatro classes). Para cada classe de diâmetro, foram abatidas três árvores para a quantificação de biomassa. A determinação do volume de cada árvore amostra foi realizada por meio de cubagem rigorosa (Smalian) e a biomassa determinada em base de matéria seca. Os povoamentos de *E. grandis* e *E. urophylla* apresentaram um incremento médio, em volume com casca e sem casca, de 32,66; 27,03 e 35,28; 26,72 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Das 83,68 Mg.MS.ha<sup>-1</sup>, o equivalente a 16,74 Mg.ha.ano<sup>-1</sup>, produzidas pelo *E. grandis*, 79,8% da massa seca ficou compartimentalizado na madeira, seguida da casca (8,95%), dos galhos (8,63%) e das folhas (2,63%). O *E. urophylla* teve o maior estoque de matéria seca para a fração casca (13,51%), em relação ao *E. grandis* (8,95%), e valores semelhantes para galhos (8,84%) e folhas (2,46%). Quanto à produção de biomassa arbórea acima do solo, *E. grandis* foi a espécie que apresentou os maiores valores para os compartimentos madeira e folha. Já para os compartimentos casca e galhos, a maior produção de biomassa foi registrada nas árvores de *E. urophylla*. Na média para as duas espécies estudadas, a biomassa encontra-se predominantemente alocada no tronco (madeira e casca). A copa das árvores (galhos e folhas) representam as menores frações com acúmulo, em média, de 14,27% da fração total da biomassa das árvores.

**Palavras-chave:** Inventário Florestal, Incremento; Matéria seca; Compartimentos.

## ANALYSIS OF VOLUME AND BIOMASS PRODUCTION OF *E. grandis* E *E. urophylla*

### Abstract

The evaluation of volume and biomass at the different fractions of *E. grandis* and *E. urophylla* stands is important to understand the growth dynamics of these species. The purpose of this study was to estimate the volume of wood produced and the production of aboveground biomass at the leaf, branches, wood and bark fraction of *E. grandis* and *E. urophylla* cultivation with 60 months old, in order to determinate the dry matter production in each fraction. Twelve plots were allocated (20 m x 20 m) for each species studied, where forest inventory was performed and the classes diameter defined (four classes). For each class in diameter, three trees were harvested for quantification of biomass. The determination of the volume of each sample was performed using Smalian method and biomass determined on dry matter basis. The forest of *E. grandis* and *E. urophylla* showed an average increase of volume with and without bark of 32.66; 27.03 and 35.28; 26.72 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, respectively. From the total dry biomass (83.68 Mg.MS.ha<sup>-1</sup>), equivalent to 16.74 Mg.ha.yr<sup>-1</sup> produced by *E. grandis*, 79.8% was composed by the wood, then bark (8, 95%), branches (8.63%) and leaves (2.63%). *E. urophylla* showed higher stocks of dry matter in the bark fraction (13.51%) when compared to *E. grandis* and similar values for branches (8.84%) and leaves (2,46%). In relation to aboveground production of woody biomass, *E. grandis* was the specie that presented the highest values for wood compartments and leaves. As for bark and branches, the highest biomass production was recorded in trees of *E. urophylla*. On average for the two species studied, biomass is predominantly allocated in the trunk, comprising as wood and bark. Tree crown (branches and leaves) represented smaller fractions that accumulate on average 14.27% of the total tree biomass.

**Key-words:** Forest Inventory, Increase; Dry matter; compartments.

### 3.1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a floresta é vista pelo homem como um recurso escasso com valor agregado, pelo aspecto econômico, ecológico e social, envolvidos no processo de produção. O crescimento das árvores em uma floresta depende de vários fatores tanto genéticos, representado pelo processo de melhoramento, como ambientais, representados pela luz, temperatura, disponibilidade de água, nutrientes entre outros (BEULCH, 2013).

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

De acordo com Bazilevich et al. (1971), a produtividade anual das florestas é diretamente dependente dos fatores climáticos. Salientam estes autores, que não se deve perder de vista outro importante fator que afeta a produtividade vegetal, que é a disponibilidade de nutrientes no sistema.

Reis et al. (1985), estudando o acúmulo de biomassa em uma floresta de *Eucalyptus grandis* ao longo do ciclo de crescimento, encontraram percentuais elevados para biomassa de madeira e casca (93,7%). No entanto os autores relatam que, na fase inicial de desenvolvimento do povoamento (15 meses de idade), a biomassa contida no componente madeira + casca é inferior a 45% do total da biomassa aérea. Com o passar do tempo, estes componentes apresentaram crescente elevação, até atingir mais de 85% da biomassa aérea total, aos 73 meses de idade. Outros autores também observaram que a alocação da biomassa de madeira, inicialmente, era inferior a 50% da biomassa total (SCHUMACHER et al. 2003).

Este comportamento de variação nos percentuais de alocação de biomassa acima do solo com a idade dos povoamentos decorre, segundo Larcher (2000), ao fato de que, durante a fase inicial do desenvolvimento de uma árvore, grande parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Em um segundo momento as copas começam a competir por espaço e luz, com isso

ocorre um aumento relativo na fração tronco e a fração folhas e ramos reduz gradativamente (LARCHER, 2000).

O presente estudo objetivou analisar o volume de madeira e a produção de biomassa nas diferentes frações das árvores de *E. urophylla* e *E. grandis*, avaliando cada compartimento (folha, galho, madeira e casca) individualmente, com intuito de estimar a produção de matéria seca em cada fração.

## **3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1. Caracterização Da Fertilidade Do Solo**

Com o intuito de caracterizar a fertilidade do solo na área da pesquisa foram coletadas amostras de solo nas duas espécies estudadas (*E. grandis* e *E. urophylla*), com a finalidade de demonstrar os teores de nutrientes deste solo. Foi realizado coleta de solo em diferentes profundidades: 00 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, esta coleta foi realizada com auxílio de um trado de perfuração (Figura 2). Depois de realizado a perfuração do solo até uma profundidade de 60 cm se procedia à coleta do solo, onde se retirava as amostras simples em cada profundidade, com auxílio de uma faca retirava uma fatia do solo e colocava em um balde plástico com a sua identificação de profundidade, foram realizadas dez coletas simples para cada área, formando assim uma amostra composta em cada profundidade.

Após a coleta do solo, foram misturadas bem as amostras simples para compor a amostra a ser levada para análise, sendo a mesma acondicionada em saco plástico e identificada com a área de coleta e a profundidade coletada.



Figura 2 - Trado de perfuração do solo e Ponto de perfuração para coleta de solo

Na Tabela 1 seguem os resultados das análises de solo para as duas espécies estudadas nas diferentes profundidades de coleta.

Tabela 1 - Caracterização química do solo em diferentes profundidades para *E. grandis* e *E. urophylla*.

Espécie	Prof. (cm)	M.O. g.dm <sup>3</sup>	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P mg.dm <sup>3</sup>	K	V %
<i>E. grandis</i>	00 - 20	29,48	5,2	10,28	0,23	64,03
<i>E. grandis</i>	20 - 40	17,42	4,9	6,50	0,08	52,78
<i>E. grandis</i>	40 - 60	20,10	4,9	5,55	0,05	45,55
<i>E. urophylla</i>	00 - 20	44,23	4,6	14,94	0,13	52,28
<i>E. urophylla</i>	20 - 40	28,14	5,0	7,37	0,08	56,64
<i>E. urophylla</i>	40 - 60	13,14	5,1	5,25	0,08	57,46

Espécie	Prof. (cm)	Al	CTC	Ca Cmolc.dm <sup>3</sup>	Mg	H + Al
<i>E. grandis</i>	00 - 20	0,00	13,79	6,3	2,3	4,96
<i>E. grandis</i>	20 - 40	0,08	11,33	3,9	2,0	5,35
<i>E. grandis</i>	40 - 60	0,06	9,11	2,3	1,8	9,46
<i>E. urophylla</i>	00 - 20	0,13	14,02	5,8	1,4	6,69
<i>E. urophylla</i>	20 - 40	0,00	11,44	5,0	1,4	4,96
<i>E. urophylla</i>	40 - 60	0,00	10,06	4,3	1,4	4,28

### 3.2.2. Coleta De Dados

Para a obtenção dos dados normalmente se utiliza o uso de parcelas e ou unidades amostrais, e se tratando de pequenos fragmentos pode ainda se utilizar de levantamento por censo. Neste trabalho foram instaladas parcelas com dimensões de 20 x 20m com 400 m<sup>2</sup> de área útil cada, sendo 12 parcelas para cada espécie, totalizando 24 unidades experimentais. Em cada parcela foi medido, a circunferências á altura do peito (CAP) de todas as árvores, utilizando fita métrica com precisão de décimos de centímetros, após estes dados foram convertidos pra DAP, conforme equação abaixo.

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (1)$$

Onde que:

DAP= Diâmetro a altura do peito 1,30 m.

CAP= Circunferência a altura do peito 1,30 m.

$\pi$ = PI (3,14159...).

A altura total de todas as árvores da parcela foram determinadas com precisão de centímetros, utilizando o Hipsômetro Vertex.

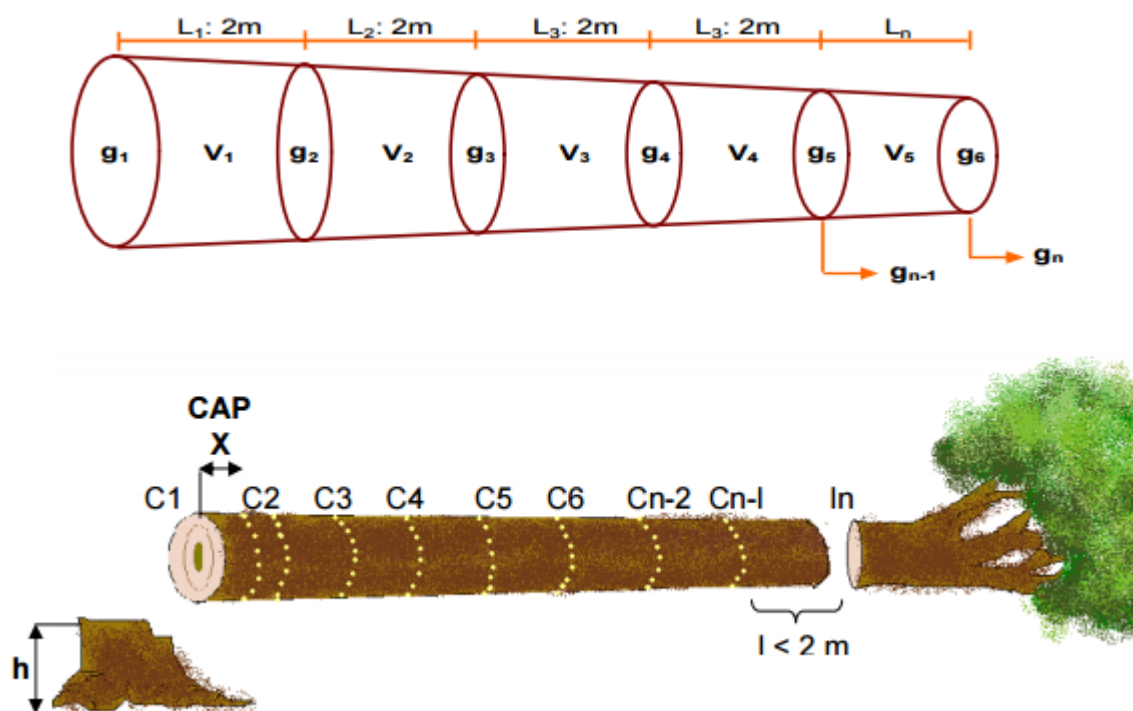
### 3.2.3. Coleta de Árvores-amostra

O procedimento adotado para a escolha das árvores-amostra foi realizado conforme o levantamento do inventário florestal, e a partir das classes diamétricas calculadas foi realizado o abate das árvores amostras.

Para a coleta de dados, foram selecionadas três árvores em cada classe diamétrica, onde que para cada espécie estudada foi classificada quatro classes de diâmetro, sendo elas: C1; 3,0 - 8,8; C2: 8,9 – 14,7; C3:14,8 – 20,6; C4: 20,7 - 26,5 cm. Foram abatidas 12 árvores para cada espécie. A determinação do volume de cada árvore amostra foi realizada por meio de cubagem rigorosa (Smalian).



O volume de Smalian é calculado em secção de 2m de comprimento, determinando-se a média das áreas transversais dos extremos da secção multiplicado pelos seus comprimentos conforme figura abaixo.



**Figura 3 - Árvore seccionada para a cubagem por Smalian.**

Fonte: Francez et al. 2010.

Foram coletados diâmetros a diferentes alturas do fuste, correspondentes às alturas de 0,10m, 0,3m, 0,5m, DAP (1,30m) e a partir desta tomou-se a distância de 2 em 2 metros (Figura 3), dessa forma ao fazer a cubagem foi possível obter os seguintes dados: volume comercial com e sem casca; volume total com e sem casca; volume de casca. A porcentagem de casca foi obtida através da equação:

$$Vc\% = \left( \frac{V_{CC} - V_{SC}}{V_{CC}} \right) * 100 \quad (2)$$

em que:

Vc% = volume de casca em porcentagem;

Vcc = volume com casca, em m<sup>3</sup>;

Vsc = volume sem casca, em m<sup>3</sup>;

A altura comercial foi determinada como sendo a medida da base da árvore até a metade da copa verde com diâmetro mínimo de 3cm, onde o fuste possui diâmetro pequeno e com grande porcentagem de galhos, se tornando inviável comercialmente. A altura total foi determinada como sendo a medida obtida da base até o topo da árvore.

### 3.2.4. Fator De Forma

O fator de forma de uma árvore é a relação entre o volume rigoroso de cada árvore e o volume do cilindro. Onde o fator de forma para o volume total e comercial de cada árvore amostra foi determinado por meio da seguinte equação:

$$F = \frac{VR}{VC_{1,3} h} \quad (3)$$

Em que:

F= Fator de forma;

VR= Volume Real;

VC= Volume do cilindro com diâmetro a 1,30 m de altura.

### 3.2.5. Determinação Da Biomassa

A determinação da biomassa foi feita utilizando-se os métodos direto e destrutivo de árvores. Esta avaliação foi realizada nas mesmas árvores abatidas para a cubagem, onde foram retirados todos os galhos da árvore e separado as folhas dos galhos. Em seguida, a biomassa úmida de cada fração foi pesada no campo para a determinação do peso úmido, com auxílio de uma balança digital móvel, em seguida retiraram-se amostras destes materiais que foram levados para o laboratório de solos da UTFPR-DV, e pesado estas amostras úmidas, após foram colocadas em estufa de circulação forçada para serem secas, com intuito de determinar a matéria seca de cada fração.

Para determinação de biomassa de casca e madeira, foram cortadas fatias em três posições da árvore (base, meio e ponta), sendo retiradas duas fatias

em cada posição, onde uma foi utilizada para determinação da densidade e outra para determinar teor de nutrientes para madeira e casca.

Em seguida, foi retirada uma amostra representativa, de aproximadamente 200 gramas, de cada material para determinação da matéria seca, acondicionadas em sacos plásticos para manter a umidade. Cada amostra teve seu peso úmido medido em laboratório com auxílio de uma balança de precisão (escala de 0,1 g), logo após as amostras foram levadas a uma estufa de circulação de ar forçada a  $105 \pm 2^{\circ}$  C e mantidos até obtenção do peso constante, o peso seco e a matéria seca da amostra foram determinados pela Equação 4.

$$MS = 1 - \left( \frac{Pu - Ps}{Pu} \right) \quad (4)$$

Em que:

Ms= Matéria seca

Pu = Peso úmido (kg)

Ps = Peso seco (kg)

### 3.2.6. Determinação Da Densidade

Os discos utilizados para se determinar a densidade básica da madeira com casca foram os referentes à base, meio e ponta, sendo que todos os discos tinham cerca de 5 cm de espessura e os discos coletados na região do topo tinham, no mínimo, 3 cm de diâmetro. Ainda em campo, as amostras foram identificadas conforme o tratamento e posição na árvore e acondicionadas em sacos plásticos para não perder umidade. No laboratório o material foi acondicionado em recipientes contendo água permanecendo por cerca de 5 dias submersos em água (COSTA, 2006) ou até que o material afundasse apresentando completa saturação (Figura 4).



**Figura 4 - Saturação da madeira em água para determinar densidade.**

A determinação da densidade seguiu o método de imersão em água utilizado por Rezende (1997), que consiste em imergir as amostras por cerca de 10 segundos e determinar a massa do volume de água deslocado por meio do empuxo, as amostras foram fixadas em um suporte e imersas em um recipiente com água sobre uma balança semi-analítica (Figura 5). Os valores referentes a peso representa o volume da amostra.



**Figura 5 - Determinação da densidade da madeira pelo método de imersão em água.**

Após a determinação do volume, as amostras foram levadas a estufa a  $105 \pm 2^\circ \text{C}$  até atingirem massa constante para a determinação do peso seco de cada amostra e assim determinar a densidade, conforme Equação (5).

$$\rho = \frac{Ms}{Vu} \quad (5)$$

Em que:

$\rho$  = densidade básica (kg/m<sup>3</sup>);

Ms = Massa seca (kg);

Vu = Volume úmido da amostra (m<sup>3</sup>)

### 3.2.7. Análise De Dados

O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com três repetições em arranjo fatorial 2 x 4, sendo utilizados os fatores espécie (*E. grandis* e *E. urophylla*) e classes diamétricas (C1: 3,0 - 8,8; C2: 8,9 – 14,7; C3:14,8 – 20,6; C4: 20,7 -26,5 cm). Os dados foram analisados utilizando o software livre *Assistat* versão 7.7 com comparação de médias para os dados qualitativos.

## 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.3.1. Características Dendrométricas

A partir do inventário florestal, observou-se um valor de densidade de plantas de 1,500 para o *E. grandis* e 1,510 plantas por hectare para *E. urophylla*, onde não teve diferença significativa entre as duas espécies e com média, considerando-se as duas espécies de 1505 árvores por hectare. Seu espaçamento relativo aumentou de 6 para 6,64m<sup>2</sup> por árvore, devido a algumas falhas.

O inventário florestal foram realizados nos dois povoamentos da área de estudo, conforme a tabela 2 apresentou valores quanto ao número de indivíduos falhas abaixo dos 10% para as duas espécies avaliadas, com isso totalizaram um valor médio de aproximadamente 161 árvores falhas, sendo estes indivíduos que no

seu estágio inicial foi acometida por ataque de alguma praga como formigas ou até mesmo alguma injúria.

Este valor de perdas no plantio esta dentro de valores tolerados de falhas para a cultura do eucalipto, com 60 meses após o plantio. Viera (2012) obteve valores de falhas acima de 10% para plantio aos dez anos de idade no povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, onde o número inicial de plantas de eucalipto foi de 1.142 árvores ha<sup>-1</sup>, mas após dez anos ocorreu redução para 1.024 árvores ha<sup>-1</sup>.

Barichello (2003) em estudo com Acácia encontrou percentagem de falhas de 42,16% em plantio aos 8 anos de idade, restando apenas 57,84 % do número total de árvores inicialmente plantadas. Caldeira et al. (2001), trabalhando em povoamentos jovens de acácia-negra encontrou uma percentagem de falhas menor. Aos 2,4 anos de idade, encontrou uma percentagem de falhas de 16,47%.

Minatel (2007), em estudo de análise econômico de replantio em plantações de eucalipto relata que para índices de falhas de até 4%, o cenário sem replantio é favorável. A partir deste índice o replantio passa a ser economicamente recomendável, onde esses valores se valem somente para replantio das mudas até no máximo 90 dias após o plantio.

**Tabela 2 - Valores de números de plantas iniciais plantadas por hectare, número de árvores inventariadas e porcentagem de falhas.**

Espécie	N.ha <sup>-1</sup> inicial	N.ha <sup>-1</sup> inventariado	Falhas (%)
<i>E. grandis</i>	1666	1500 <sup>ns</sup>	9,96
<i>E. urophylla</i>	1666	1510 <sup>ns</sup>	9,36
<b>Média</b>	<b>1666</b>	<b>1505</b>	<b>9,66</b>

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)

ns não significativo (p >= .05)

### 3.3.2. Análise Volumétrica

O conhecimento da distribuição diamétrica se faz necessário, para um melhor entendimento de onde estão alocadas e distribuídas às árvores nos diferentes diâmetros encontradas no povoamento. Esses valores tem grande valor quanto ao manejo a ser realizado, sendo estes importantes nas tomadas de decisões quanto ao desbaste a ser realizado e os diâmetros que serão retirados

com o número de indivíduos a ser abatidos dentro da área. A distribuição diamétrica dá uma estimativa da uniformidade do plantio, sendo que quanto mais próximos os valores dos diâmetros, mais uniforme se caracteriza o povoamento e vice versa.

É possível observar (tabela 3) que a maior frequência de indivíduos se concentrou nas classes diamétricas situadas próximas aos diâmetros médios do povoamento. Segundo Finger (1992), as maiores frequências em número de árvores por hectare situam-se em torno do diâmetro médio do povoamento, decrescendo para os menores e maiores valores de diâmetro.

**Tabela 3 - Número de árvores por hectare por classe diamétrica e frequência, para as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*.**

Classe	Espécie	Intervalo de classe (cm)	N de Árv.ha <sup>-1</sup>	Frequência %
C1	<i>E. grandis</i>	3,0 - 8,8	199 b	13,27
	<i>E. urophylla</i>	3,0 - 8,8	205 a	13,58
	<b>Média</b>		<b>202</b>	<b>13,42</b>
C2	<i>E. grandis</i>	8,9 - 14,7	586 b	39,07
	<i>E. urophylla</i>	8,9 - 14,7	619 a	40,99
	<b>Média</b>		<b>603</b>	<b>40,03</b>
C3	<i>E. grandis</i>	14,8 - 20,6	635 a	42,31
	<i>E. urophylla</i>	14,8 - 20,6	525 b	34,77
	<b>Média</b>		<b>580</b>	<b>38,54</b>
C4	<i>E. grandis</i>	20,7 - 26,5	81 b	5,37
	<i>E. urophylla</i>	20,7 - 26,5	161 a	10,66
	<b>Média</b>		<b>120</b>	<b>8,01</b>
<b>Total</b>			<b>1505</b>	<b>100</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados demonstram que a frequência de indivíduos por classe diamétrica avaliadas aos 60 meses de idade, situou-se principalmente na classe C2 e C3 para as duas espécies, onde a classe C2 de *E. grandis* teve valor de 586 indivíduos por hectare, valor este menor que o *E. urophylla*, com 619. Já na classe C3 teve valor inverso com o *E. grandis* superior ao *E. urophylla*.

De acordo com a análise de variância (Tabela 4), o volume de madeira diferiu para o fator classe a nível de 5% de probabilidade. O volume de casca diferiu entre os fatores espécie e para classe, no entanto, não foi significativo para a

interação. O volume total de madeira mais casca, foi significativo somente para o fator Classe.

**Tabela 4 - Valores da análise da variância referente a volume de madeira (VM), volume de casca (VC) e madeira +casca (VM+C), referente as duas espécies por hectare e as quatro classes.**

Fatores de Variação	GL	QM		
		V.M m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	V.C m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	V. M+C m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
<b>Espécie</b>	1	0,93 <sup>ns</sup>	80,40*	64,01 <sup>ns</sup>
<b>Classe</b>	3	4175,36**	276,86**	6587,81**
<b>Espécie X Classe</b>	3	672,07 <sup>ns</sup>	47,61 <sup>ns</sup>	1025,3 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	16	383,21	17,31	555,75
<b>CV%</b>		58,27	46,88	55,51
<b>Média</b>		33,59	8,87	42,47

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

Com relação aos dados de volumes (Tabela 4) foram realizadas análises de variância para os fatores, espécie e classe diamétrica, sendo que a fração volume de madeira nas duas espécies, quando comparadas a diferença de volume entre as espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*, dentro da mesma classe, onde todas as classes diamétricas não diferiram estatisticamente entre si. Já quando comparadas a diferença de volume de madeira, entre as classes diamétricas para cada espécie tanto para *E. grandis* quanto para *E. urophylla*, houve diferença estatística.

Não houve diferença significativa entre as espécies para o volume de madeira com casca, tendo o *E. grandis* e o *E. urophylla* apresentado valores de 163,32 e 176,40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O incremento médio anual para volume com e sem casca para *E. grandis* foi de 32,66 e 27,03 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Já o *E. urophylla* apresentou um incremento médio para volume com e sem casca de 35,28 e 26,72 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Vieira (2012), em estudo realizado aos dez anos de idade no povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul – RS, com espaçamento de 3,5 m x 2,5 m (1.142 árvores ha<sup>-1</sup>) observou um incremento médio de volume com e sem casca de 44,4 e 36,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse trabalho diferenciou da pesquisa realizada, com incremento



superior, ao encontrado nas duas espécies avaliadas, por se tratar de um híbrido de dez anos, com o maior espaçamento relativo por árvores e maiores diâmetros por indivíduo, fatores estes que podem explicar esta diferença.

**Tabela 5 - Parâmetros dendrométricos de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (Ht), volume com casca (Vc/c) e sem casca (Vs/c), fator de forma com casca (ff c/c) e sem casca (ff s/c) e volume de casca (VC %) dos *E. grandis* e *E. urophylla*.**

Variáveis	DAP c/c (cm)*	Ht (m)	Vc/c (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Vs/c (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	ff c/c	ff s/c	VC%
<i>E. grandis</i>	12,63 <sup>ns</sup>	20,42 <sup>ns</sup>	163,32 <sup>ns</sup>	135,16 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	18,77b
<i>E. urophylla</i>	13,01 <sup>ns</sup>	19,70 <sup>ns</sup>	176,40 <sup>ns</sup>	133,58 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	24,75a
<b>Média</b>	<b>12,82</b>	<b>20,06</b>	<b>169,86</b>	<b>134,37</b>	<b>0,43</b>	<b>0,43</b>	<b>21,76</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A porcentagem de volume de casca diferiu entre as duas espécies sendo igual a 24,75% para *E. urophylla*, estatisticamente superior aos valores encontrados para *E. grandis* de 18,77%.

Para as demais variáveis dendrométricas como DAP, f c/c (fator de forma com casca), f s/c (fator de forma sem casca) e Ht (altura total) não houve diferenças significativas entre as espécies.

O DAP médio encontrado para as duas espécies foi de 12,82 cm, com uma altura média de 20,06 m. Beulch (2013), avaliando povoamento de *Eucalyptus saligna* aos quatro anos de idade com espaçamento de 3,5m x 2,5m encontrou valores de altura média de 20,20 m, e DAP médio de 15,6 cm, sendo que árvores mais espaçadas tendem a apresentar diâmetros maiores.

Para o povoamento de *E. grandis* e *E. urophylla* com cinco anos, podemos perceber que o fator de forma entre eles foi de 0,43 e 0,42 respectivamente, tanto com e sem casca, a média dos fatores de forma das duas espécies foi igual, tanto com e sem casca, com média de 0,43. Conceição (2004), comparando métodos de estimativas de volume de *E. grandis* com seis diferentes idades obteve valores de fator de forma semelhantes, com médias de 0,46 para fator de forma com casca e 0,41 para fator de forma sem casca. Schneider (2008) descreve valores para fatores de forma tanto para as árvores sem casca quanto para as com casca, são valores muito próximos aos obtidos nas florestas estudadas no presente trabalho.

Observando a Tabela 6, na fração madeira, o volume médio foi maior para as classes C3 e C4, com volumes médios de 65,48 e 40,19 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> respectivamente. Esses valores se devem ao fato de que nestas classes se encontram os indivíduos de maior diâmetro, com maior relevância na questão volumétrica. O volume total de madeira para *E. grandis* e *E. urophylla* foi de 135,16 e 133,60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, com média entre as duas espécies de 134,38m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 6 - Volume médio para as classes diamétricas, nas diferentes frações: Madeira, Casca, Madeira mais Casca, nas espécies *E. grandis* e *E. urophylla*.**

Fração	Espécie	Volume (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )				Média	Total
		C1	C2	C3	C4		
Madeira	<i>E. grandis</i>	2,63	26,76	78,48	27,28	33,79 <sup>ns</sup>	135,16
	<i>E. urophylla</i>	2,11	25,89	52,47	53,11	33,40 <sup>ns</sup>	133,58
	<b>Média</b>	<b>2,37C</b>	<b>26,33 BC</b>	<b>65,48 A</b>	<b>40,19 AB</b>		<b>134,37</b>
Casca	<i>E. grandis</i>	0,76	6,66	17,18	3,56	7,04 <sup>b</sup>	28,16
	<i>E. urophylla</i>	0,77	9,09	17,44	15,51	10,70 <sup>a</sup>	42,80
	<b>Média</b>	<b>0,76 C</b>	<b>7,88 B</b>	<b>17,31 A</b>	<b>9,54 B</b>		<b>35,48</b>
Madeira + Casca	<i>E. grandis</i>	3,39	33,42	95,67	30,85	40,83 <sup>ns</sup>	163,32
	<i>E. urophylla</i>	2,88	34,99	69,91	68,62	44,01 <sup>ns</sup>	176,40
	<b>Média</b>	<b>3,13C</b>	<b>34,21 BC</b>	<b>82,79 A</b>	<b>49,73 AB</b>		<b>169,86</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para Colunas classificação com letras minúsculas, para linhas classificação com letras maiúsculas.

Quando comparadas as diferenças de volume de casca entre as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*, dentro da mesma classe, observa-se diferença significativa na classe C4, sendo que o *E. urophylla* apresentou valor de 15,51 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, superior ao *E. grandis* com 3,56 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Também houve diferença de volume de casca, entre as classes diamétricas.

O volume de casca médio para *E. grandis* e *E. urophylla* foi de 28,16 e 42,80 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> respectivamente, caracterizando o *E. urophylla* como espécie com maior espessura de casca. De acordo com Scolforo e Thiersch (2004), a espessura de casca varia consideravelmente entre espécies, dentro de uma mesma árvore, de local para local e de acordo com a idade, dentre outros fatores. Para volume total de madeira mais casca, a média das classes entre as duas espécies não teve diferença significativa com volume total de 163,32 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, para o *E. grandis* e 176,40 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>,

para *E. urophylla*. No entanto, as médias entre as classes diamétricas da fração madeira mais casca, foi significativo, sendo a classe C3 superior as demais, com volume de 82,79 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

### 3.3.3. Biomassa Aérea

A maior quantidade de biomassa seca, tanto para *E. grandis* quanto *E. urophylla*, se encontra no compartimento madeira, seguido da casca, dos galhos, enquanto as folhas apresentaram os menores valores. Na Tabela 7 é possível observar os valores de produção de madeira na ordem de 66,77 e 64,30 Mg.MS.ha<sup>-1</sup> para *E. grandis* e *E. urophylla* respectivamente.

Tabela 7 - Quantidade de biomassa acima do solo (Mg.MS.ha<sup>-1</sup>) e porcentagem em cada fração para povoamento de *E. grandis* e *E. urophylla*.

	Mg.MS.ha <sup>-1</sup>				
	Madeira	Casca	Galhos	Folhas	Total
<b><i>E. grandis</i></b>	66,77 a	7,49 b	7,22 b	2,20 a	<b>83,68</b>
<b>%</b>	79,79	8,95	8,63	2,63	<b>100,00</b>
<b><i>E. urophylla</i></b>	64,30 b	11,55 a	7,56 a	2,10 b	<b>85,51</b>
<b>%</b>	75,20	13,51	8,84	2,46	<b>100,00</b>
<b>Média</b>	<b>65,54 A</b>	<b>9,52 B</b>	<b>7,39 C</b>	<b>2,15 D</b>	<b>84,59</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para Colunas classificação com letras minúsculas, para linhas classificação com letras maiúsculas.

Das 83,68 Mg.MS.ha<sup>-1</sup> de biomassa acima do solo, o equivalente a 16,74 Mg.MS.ha.ano<sup>-1</sup>, produzidas para *E. grandis*, a fração com o maior massa seca foi a madeira (79,79%), seguida da casca (8,95 %), dos galhos (8,63%) e das folhas (2,63%). O *E. urophylla* teve os resultados de alocação de biomassa seca em seus diferentes compartimentos na seguinte ordem decrescente; Madeira (75,20%), Casca (7,56%), galhos (8,84%) e folhas (2,46%). O *E. grandis* foi estatisticamente superior ao *E. urophylla* nas frações de matéria seca de madeira e folhas (66,77 e 2,20 Mg.MS.ha<sup>-1</sup>) respectivamente. No entanto *E. urophylla* foi estatisticamente superior nas frações de matéria seca de casca e galhos (11,55 e 7,56 Mg.MS.ha<sup>-1</sup>) respectivamente.

Souza e Fiorentin (2013), avaliando o percentual do peso seco para cada compartimento do *Eucalyptus grandis*, verificaram que a maior parte da biomassa aérea, ou seja, 72,02% se concentrava na madeira, com 8,47% na fração casca, equivalente a 80,49% da biomassa aérea total. Esse valor é semelhante ao encontrado por Schumacher et al. (2008), no qual os compartimentos madeira e casca equivaleram a 79,81% da biomassa acumulada acima do solo, para a espécie *Hovenia dulcis* Thunb., aos 18 anos de idade.

Paixão et al. (2006), realizaram um inventário florestal em uma plantação de *Eucalyptus grandis*, com 6 anos de idade, no Município de Viçosa, Minas Gerais. Após as análises, verificaram que o fuste é o componente da árvore que mais contribui com a biomassa da parte aérea (81,84%), seguido por casca (8,05%), galhos (7,74%) e folhas (2,57%). Estes resultados são semelhantes em proporção aos obtidos para as árvores do *E. grandis* na área do presente estudo.

Valério (2009), avaliando *Pinus elliottii* determinou a porcentagem de biomassa de cada componente, sendo que a porção madeira do fuste corresponde a 76,96% da biomassa acima do solo, seguido dos galhos (9,44%), casca do fuste (8,27%) e as acículas (5,63%). Apesar de se tratar de uma espécie de outro gênero, os valores de biomassa nos diferentes compartimentos do pinus se assemelham com os valores de biomassa encontrados para o Eucalipto.

De acordo com Silva (2005), estudando o efeito do espaçamento na biomassa do fuste de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade, encontrou valores médios de 86,5% para madeira, 7,6% para casca, 3,4% para galhos e 2,4% para folhas.

Guarienti (2012) comparando floresta homogênea de *Eucalyptus dunnii* e sistema Silvipastoril, relata que o rendimento na composição da MS por componente das árvores no sistema silvipastoril foi de: tronco (60,0%) > galhos (21,63%) > folhas (11,93%) > casca (6,44) e no sistema floresta homogênea foi de tronco (68,58%) > galhos (15,37) e casca (12,95) > folhas (3,10%).

Andrade (2000), em seu estudo com *Eucalyptus urophylla*, com 66 meses de idade em sistemas silvipastoril, obteve a seguinte distribuição por componente das árvores: tronco (61,5%); galhos (15,9%); casca (12,1%) e folhas (10,5%). A maior concentração de biomassa nas frações galhos e folhas no sistema

silvipastoril, comparada com as espécies em estudo, pode ser explicada pelo efeito de borda da floresta, por se tratar de um sistema silvipastoril, onde a distância entre linhas é maior que na floresta homogênea, ocorre maior emissão de galhos e consecutivamente folhas.

O incremento anual de biomassa seca para o *E. grandis* foi de 16,74 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, já para o *E. urophylla* o acúmulo anual de biomassa foi de 17,10 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Vieira (2012), obteve valores próximos para *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em povoamento com dez anos de idade com biomassa total acima do solo de 198,5 Mg ha<sup>-1</sup>, equivalente a 19,85 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> apresentando maior estoque na madeira (84,2%), seguida pela casca (9,5%), galhos (4,5%) e folhas (1,8%).

Valores de produção de biomassa semelhantes a estes também foram obtidos por Santana et al. (1999), estudando a biomassa de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, aos 6,5 anos de idade. Os valores médios obtidos para 15 áreas são, respectivamente, 18,5 e 18,3 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo que as menores produções de biomassa atingiram 14,6 e 12,3 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e as maiores 31,7 e 32,92 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, demonstrando uma grande variabilidade entre a mesma espécie e entre as áreas.

Schumacher e Caldeira (2001) em seu trabalho sobre estimativa de biomassa realizado em um povoamento de *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii* aos 4 anos de idade, obtiveram como biomassa total, acima do solo do povoamento, quantidade 83,2 Mg ha<sup>-1</sup>, o que equivale a 20,8 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o componente madeira do tronco apresentou a maior quantidade de biomassa de 57,5 Mg ha<sup>-1</sup> ou seja, 69% do total da parte aérea seguido das folhas, dos ramos e da casca.

A fração de biomassa com maior percentual produzido em um povoamento encontra-se no tronco sendo que esta proporção tende a aumentar à medida que o povoamento envelhece (ANDRAE, 1976).

### 3.4. CONCLUSÕES

A produção de Matéria seca ficou alocada a maior fração no compartimento madeira, seguido da casca>galhos>folhas.

Para a biomassa arbórea acima do solo, *E. grandis* foi a espécie que apresentou os maiores valores para os compartimentos madeira e folha.

O *E. urophylla* apresentou maior produção de biomassa nas frações casca e galhos em relação ao *E. grandis*.

Quando comparados o *E. grandis* com o *E. urophylla*, dentro das mesmas classes, não houve diferença significativa para volume de madeira.

A Classe C3 e C4 apresentaram o maior volume médio de madeira entre as duas espécies.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C.M.S. Estudo de um sistema agrissilvipastoril, constituído por *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia, na região dos Cerrados de Minas Gerais, Brasil. Viçosa: UFV, 2000. 102p. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

ANDRAE, F.H. **Washstum, wasser – und nährstoffhaushalt vonm *Araucaria angustifolia* O. Kuntze, *Cordia trichotoma* Arrab und *Eucalyptus saligna* Smith.** **Wien:** Universitat fur Bodenkultur, 1976, 140p.

ARAÚJO J.C.A. et al. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto em diferentes amplitudes de classe. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.45, n.11, p.1275-1281, nov. 2010.

BARICHELLO, L.R. Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acácia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

BEULCH. L.D.S. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna smith* submetido ao primeiro desbaste. **Dissertação** apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, RS, 2013.

BRASILEVICH, N.I.; DROSDOV, A.V.; RODIN, L.E. **World forest productivity, its basic regularities and relationship with climatic factors.** In: DUVIFNEAUD, P. **Productivity of forest ecosystems.** Paris: UNESCO, 1971. p. 345-353.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; NETO, R.M.R.; WATZLAWICK, L.F.; SANTOS, E.M. dos. Quantificação da biomassa acima do solo de *Acácia mearnsii* De Wild., procedência Batemans Bay – Austrália. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.2, p. 79-91, 2001.

CONCEIÇÃO, M.B.; Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *eucalyptus grandis* hill ex – maiden. **Dissertação** – Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, 2004. 166p.

COSTA, V.E. Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla*. 2006. 99 f. **Tese** (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

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

FRANCEZ, L.M. DE BARROS.; SOUZA, D.V.; TAKEHANA, C.L.I.; BARROS, P.L.C. **Manual para análise de inventário florestal e equação de volume em projetos de manejo florestal sustentável** - PMFS Belém-Pará Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2010. 66p.

GUARIENTI, S.A. Biomassa nos sistemas de produção silvipastoril, pastagem e floresta homogênea. 98p. 2012. **Dissertação** apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Guarapuava - PR. 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531 p.

MINATEL, R ; FERREIRA, J.M.A ; STAPE. J.L.; **Análise Econômica da Atividade Silvicultural de Replanteio em Plantações de Eucalyptus**. Disponível em: <https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=2653&numeroEdicao=15>. 2007.



PAIXAO, F.A.; SOARES, C.P.B.; JACOVINE, L.A.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; SILVA, G.F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, v.30, p.411-420, 2006.

REIS, M.G.F. et al. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, n.2, p.149-162, 1985.

REZENDE, M.A. Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama. 1997. 138f. **Tese** (Livre-Docência)– Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 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.

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

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria: UFSM, 2008. 566p.

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

SCHUMACHER, M.V. et al. Quantificação do carbono e dos nutrientes em florestas de eucalipto de diferentes idades. Santa Maria: Fatec, 2003. 112 p. (**Relatório técnico**).

SCHUMACHER, M.V. et al. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Hovenia dulcis Thumb.*, plantado na Fepagro Florestas, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 27-37, 2008.

SCOLFORO, J.R. SOARES., et al. **Biometria florestal**: medição, volumetria e gravimetria. UFLA/FAEPE, Lavras. 2004. 285p.

SILVA, C.R. Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo. 2005. 50 p. **Dissertação** (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 2005.

SILVA, F. DE A. S. E. E AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In:WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.

SOUZA, J.T. DE.; FIORENTIN, L.D.; Quantificação da biomassa e do carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis w. Hill ex maiden*, em Santa Maria, RS. **Unoesc e Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 253-262, jul./dez. 2013.

VALÉRIO, A.F. Quantificação e modelagem da biomassa e carbono em plantações de *Pinus elliottii* eng. com diferentes idades. Irati: UNICENTRO, 2009. 123p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais - Manejo Florestal) Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati – PR, 2009.

VIERA, M. Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, **Tese** (doutorado) – Universidade

Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2012.

#### 4. TEOR DE NUTRIENTES E TAXA DE EXPORTAÇÃO PELA BIOMASSA AÉREA DE *E. grandis* E *E. urophylla*

##### RESUMO

Quando se tratam de plantios florestais, são necessários estudos da produção de biomassa e o teor de nutrientes presentes nela, tendo estes dados como parâmetros para determinar o quanto se esta exportando de nutrientes, em seus diferentes componentes das árvores. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a biomassa e a quantidade de nutrientes alocados nas diferentes frações em duas espécies de eucaliptos (*E. grandis* e *E. urophylla*), com idade de 60 meses. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com três repetições em arranjo fatorial 2 x 4, sendo utilizados os fatores espécie (*E. grandis* e *E. urophylla*) e Classes diamétricas (C1: 3,0 - 8,8; C2: 8,9 – 14,7; C3:14,8 – 20,6; C4: 20,7 -26,5 cm). As amostras coletadas a campo foram levadas para o laboratório de solos da UTFPR-DV e secas em estufa de renovação e circulação de ar a uma temperatura de 65°C até peso constante, o material vegetal foi moído em moinho tipo Wiley. A metodologia utilizada para determinar os macro elementos (N, P, K, Ca, Mg) foi conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). O nitrogênio foi determinado pelo método de micro-kjeldahl, o fósforo por colorimetria, potássio fotômetro de chama e os demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica. Os menores teores de nutrientes foram encontrados na fração madeira, essa concentração menor se deve à forma como esse componente se desenvolve na árvore e de sua anatomia, podendo ser dividido em cerne e alburno, onde este material, com o crescimento das partes interna distancia-se do câmbio e perde gradativamente sua atividade fisiológica. A casca constitui-se de aporte de minerais importantes, para o desenvolvimento da planta, sendo encontrado nesta fração da árvore os maiores teores de Ca e Mg, com valores de 18,02 g.kg<sup>-1</sup> de Ca e 3,24 g.kg<sup>-1</sup> de Mg. O Ca apresentou o maior teor para a fração galhos, com valor médio entre as duas espécies de 9,36 g.kg<sup>-1</sup>. Dos nutrientes analisados nos componentes da biomassa acima do solo das árvores de *E. grandis* e *E. urophylla*, constatou-se que os maiores teores de N e K estão nas folhas, onde esta apresentou a maior concentração de nutrientes principalmente o nitrogênio, com média de 33,18 g.kg<sup>-1</sup> e 30,50 g.kg<sup>-1</sup> respectivamente. A concentração de Ca, N, K, Mg e P na biomassa total entre as duas espécies foi de 528 , 305, 200, 128 e 30 kg ha<sup>-1</sup>. A madeira em se tratando de exportação total de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) é a fração que menos exporta por tonelada produzida com uma média entre as duas espécies de 8,83 kg.Mg<sup>-1</sup> de madeira. Os galhos vem em segundo lugar com 24,22 kg.Mg<sup>-1</sup> de biomassa, a casca com 33,38 kg.Mg<sup>-1</sup> e as folhas com 54,29 kg.Mg<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Madeira, Nutrição florestal, Disponibilidade de nutrientes.

## CONTENT OF NUTRIENTS AND EXPORT RATE FROM AERIAL BIOMASS OF *E. grandis* AND *E. urophylla*

### ABSTRACT

The evaluation of biomass production and its nutrient content at the different tree compartments (wood, bark, branches and leaves) are important to understand the nutrients exportation rate. In this context, the study aimed to assess the biomass production and the content and amount of nutrients allocated at the different trees compartments of two species of eucalyptus (*E. grandis* and *E. urophylla*), aged 60 months. The experiment was laid out as a randomized block design with three replications in a factorial arrangement 2 x 4, being used the factors species (*E. grandis* and *E. urophylla*) and diametric classes (C1: 3.0 to 8.8; C2: 8.9 - 14.7, C3: 14.8 - 20.6; C4: 21.5 - 26.5 cm). Samples collected in the field were taken to the soil laboratory UTFPR-DV and dried under renovation greenhouse and air circulation at a temperature of 65 °C to constant weight, the plant material was ground in a Wiley mill. The methodology used to determine the macro elements (N, P, K, Ca, Mg) was according to the methodology described by Tedesco et al. (1995). Nitrogen was determined by micro-Kjeldahl method, phosphorus by colorimetry, potassium calls and other elements by atomic absorption spectrophotometry. The lowest levels of nutrients were found in the wood fraction. Tree bark have an important minerals contribution to the development of the tree, being found in this tree compartment, the larger amount of Ca and Mg, with values of 18.02 and 3.24 g.kg<sup>-1</sup> respectively. The macronutrient Ca presented the highest content at the branches compartment, with an average value between the two species of 9.36 g.kg<sup>-1</sup>. From nutrients studied at the different trees compartments of *E. grandis* and *E. urophylla* trees, N and K are present at higher levels on the leaves with N content of 33.2 and 30.5 g kg<sup>-1</sup> respectively. The amount of Ca, N, K, Mg e P in the total biomass between the two species was of 528, 305, 200, 128 e 30 kg ha<sup>-1</sup>. Regarding to the total exportation of nutrients (N, P, K, Ca and Mg), wood is the compartment that less exports nutrient per ton produced, with an average between the two species of 8.83 kg.Mg<sup>-1</sup> wood. Trees branches come in second with 24.22 kg.Mg<sup>-1</sup> biomass, bark with 33.38 kg.Mg<sup>-1</sup> and leaves with 54.29 kg.Mg<sup>-1</sup>.

**Key-words:** wood, forest nutrition, availability of nutrients.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

O estudo da produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes em plantações de eucaliptos, em especial o que diz respeito à exportação de nutrientes através da colheita da biomassa, é a base para o entendimento da dinâmica nutricional em sítios florestais (VIERA, 2012). No setor florestal, o silvicultor deve conhecer todas as variáveis que interagem com o ecossistema florestal, para que este consiga obter produtividade sem degradar o agroecossistema, visando à manutenção da produtividade futura.

A determinação da exportação de nutrientes pela biomassa aérea de plantios florestais em seus diferentes compartimentos é determinada a partir da produtividade de biomassa vezes a concentração de nutrientes nesta biomassa na base seca. Estes dados são importantes para definir estratégias de manejo visando a manutenção da produtividade da área (FREITAS, 2000).

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

Barichello (2003) salienta que se não forem aplicadas práticas silviculturais adequadas nos cultivos florestais, podem ocorrer perdas de produtividade dentre outros, a redução do estoque de nutrientes, comprometendo a produtividade contínua do agroecossistema. Assim, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes genótipos de eucalipto, constitui um requerimento essencial para à adoção de técnicas de conservação e reposição de nutrientes ao ecossistema.

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

O manejo florestal permite o aumento da produtividade da floresta, no entanto, esse aumento pode propiciar maior remoção de nutrientes por meio da colheita da floresta. Conhecer a quantidade e os teores dos nutrientes nos diferentes compartimentos da árvore é de suma importância para estimar a quantidade de cada nutriente que será exportada com a colheita. Além disso, estas informações podem contribuir para aplicação de práticas visando manter a produtividade dos sítios, como: definição da idade e intensidade da colheita, manejo de resíduos da colheita, adubação, preparo do solo, entre outros (SCHUMACHER et al., 2013).

Quando se explora toda a biomassa produzida acima do solo, deve-se considerar a manutenção da produtividade do sítio que deverá ser comprometida ao longo das rotações, principalmente em solo de baixa fertilidade. Rotações curtas sem a reposição de nutrientes após as colheitas são grandes responsáveis pelo esgotamento do solo na cultura do *Eucalyptus*, pois a quantidade de nutrientes nos galhos, folhas e casca é bastante expressiva (BELLOTE et al., 2008).

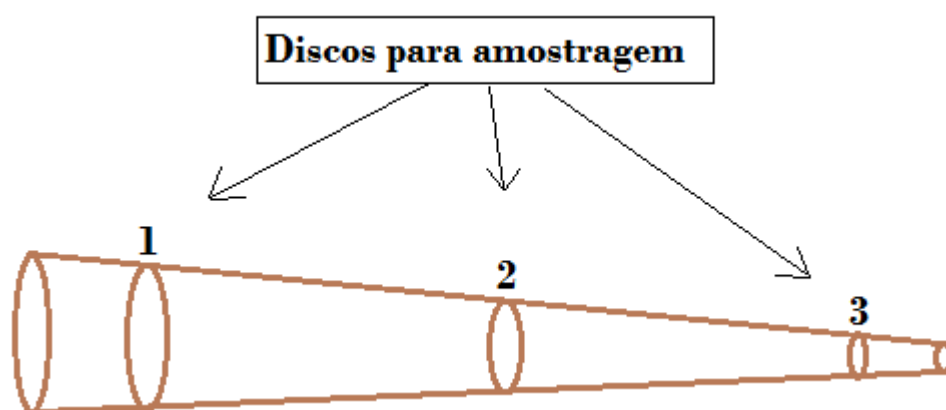
Este trabalho tem como objetivo avaliar a biomassa e a quantidade de nutrientes alocados nas diferentes frações e as taxas de exportação, em duas espécies de eucaliptos, com idade de 60 meses, plantados no município de Salto do Lontra-PR.

## **4.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1. Coleta Da Biomassa**

Com base nos dados de inventário florestal das parcelas, os diâmetros foram agrupados em quatro classes diamétricas, onde que para cada classe foram abatido três árvores. À medida que as árvores foram abatidas, os galhos eram separados do tronco e destes foram coletadas todas as folhas. Os componentes galhos e folhas tiveram suas massas frescas determinadas a campo com o auxílio de uma balança digital de gancho com capacidade máxima de 50 kg.

Logo após a retirada dos galhos e folhas, as árvores foram submetidas a um processo de cubagem rigorosa, segundo o método desenvolvido por Smalian, descrita por FINGER (1992). Para determinação do teor de nutrientes e densidade da madeira e casca, foram retiradas três amostras na extensão do tronco, sendo estas amostras coletadas na forma de discos de 5 cm de espessura, as amostras foram coletadas na base, meio e ponta do tronco (Figura 6), se procedeu desta forma a coleta para uma melhor caracterização do teor de nutrientes na extensão do tronco.



**Figura 6 - Ilustração da posição de coleta dos discos para a amostragem de madeira e casca.**

Foram retiradas amostras (200 g material fresco) de cada um dos componentes (folhas, ramos, casca e madeira do tronco). Uma vez no laboratório, essas amostras foram colocadas para secar em estufa de renovação e circulação de ar, à temperatura de 65°C, até atingirem peso constante.

Para a determinação da matéria seca, uma fração das amostras foi seca em estufa de circulação forçada a 105 °C até atingirem peso constante e com isso foi determinado a matéria seca.

#### **4.2.2. Determinação Do Teor De Nutrientes**

Para a determinação do teor de nutrientes nos componentes folhas, galhos, casca e madeira utilizaram-se as mesmas amostras usadas para determinar



o teor de umidade. Após seco em estufa de renovação e circulação de ar a uma temperatura de 65°C até peso constante, todo material vegetal foi moído em moinho tipo Wiley. Os macro elementos nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) foram determinados conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O nitrogênio foi determinado pelo método de micro-kjeldahl, o fósforo por colorimetria e os demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica. As leituras no espectrofotômetro foram repetidas três vezes para cada amostra. A concentração média de cada elemento foi multiplicada pelos pesos secos das frações em cada espécie, conforme dados apresentados no capítulo anterior (Tabela 7). Foram determinados, assim, os conteúdos totais de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa das árvores.

O delineamento utilizado foi com análise fatorial, sendo utilizados os fatores espécie (*E. grandis* e *E. urophylla*) e classes diamétricas com quatro classes. Os dados foram analisados utilizando o software livre *Assistat* versão 7.7 ao nível de 5% de probabilidade de erro.

## **4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.3.1. Teor De Nutrientes Na Madeira**

Os nutrientes são distribuídos entre os vários componentes de forma diferenciada na planta. Sendo que folhas e tecidos em crescimento apresentam as maiores concentrações, enquanto que estruturas maduras apresentam níveis mais baixos de nutrientes (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001).

Com base nos resultados da análise de variância (Tabela 8) referentes aos teores de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na madeira, é possível observar diferenças somente para o fator de variação espécie, nas variáveis teores de N e Ca. Os demais fatores de variações não diferiram estatisticamente ao nível de probabilidade de 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 8 - Valores referente a teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na fração madeira, referente as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*.

Fatores de Variação	GL	QM				
		N g.kg <sup>-1</sup>	P g.kg <sup>-1</sup>	K g.kg <sup>-1</sup>	Ca g.kg <sup>-1</sup>	Mg g.kg <sup>-1</sup>
<b>Espécie</b>	1	1,46520*	0,03604 <sup>ns</sup>	0,03604 <sup>ns</sup>	24,1202*	0,27307 <sup>ns</sup>
<b>Classe</b>	3	0,18263 <sup>ns</sup>	0,01452 <sup>ns</sup>	0,13424 <sup>ns</sup>	0,19611 <sup>ns</sup>	0,00969 <sup>ns</sup>
<b>Espécie x Classe</b>	3	0,05277 <sup>ns</sup>	0,00252 <sup>ns</sup>	0,07497 <sup>ns</sup>	0,55157 <sup>ns</sup>	0,04106 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	16	0,31020	0,01174	0,07667	0,82285	0,09232
<b>CV%</b>		24,01	43,71	20,54	22,31	25,91
<b>Média</b>		1,97	0,248	1,35	4,07	1,17

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 = < p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

De acordo com Viera (2012), em termos gerais, o componente com maiores teores de nutrientes é a fração folhas e o com menores teores é a madeira. Quanto aos teores médios de nutrientes na fração madeira, o N e Ca diferiram estatisticamente quando comparados às duas espécies, onde o N para o *E. grandis* foi de 2,22 g.kg<sup>-1</sup>, o *E. urophylla* com 1,72 g.kg<sup>-1</sup> (tabela 9). O Ca teve maior teor na espécie *E. grandis* com 5,07 g.kg<sup>-1</sup>, valor este superior ao do *E. urophylla* com 3,06 g.kg<sup>-1</sup>

Tabela 9 - Teores médios de nutrientes (g.kg<sup>-1</sup>), na fração madeira, para as espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*.

Fração	Espécie	g.kg <sup>-1</sup>					Total
		N	P	K	Ca	Mg	
Madeira	<i>E. grandis</i>	2,22a	0,29a	1,39a	5,07a	1,28a	10,25a
	<i>E. urophylla</i>	1,72b	0,21a	1,31a	3,06b	1,06a	7,36b
	<b>Média</b>	<b>1,97</b>	<b>0,25</b>	<b>1,35</b>	<b>4,06</b>	<b>1,17</b>	<b>8,81</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A menor concentração de nutrientes na fração madeira se deve à forma como esse componente se desenvolve na árvore e de sua anatomia, podendo ser dividido em cerne e alburno. Com o crescimento das partes internas do tronco, estes componentes se distanciam do câmbio e perdem gradativamente sua atividade fisiológica. Isto é, o alburno, à medida que se distancia do tecido meristemático, aos poucos vai cessando sua atividade fisiológica e transformando-se em cerne, um tecido mais compacto e com baixos teores de nutrientes (BURGER e RICHTER, 1991).

Os elementos predominantes na madeira apresentaram a seguinte ordem decrescente: Ca, N, K, Mg e P. A madeira é o compartimento que encontra-

se o menor teor de nutrientes por kg, sendo o somatório dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na madeira, para *E. grandis* foi de 10,25 g.kg<sup>-1</sup>, e para *E. urophylla* 7,36 g kg<sup>-1</sup>.

Freitas et al. (2004), avaliando *E. grandis* com 9 anos de idade, encontrou valor de somatório dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na madeira de 3,76 g kg<sup>-1</sup>, resultado bem inferior ao encontrado nesta pesquisa. No entanto Silva (2015) em estudo com *E. benthamii*, com seis anos de idade encontrou valores semelhantes ao estudo, com um total de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) de 7,18 g kg<sup>-1</sup>.

#### 4.3.2. Teor De Nutrientes Na Casca

A interação entre espécie versus classe não foi significativa para todos os elementos químicos avaliados na fração casca (Tabela 10). O fator de variação classe diamétrica foi estatisticamente significativo para K, Ca e Mg.

**Tabela 10 - Valores referente a teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na fração Casca, referente as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*.**

Fatores de Variação	GL	QM				
		N g.kg <sup>-1</sup>	P g.kg <sup>-1</sup>	K g.kg <sup>-1</sup>	Ca g.kg <sup>-1</sup>	Mg g.kg <sup>-1</sup>
Espécie	1	1,90407 <sup>ns</sup>	0,00184 <sup>ns</sup>	1,35375 <sup>ns</sup>	0,92042 <sup>ns</sup>	1,07104 <sup>ns</sup>
Classe	3	3,36532 <sup>ns</sup>	0,18858 <sup>ns</sup>	1,73239*	36,09826*	4,56966*
Espécie x Classe	3	0,52783 <sup>ns</sup>	0,01937 <sup>ns</sup>	0,21747 <sup>ns</sup>	2,14521 <sup>ns</sup>	0,18557 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	1,2844	0,05964	0,39704	2,69236	0,35343
CV%		19,18	28,08	11,55	9,11	18,36
Média		5,91	0,87	5,45	18,02	3,24

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < 0.05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

As cascas das árvores dos eucaliptos se constituem em armazéns de inúmeros compostos orgânicos, como açúcares, ceras, pectinas, álcoois, óleos, flavonóides, gomas, resinas, suberina, celulose, hemiceluloses, lignina (CARVALHO, 2010). A casca constitui de aporte de minerais importante, para o desenvolvimento da planta, sendo encontrado nesta fração da árvore os maiores teores de Ca e Mg (Tabela 11) com valores de 18,02 g.kg<sup>-1</sup> de Ca e 3,24 g.kg<sup>-1</sup> de Mg.

O alto teor de cálcio na casca em relação aos outros compartimentos pode ser explicado pela presença de cristais de oxalato de cálcio no floema, componente que junto com a periderme forma a casca (PATRÍCIO, 2014; PAULA et al, 2006), fazendo com que, na média, esse nutriente muitas vezes apresente o

maior teor. Brun (2004) descreve que a imobilidade do Ca no floema das plantas poderia explicar a sua concentração elevada na fração casca, assim como o fato de o elemento ser componente estrutural, fazendo parte da lamela média da membrana celular.

**Tabela 11 - Teores médios de nutrientes ( $\text{g.kg}^{-1}$ ), na fração casca, para as espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*.**

Fração	Espécie	$\text{g.kg}^{-1}$					Total
		N	P	K	Ca	Mg	
Casca	<i>E. grandis</i>	6,19a	0,86a	5,69a	18,21a	3,03a	33,98 a
	<i>E. urophylla</i>	5,63a	0,88a	5,21a	17,82a	3,45a	32,99 a
	<b>Média</b>	<b>5,91</b>	<b>0,87</b>	<b>5,45</b>	<b>18,02</b>	<b>3,24</b>	<b>33,49</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 16 pode se avaliar que os maiores teores de Mg estão na casca, e não nas folhas. Freitas et al. (2004) encontraram valores de  $3,29 \text{ g.kg}^{-1}$  de Mg na casca, valores estes superiores aos encontrados nas folhas, sendo o valor encontrado próximo ao da pesquisa com  $3,24 \text{ g.kg}^{-1}$ . É comum observar que os maiores teores de Mg estão nas folhas pelo fato deste elemento fazer parte do componente fotossintético, ou seja, faz parte da estrutura das clorofilas A e B o que também foi observado em diferentes espécies e idades (PEREIRA et al., 2000).

Schumacher e Poggiani (1993), analisando povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus torelliana*, também observaram que as maiores concentrações de Ca e Mg estão presentes na casca, o que constitui o mesmo padrão verificado nesse estudo.

Os teores de N, P e K encontram-se em valores expressivos na casca, considerando que esta fração tem o segundo maior volume de biomassa para as espécies de Eucalipto avaliadas, conforme dados apresentados no capítulo anterior.

Wadt et al.(1998) encontraram em estudo de valores de referência para macronutrientes em Eucalipto, sendo encontrado valores para a fração casca, na ordem de: N 2,9 a  $5,5 \text{ g kg}^{-1}$ , P 0,29 a  $0,90 \text{ g kg}^{-1}$ , K 3,2 a  $5,7 \text{ g kg}^{-1}$ , Ca 2,2 a  $10,6 \text{ g kg}^{-1}$  e Mg 0,4 a  $2,1 \text{ g kg}^{-1}$ , valores que contemplam ao encontrados no presente estudo.

### 4.3.3. Teor De Nutrientes Nos Galhos

Não houve interação entre fator espécie e classe para nenhum dos nutrientes avaliados na fração galho (Tabela 12). O fator de variação espécie foi estatisticamente significativo para N, P, K e Mg. No fator classe, houve diferença para o K.

**Tabela 12 - Valores referente a teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na fração Galho, referente as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*.**

Fatores de Variação	GL	QM				
		N g.kg <sup>-1</sup>	P g.kg <sup>-1</sup>	K g.kg <sup>-1</sup>	Ca g.kg <sup>-1</sup>	Mg g.kg <sup>-1</sup>
Espécie	1	63,53443*	0,00001*	9,14826*	25,50797 <sup>ns</sup>	4,86315*
Classe	3	4,85508 <sup>ns</sup>	0,00748 <sup>ns</sup>	1,87159*	8,40408 <sup>ns</sup>	0,49340 <sup>ns</sup>
Espécie x Classe	3	1,11014 <sup>ns</sup>	0,00134 <sup>ns</sup>	0,61854 <sup>ns</sup>	7,46413 <sup>ns</sup>	0,02770 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	2,05011	0,02809	0,50947	10,0487	0,28540
CV%		20,35	40,70	13,51	33,87	24,22
Média		7,03	0,41175	5,28	9,36	2,21

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (  $p < .05$  )

ns não significativo (  $p \geq .05$  )

A Tabela 13 apresenta os teores médios dos nutrientes nos galhos. O macronutriente Ca apresentou o maior teor para a fração galhos, com valor médio entre as duas espécies de 9,36 g.kg<sup>-1</sup>. Dado este que se confirmam com os resultados dos trabalhos de Freitas et al. (2004) e Viera et al. (2012), que encontraram o Ca como o nutriente com os maiores teores nos galhos.

**Tabela 13 - Teores médios de nutrientes (g.kg<sup>-1</sup>), na fração galho, para as espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*.**

Fração	Espécie	g.kg <sup>-1</sup>					Total
		N	P	K	Ca	Mg	
Galho	<i>E. grandis</i>	8,66a	0,41a	5,90a	10,39a	1,75b	27,11
	<i>E. urophylla</i>	5,41b	0,41a	4,66b	8,33a	2,66a	21,47
	Média	<b>7,04</b>	<b>0,41</b>	<b>5,28</b>	<b>9,36</b>	<b>2,21</b>	<b>24,29</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### 4.3.4. Teor De Nutrientes Na Folha

Os teores de nutrientes no compartimento folha (Tabela 14) apresentaram diferença estatística entre as espécies estudadas. No fator classe, houve diferença para os nutrientes P e K.

Tabela 14 - Valores referente a teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na fração folha, referente as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*.

Fatores de Variação	GL	QM				
		N g.kg <sup>-1</sup>	P g.kg <sup>-1</sup>	K g.kg <sup>-1</sup>	Ca g.kg <sup>-1</sup>	Mg g.kg <sup>-1</sup>
Espécie	1	42,92811 <sup>ns</sup>	0,03208 <sup>ns</sup>	4,39492 <sup>ns</sup>	57,54985*	0,21357 <sup>ns</sup>
Classe	3	56,18106 <sup>ns</sup>	0,35038*	10,50997*	3,38225 <sup>ns</sup>	0,38128 <sup>ns</sup>
Espécie x Classe	3	45,63545 <sup>ns</sup>	0,08604 <sup>ns</sup>	2,13861 <sup>ns</sup>	5,77168 <sup>ns</sup>	0,10523 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	53,88566	0,04978	2,50341	10,10792	0,20427
CV%		23,06	15,88	15,77	33,95	28,64
Média		31,84	1,40	10,03	9,36	1,58

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 = < p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

Os dados apresentados na Tabela 15 referem-se aos teores de nutrientes na fração folha, sendo esta a que apresentou a maior concentração de nutrientes principalmente o N, com média de 33,18 g kg<sup>-1</sup> no *E. grandis* e 30,50 g kg<sup>-1</sup> no *E. urophylla*.

O teor foliar de N obtido no presente estudo é superior ao encontrado por Assis et al. (2006), em folhas de plantas de *E. urophylla*, cultivados sob diferentes espaçamentos na região de cerrados de Minas Gerais. Segundo Gonçalves (1995), o teor adequado de N seria entre 13,5 g kg<sup>-1</sup> e 18 g kg<sup>-1</sup>, considerando dados médios para as espécies de *Eucalyptus* mais cultivadas no Brasil. Malavolta et al. (1997) encontraram valores de N variando de 21 g kg<sup>-1</sup> a 23 g kg<sup>-1</sup>, para povoamentos de *E. grandis* com alta produtividade de madeira.

Tabela 15 - Teores médios de nutrientes (g.kg<sup>-1</sup>), na fração folha, para as espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*.

Fração	Espécie	g.kg <sup>-1</sup>					
		N	P	K	Ca	Mg	Total
Folha	<i>E. grandis</i>	33,18a	1,44a	10,46a	10,91a	1,48a	55,47
	<i>E. urophylla</i>	30,50a	1,37a	9,60a	7,82b	1,67a	50,96
	Média	31,84	1,41	10,03	9,37	1,58	53,22

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A maioria dos nutrientes possui mobilidade dentro da planta e, com isso, tende a se concentrar nos órgãos mais novos (FERRI, 1985). É o caso, por exemplo, do nitrogênio, o qual possui teores bem superiores nas folhas do que nos demais componentes da biomassa. Silva (2015) também encontrou a maior

concentração de nitrogênio no compartimento folhas. Isso se deve ao fato desse componente da planta possuir maior atividade fisiológica, sendo responsável pela fotossíntese e transpiração.

A redistribuição dos elementos minerais dos tecidos mais velhos para os mais jovens, principalmente o N, P, K e Mg, também é responsável por essas diferenças de concentrações entre os compartimentos das plantas (MALAVOLTA et al., 1997).

O Potássio apresentou os maiores teores em relação aos demais nutrientes no compartimento (fração) folha, com média para as duas espécies de  $10,03 \text{ g.kg}^{-1}$ , onde o *E. grandis* teve maior concentração de K com  $10,46 \text{ g.kg}^{-1}$ . Freitas et al. (2004) em estudo com *E. grandis* com 9 anos de idade, plantado no espaçamento de  $2,0 \times 3,0 \text{ m}$ , no município de Alegrete, RS, encontrou os maiores teores de K presentes na fração folha, com  $7,11 \text{ g.kg}^{-1}$ , sendo este valor inferior ao encontrado nesta pesquisa.

Silveira et al. (2001), descreve que os teores médios adequados de P nas folhas maduras de *E. grandis* no estágio adulto, situa-se na faixa de 1,2 a  $1,7 \text{ g.kg}^{-1}$  de P. Dell et al. (1995), relatam que, para o *E. urophylla* o teor médio adequado de P nas folhas maduras estão entre 1,0 e  $3,1 \text{ g.kg}^{-1}$  de P. Sendo que os valores encontrados nas folhas das duas espécies avaliadas se caracterizam com níveis adequados de P, onde estão dentro dos limites estabelecidos pelos pesquisadores.

Segundo Brun (2004), o N e o P têm ampla mobilidade dentro da planta e, com isso, eles tendem a se concentrar nos órgãos mais novos, no caso desse estudo, o componente folha. Assis (2006) conclui que os teores de nutrientes nas folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla* variam com a época de amostragem, sendo os menores teores encontrados no período seco, para os nutrientes N, K e P, e os teores Ca apresentam-se menores no mês de dezembro.

Silva et al. (2009), observaram que devido a colheita de folhas para destilação, o valor de nutrientes exportados em um espaçamento adensado foi, aproximadamente, três vezes maior quando comparado ao espaçamento tradicional. Ainda neste estudo, concluíram que a utilização de um sistema mais intensivo de produção de folhas, com plantios adensados e sucessivas colheitas realizadas em

curtos intervalos de tempos, necessita de uma fertilização mais intensa do que as utilizadas em plantios convencionais.

#### 4.3.5. Teor Médio De Nutrientes Nas Frações

Quando comparados os teores médios de nutrientes nas diferentes frações (Tabela 16), a folha apresentou as maiores concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio por quilograma de matéria seca, no entanto, a casca apresentou os maiores teores de cálcio e magnésio, enquanto a madeira apresentou os menores teores para todos os nutrientes estudados.

**Tabela 16 - Comparação do teor médio de nutrientes entre as frações**

Fração	N ( g.kg <sup>-1</sup> )	P ( g.kg <sup>-1</sup> )	K ( g.kg <sup>-1</sup> )	Ca ( g.kg <sup>-1</sup> )	Mg ( g.kg <sup>-1</sup> )
Madeira	1,97 c	0,25 c	1,35 c	4,07 c	1,17 c
Casca	5,91 b	0,87 b	5,45 b	18,02 a	3,24 a
Galho	7,04 b	0,41 c	5,28 b	9,36 b	2,21 b
Folha	31,84 a	1,41 a	10,03 a	9,37 b	1,58 c

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Viera (2012), obteve os maiores teores de Ca e Mg na fração casca do eucalipto, com teores de 22,65 g.kg<sup>-1</sup> de Ca e 4,88 g.kg<sup>-1</sup> de Mg na casca, estes valores se encontram próximos ao encontrado na pesquisa. O mesmo autor cita ter encontrado valores superiores para N, P e K na fração folha.

Para Freitas (2000), trabalhando com *Eucalytus sp.*, os maiores teores de N e K foram encontrados nas folhas, enquanto que, para o P, Ca e Mg, os maiores valores localizaram-se na casca. Já neste trabalho diferiu para o P em relação a pesquisa do autor citado, onde o P foi encontrado em maior teor na folha do que na casca.

Schumacher e Poggiani (1993), Freitas et al. (2004), Viera et al. (2012) e Silva (2015), concluem que a concentração de nutrientes se apresenta de maneira diferente nos compartimentos da árvore e segue, de maneira geral, um gradiente decrescente com a seguinte tendência: folhas > casca > galhos > madeira. O mesmo ocorreu no presente trabalho, com a concentração de nutrientes seguindo a mesma ordem.



#### 4.3.6. Teor De Nutrientes Na Biomassa

A quantidade de nutrientes presentes na biomassa, tanto para *E. grandis* quanto *E. urophylla*, se encontra em maior quantidade no compartimento madeira, seguido da casca e dos galhos. Como foi discutida anteriormente, a madeira apresenta o menor teor de nutrientes por quilograma de matéria seca, no entanto quando se avalia a sua fração num todo, por se tratar de um componente de maior volume de biomassa produzido pelo eucalipto, se tem o maior conteúdo de nutrientes alocado na fração biomassa madeira (Tabela 17).

A quantidade de nutrientes alocada pelo *E. grandis* foi estatisticamente superior, nas frações madeira, galho e folhas em relação ao *E. urophylla*, no entanto este foi superior na fração casca.

**Tabela 17 - Quantidade de nutrientes nos diferentes componentes formadores da biomassa do *E. grandis* e do *E. urophylla* aos 60 meses de idade.**

Componentes		Mg.ha <sup>-1</sup>	kg.ha <sup>-1</sup>					Total
		Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	
Madeira	<i>E. grandis</i>	66,77	148,23a	19,36a	92,81a	338,52a	85,47a	684,39
	<i>E. urophylla</i>	64,30	110,60b	13,50b	84,23b	196,76b	68,16b	473,25
	<b>Média</b>	<b>65,54</b>	<b>129,41</b>	<b>16,43</b>	<b>88,52</b>	<b>267,64</b>	<b>76,81</b>	<b>578,81</b>
Casca	<i>E. grandis</i>	7,49	46,36b	6,44b	42,62b	136,39b	22,69b	254,50
	<i>E. urophylla</i>	11,55	65,03a	10,16a	60,18a	205,82a	39,85a	381,04
	<b>Média</b>	<b>9,52</b>	<b>55,69</b>	<b>8,30</b>	<b>51,40</b>	<b>171,11</b>	<b>31,27</b>	<b>317,77</b>
Galhos	<i>E. grandis</i>	7,22	62,53a	2,96a	42,60a	75,02a	12,64b	195,75
	<i>E. urophylla</i>	7,56	40,90b	3,10a	35,23b	62,97b	20,11a	162,31
	<b>Média</b>	<b>7,39</b>	<b>51,71</b>	<b>3,03</b>	<b>38,91</b>	<b>69,00</b>	<b>16,37</b>	<b>179,02</b>
Folhas	<i>E. grandis</i>	2,20	73,00a	3,17a	23,01a	24,00a	3,26b	126,44
	<i>E. urophylla</i>	2,10	64,05b	2,88b	20,16b	16,42b	3,51a	107,02
	<b>Média</b>	<b>2,15</b>	<b>68,52</b>	<b>3,02</b>	<b>21,59</b>	<b>20,21</b>	<b>3,38</b>	<b>116,72</b>
<b>Total</b>	<b>Σ Médias</b>	<b>84,60</b>	<b>305,33</b>	<b>30,78</b>	<b>200,42</b>	<b>527,96</b>	<b>127,83</b>	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A magnitude de armazenamento dos elementos na biomassa total apresentou a seguinte ordem decrescente de acúmulo para macronutrientes: Ca > N > K > Mg > P. Esta sequência de macronutrientes foi encontrada também por outros autores (SCHUMACHER E CALDEIRA, 2001; FREITAS, 2000; SANTANA

ET AL. 1999 e VIERA, 2012). Em outro trabalho realizado por Beulch (2013), diferiu em relação a dois elementos (N e K), onde o potássio foi maior do que o nitrogênio.

Quando se analisa a produção média de biomassa pelo total de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) formadores da biomassa, temos para cada tonelada de madeira produzida um total de 8,83 kg destes nutrientes nas suas estruturas, na média das duas espécies, sendo esta fração a que menos exporta nutrientes. Os galhos vem em segundo lugar com 24,22 kg.Mg<sup>-1</sup> de biomassa, a casca com 33,38 kg.Mg<sup>-1</sup> e as folhas com 54,29 kg.Mg<sup>-1</sup>.

Sendo assim a madeira se destaca como a mais eficiente em utilização de nutrientes por tonelada de biomassa produzida. Quando se realizar a colheita da biomassa, a madeira estará exportando 48,54% do nutrientes, sendo interessante deixar as demais frações de biomassa sobre o solo para que seja reciclado e retorne ao sistema reduzindo assim em mais de 50% a necessidade de reposição de nutrientes com fertilizantes para os próximos ciclos.

#### **4.4. CONCLUSÕES**

No compartimento madeira foram encontrados os menores teores de nutrientes por kg de matéria seca.

As folhas apresentaram as maiores concentrações de N, P, K, com exceção do Ca e Mg que estão alocados em maior quantidade na casca do eucalipto.

Se for realizado somente a colheita da madeira, será exportado apenas 48,54 % dos nutrientes absorvidos, reduzindo assim a necessidade de reposição de nutrientes para o próximo cultivo.

Com a colheita de 84,60 toneladas de biomassa total a exportação total será de: 527,96, 305,33, 200,42, 127,83, 30,78 kg.ha<sup>-1</sup> de Ca, N, K, Mg e P.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS. R.L.; FERREIRA. M.M.; FILHO A.C. Estado nutricional de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrados de Minas gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, n36; p.151-157, 2006.

BARICHELO, L.R. Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. 2003. 58 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

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

BEULCH. L.S. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna smith* submetido ao primeiro desbaste. **Dissertação** apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, RS, 2013.

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

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CARVALHO, J. R.M. Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ. **Dissertação** (Mestrado) UFPR, Curitiba – PR, 2010.

DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Canberra, Australian Centre for International Agricultural Research,

1995. 104p.

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

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

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.

FREITAS, R.A. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização, no município de Alegrete-RS. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.

GONÇALVES, J.L.M.. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, pinus e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, n15, p. 1-23. 1995.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

PATRÍCIO, H.S.M. Caracterização anatômica da casca de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) e *Eucalyptus rudis* Endl. para identificação das espécies. 2014. 86 p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) – Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, PT.

PAULA. J.A.M.; ROCHA, J.B.; NASCIMENTO, P.M.S.; REZENDE, M.H.; PAULA, J. R. Estudo farmacognóstico da casca de *Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) L. R. Landrum – Myrtaceae. **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 3, n. 2, p. 1-3, 2006.

PEREIRA, J.C. CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; HOPPE, J.M.; SANTOS, E.M. Estimativa de conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Acacia mearnsii* no Rio Grande do Sul- Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p.193- 199, 2000.

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

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, apr. 2010.

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

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.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, v.11, p.45-53, 2001.

SCHUMACHER, M.V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F.N.; LOPES, V.G. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul-RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321-332, 2013.

SILVA, M.L.M. DA; BINOTI, D.H.B.; GLERIANI, J.M.; LEITE, H.G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1133-1139, 2009.

SILVA, S.V.K. Produção de Biomassa e Quantificação de Nutrientes em *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage Sob Diferentes Densidades de Plantio. **Dissertação** de mestrado apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava-PR, p.89. 2015.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. Piracicaba, Potafos, 2001, 32p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, , VOLKWEISS, H.; Sérgio, J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS. 1995.

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

WADT, P.G.S; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.H.; FONSECA, S.; BARROS, N.F.; Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos dris e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.22, p.685-692, 1998.

## 5. PODER CALORÍFICO E ANÁLISE ECONÔMICA DA VIABILIDADE DE USO DA BIOMASSA TOTAL OU PARCIAL

### RESUMO

A crescente demanda por fontes alternativas de energia tem se demonstrado uma tendência mundial. O objetivo deste trabalho foi avaliar o poder calorífico das diferentes frações de biomassa de *E. grandis* e *E. urophylla* aos 60 meses de idade, a analisar a viabilidade econômica do aproveitamento total ou parcial da biomassa visando à produção de biomassa para geração de energia. Para isso foi determinado o poder calorífico superior, poder calorífico inferior, teor de cinzas e o carbono orgânico dos compartimentos madeira, galhos, casca e folhas. As cinzas são substâncias compostas de material inorgânico e tem relação inversa com o poder calorífico. O teor de cinzas na fração casca (7,3%) foi superior em relação às demais frações, seguida da fração folha com 4,74%. Já na madeira, foi encontrado o menor teor de cinzas com 0,56%. Quanto ao poder calorífico, a folha apresentou valores superiores às demais frações avaliadas, com 4904 kcal.kg<sup>-1</sup>, seguidas dos galhos com 4290 kcal.kg<sup>-1</sup>, da madeira com 4126 kcal.kg<sup>-1</sup> e da casca, com o menor PCI 3641 kcal.kg<sup>-1</sup>. O teor de Carbono orgânico (C.O), esta diretamente ligada com o poder calorífico, sendo que quanto maior sua porcentagem na fração maior o poder calorífico. Em relação a eficiência de uso dos nutrientes (EUN), a madeira apresentou os maiores valores, algo bastante desejável e de grande interesse para a silvicultura. Nas folhas estão os menores valores do EUN, com exceção do Ca e Mg que estão na casca, indicando a importância da manutenção destes componentes no solo após a colheita. Em relação ao custo para repor os nutrientes (NPK) exportados por uma tonelada de biomassa de madeira, o *E. grandis* apresentou valores de R\$ 14,05 e *E. urophylla* de R\$ 11,54, sendo essa biomassa, a mais barata em termos de custo com reposição de nutrientes. Por outro lado, as folhas apresentaram o maior custo de reposição de NPK, enfatizando a baixa viabilidade técnica da exportação desta biomassa.

**Palavras-chave:** Eucalipto, Carbono, Energia.

## ABSTRACT

The global demand for renewable energy has continued to increase. In this way, the objective of this study was to evaluate the calorific value of different tree biomass components of *E. grandis* and *E. urophylla* which 60 months old, to analyze the economic feasibility of the total or partial use of biomass to the production of biomass for energy generation. For this, was evaluated the higher calorific value, lower calorific value, ash content and organic carbon of the tree components: wood, branches, bark and leaves. The ashes are substances composed of inorganic material and have an inverse relationship with the calorific value. The ashes values in the bark component (7.3%) were significantly superior when compared to other fractions and was, followed by the leaves with 4.74%. The wood component showed the lowest ash content with 0.56%. In relation to the calorific values, leaves showed values higher than the other tree components with 4904 kcal.kg<sup>-1</sup>, followed by branches with 4290 kcal.kg<sup>-1</sup>, wood with kcal.kg 4126<sup>-1</sup> and bark, with the lowest PCI value or 3641 kcal .kg<sup>-1</sup>. Organic carbon content (OC) is directly linked to the calorific value once its value increases as OC increase. In relation to the nutrient use efficiency (NUE), wood showed the highest values, which is something highly desirable and of great interest to forestry. In the other hand, leaves showed the lowest values of the EUN, with the exception of Ca and Mg that are lower in the bark, indicating the importance of maintaining these components in the soil after harvest. Regarding to the cost to replace the nutrients (NPK) exported by one ton of wood biomass, *E. grandis* showed values of R\$ 14.05 and *E. urophylla* values of R\$ 11.54, being this biomass the cheapest in terms of nutrients reposition. On the other hand, the leaves component showed the higher cost of NPK replacement, emphasizing the low technic viability to export this biomass.

Key-words: Eucalyptus, Carbon Energy.



## 5.1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes alternativas de energia tem se demonstrado uma tendência mundial. Tudo isso motivado pela crescente preocupação sobre o esgotamento de fontes energéticas não renováveis como o carvão mineral e o petróleo. Com isso, o mercado mundial tem despertado interesse no desenvolvimento e adoção de fontes alternativas e renováveis de energia (ABRAF, 2013).

Do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade do desenvolvimento depende, entre outras medidas, da redução das emissões de gases poluentes, da conservação do solo, da não contaminação das águas, da exploração racional dos recursos fósseis e dos recursos naturais renováveis. Além dos fatores relacionados ao meio ambiente, questões econômicas, como o aumento do preço do petróleo e o fato de sua produção estar concentrada em poucos países, levaram diversos países a se preocupar com sua segurança energética (FONTES, 1994).

Muitos países estabeleceram metas de redução na emissão de gases do efeito estufa com intuito de redução do aquecimento global e para a substituição de combustíveis fósseis não renováveis por fontes energéticas renováveis em sua matriz energética (IBA, 2015).

No Brasil, a maior parte da energia elétrica vem de hidrelétricas ou eólicas, mas ainda um pequeno percentual da produção de energia elétrica vem de termoelétricas, sendo estas, fontes energéticas movidas à biomassa. A madeira para a região sudoeste do Paraná é de suma importância também para o uso em cerealistas nos secadores de grãos, além de alimentar caldeiras nas agroindústrias presentes na região e os aquecedores da avicultura que estão presentes em um grande número de produtores de aves (IBA, 2015).

Em 2012, a biomassa de base florestal representava 15,8% da geração de energia elétrica a partir de biomassa. Outras biomassas como o biogás, a casca de arroz, o capim elefante e o óleo de palma, representam apenas 1,8%. Apesar de significativo, o potencial de geração de energia a partir de resíduos florestais de biomassa no Brasil é muito maior. Atualmente, são gerados anualmente cerca de 41

milhões de toneladas de resíduos madeireiros provindos da indústria de processamento de madeira e da colheita florestal, capaz de gerar energia equivalente a 1,7 GW/ano (ABRAF, 2013).

O uso da madeira para energia é um componente de vital importância no suprimento de energia primária, especialmente no uso doméstico e industrial. A combustão da biomassa gera energia na forma de calor liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou volume do combustível ( $\text{kcal.kg}^{-1}$  ou  $\text{kcal.m}^{-3}$ ), que pode ser definido com poder calorífico (QUIRINO et al., 2004).

Em termos de qualidade da biomassa para a produção de energia, quanto mais alto for o poder calorífico, maior será a energia contida. Nesse contexto, este capítulo tem a finalidade de avaliar o poder calorífico das diferentes frações de biomassa de *E. grandis* e *E. urophylla* aos 60 meses de idade, a analisar a viabilidade econômica do aproveitamento total ou parcial da biomassa visando à produção de biomassa para geração de energia.

## **5.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1. Coleta De Amostras**

As amostras para determinação de poder calorífico e teor de cinzas foram oriundas dos mesmos materiais genéticos descritos na obtenção de teor de nutrientes descrito no capítulo anterior, sendo que foram analisados, para obter estes dados às frações dos compartimentos Casca, Folha, Galhos e Madeira.

### **5.2.2. Teor De Cinzas**

Para a obtenção do teor de cinzas dos diferentes materiais estudados, foi realizado em forno Mufla, sendo que em primeiro momento foi numerado os cadinhos com auxílio de lápis e colocados os mesmos para secar a  $105^{\circ}\text{C}$ , por uma hora, após foi retirado os mesmos e colocados para esfriar em um dessecador

(Figura 7). Os cadinhos, depois de resfriados e secos, foram pesados em balança analítica e anotado os valores do peso do cadinho.



**Figura 7 - Cadinhos secos dentro do dessecador (A), cadinhos após a queima das amostras (B)**

O cadinho foi tarado na balança analítica e colocado 2 gramas de amostras em cada um, os mesmos foram levados ao forno Mufla previamente aquecido e colocado a uma temperatura de 710° C, por um período de uma hora, (meia hora com a porta aberta e meia hora com a porta fechada), seguindo a metodologia da Norma NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata). Ao final, dentro do cadinho restam somente cinzas resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos. O teor de cinzas é calculado pela equação a seguir.

$$T \text{ Cinzas} = \left( \frac{m_3 - m_4}{m_3} \right) \times 100$$

Onde:

Tcinzas: Teor de cinzas, em %;

m3: Massa da amostra antes do experimento, em g;

m4: Massa da amostra após o experimento, em g.

### **5.2.3. Determinação Do Poder Calorífico**

Através do uso da bomba calorimétrica, pode-se determinar o Poder Calorífico Superior (PCS) de um material combustível, dada pela evaporação e

condensação da água durante a combustão do material (FONTES, 1994). PCS tem seu valor elevado em torno de 10 a 20 % (NOGUEIRA; LORA, 2003).

O Poder Calorífico Superior (PCS) é quando a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante o processo é condensada e o calor latente do vapor de água não é perdido (PROTÁSIO et al., 2011). Já o poder calorífico inferior (PCI) é obtido sem levar em consideração o calor latente do vapor da água. A água gerada é perdida sob forma de vapor pelo sistema, levando consigo uma parte da energia liberada pelo material, sendo o calor latente do vapor da água (PIMENTA et al., 2000).

O Poder Calorífico Inferior (PCI) representa o calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis. De acordo com Souza (2010), o PCI pode ser obtido indiretamente pela equação a seguir:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - ((600 \times 9.H) / 100)$$

Onde:

PCI = poder calorífico inferior (kcal/Kg);

PCS = poder calorífico superior (kcal/Kg);

H = teor de hidrogênio (%);

600 = Calor de condensação da água a 0 °C (zero graus Celsius);

9 = Representa a quantidade de água (em quilogramas) que se formam ao oxidar um quilo de hidrogênio.

A determinação do poder calorífico superior foi feito de acordo com a Norma ABNT/NBR 8633/84 (Carvão Vegetal Determinação do Poder Calorífico). Neste procedimento as amostras previamente secas, in natura foram colocadas em uma bomba calorimétrica isotérmica modelo E2K (Figura 8), para análise do PCS a ser liberado pela amostra. Para cada amostra, foram feitas 4 repetições. A transformação dos valores do PCS para PCI foram realizadas utilizando-se a equação já mencionada.



Figura 8 - Bomba Calorimétrica utilizada para, determinar poder calorífico.

#### 5.2.4. Determinação De Carbono Orgânico

A determinação do carbono (C) foi realizada através de método adaptado de Walkley-Black para tecido vegetal, onde o material é oxidado por íons  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  em meio ácido, sendo a reação acelerada pelo aquecimento gerado na adição de ácido sulfúrico concentrado. O excesso de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  que não atuou como oxidante foi titulado com  $\text{FeSO}_4$ , para a quantificação do C na amostra.

#### 5.2.5. Análise De Custo De Fertilizantes

Para determinar o custo de reposição de NPK, para cada compartimento analisado, foi calculado conforme a exportação de cada nutriente em seu compartimento. O cálculo foi realizado com base nos teores de nutrientes necessários para reposição e os custos de cada fonte mineral, sendo estas as fontes utilizadas para cálculo: Ureia (45% N), R\$ 85,, saca de 50 kg; Superfosfato Triplo (41%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), R\$ 98,00, saca de 50kg; Cloreto de Potássio (60%  $\text{K}_2\text{O}$ ), R\$92,00, saca de 50 kg.

#### 5.2.6. Eficiência de Utilização de Nutrientes

A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) foi obtida pela relação entre quantidade de biomassa de cada componente e os teores de nutrientes, ambos com a mesma unidade.

## 5.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.3.1. Poder Calorífico

As cinzas são substâncias compostas de material inorgânico e tem relação inversa com o poder calorífico. Observando os resultados da tabela 18, podemos perceber que os teores de cinzas para a fração casca foi significativamente superior às demais frações, sendo encontradas 7,28% de cinzas na casca, seguida da fração folha com 4,74%. Já na madeira foi encontrado o menor teor de cinzas com 0,56%.

Uma característica comum entre espécies de eucalipto são os baixos teores de cinzas da madeira, em geral abaixo de 1%. Botrel et al. (2010), trabalhando com oito clones de eucalipto, encontraram teores de cinzas variando de 0,11 a 0,25%. Neves et al. (2011), analisando características energéticas de dois clones, encontraram teores de cinzas da madeira variando de 0,65 a 0,88%. Trugilho et al. (2003), trabalhando com dez clones de *Eucalyptus grandis* e três clones de *Eucalyptus saligna* encontraram teores de cinzas variando de 0,10 a 0,25%.

Brito e Barrichelo (1978), analisando a madeira e a casca do eucalipto, encontraram teor de cinzas na ordem de 0,31% na madeira e 6,40% na casca, valores estes próximos ao encontrado neste trabalho.

**Tabela 18 - Teor de cinzas (%), Poder calorífico inferior (PCI), Poder calorífico superior (PCS) e Carbono orgânico (C.O %), nas frações Madeira, casca, folha e galhos em Eucalipto.**

Fração	% cinzas	PCI (kcal.kg <sup>-1</sup> )	PCS (kcal.kg <sup>-1</sup> )	% C.O
<b>Madeira</b>	0,56 d	4126 c	4396 c	46,13 b
<b>Casca</b>	7,28 a	3641 d	3880 d	37,57 c
<b>Folhas</b>	4,74 b	4904 a	5204 a	52,12 a
<b>Galhos</b>	2,93 c	4280 b	4534 b	45,91 b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Segundo Morais (2008), os teores de cinzas apresentam tendência de queda com o avanço da idade, saindo de valores de 0,50% com um ano e atingindo mínimo de 0,12% com 8 anos de idade. Árvores mais jovens demandam maiores quantidades de minerais, pois estão em uma fase onde o metabolismo é mais acelerado justificando assim o maior teor de cinzas encontrado na casca.

Com base nos valores obtidos para PCI descritos na tabela 18, podemos afirmar que a folha teve seu poder calorífico estatisticamente superior às demais frações avaliadas com  $4904 \text{ kcal.kg}^{-1}$ , seguidas dos galhos com  $4290 \text{ kcal.kg}^{-1}$ , madeira  $4126 \text{ kcal.kg}^{-1}$  e casca com o menor PCI  $3641 \text{ kcal.kg}^{-1}$ .

Santiago (2013), encontrou valores para Poder Calorífico Superior para casca de eucalipto, na ordem de PCS  $4405 \text{ kcal.kg}^{-1}$  e Poder Calorífico Inferior, PCI  $4081 \text{ kcal.kg}^{-1}$ . Estes resultados são aproximadamente 20,0% superiores aos valores encontrados nas análises de casca deste trabalho. No entanto, Pereira Junior (2001) encontrou valores para poder calorífico em casca de eucalipto bem próximos ao da pesquisa, ou seja: PCS  $3657 \text{ kcal.kg}^{-1}$ , PCI  $3418 \text{ kcal.kg}^{-1}$ .

A madeira do eucalipto por se tratar da fração encontrada em maior quantidade de biomassa e com um elevado teor de energia, que foi de PCI  $4126 \text{ kcal.kg}^{-1}$ , é amplamente utilizada como fonte de energia renovável. Muller (2005), encontrou valores para uma floresta de eucalipto, com espaçamentos variados, uma média de PCS igual a  $4146 \text{ kcal.kg}^{-1}$ , valores próximos ao encontrado neste trabalho.

Menezes (2013), avaliando maravalha de Pinus e Araucária, encontrou valores médios para o Poder Calorífico Superior de  $4136 \text{ kcal.kg}^{-1}$  para *A. angustifolia* e  $4115 \text{ kcal.kg}^{-1}$  para Pinus sp., valores médios próximos entre as coníferas. No, entanto estes valores de PCS se encontram inferiores aos encontrados na madeira de eucalipto estudada, onde se teve valor de PCS  $4396 \text{ kcal.kg}^{-1}$ .

O poder calorífico superior da madeira de eucalipto (Tabela 18) com 60 meses de idade, foi de  $4396 \text{ kcal.kg}^{-1}$ . Hofler et al. (2010), encontraram poderes caloríficos superiores para clones de *Eucalyptus* com 3, 5 e 7 anos de idade respectivamente iguais a 3348 , 4528 e  $4378 \text{ kcal.kg}^{-1}$ . Oliveira et al. (2010), trabalhando com parâmetros de qualidade da madeira de *Eucalyptus pellita*, encontraram poder calorífico superior de  $4621 \text{ kcal.kg}^{-1}$ , valor este maior que o encontrado na pesquisa.

Pode-se observar também na tabela 18, que o teor de carbono orgânico (CO) esta diretamente ligado com o poder calorífico, sendo que quanto maior sua porcentagem na fração, maior o poder calorífico. Desta forma, o que se

espera é que elevados teores de carbono implique em maiores poderes caloríficos (CHAVES, et, al. 2013).

O percentual de carbono presente estabelece a quantidade de calor gerado, sendo que quanto maior este percentual, mais lentamente o combustível irá queimar (STURION; PEREIRA; CHEMIN, 1988).

Analisando a tabela 19, temos para a produção de biomassa a fração madeira como sendo a de maior produção, seguida de casca, galho e folha, da mesma forma a produção geral de energia em relação ao poder calórico pela produção de biomassa temos a madeira com a maior produção com 270.418,04 Gcal (Giga calorias).

**Tabela 19 - Produção de Biomassa média entre *E. grandis* e *E. urophylla*, Poder Calorífico inferior e Produção geral de energia para as frações madeira, casca, folha e galhos de eucalipto.**

<b>Fração</b>	<b>Biomassa Mg.ha</b>	<b>PCI kcal.kg<sup>-1</sup></b>	<b>Produção de Energia em Gcal</b>
<b>Madeira</b>	65,54	4126	270.418,04
<b>Casca</b>	9,52	3641	34.662,32
<b>Folha</b>	2,15	4904	10.543,60
<b>Galho</b>	7,39	4280	31.629,20

### **5.3.2. Análise Econômica Da Produção De Biomassa**

Analisando os dados da tabela 20 quanto ao custo de reposição dos nutrientes (NPK) alocados nas frações da biomassa do eucalipto, temos os maiores custos referentes ao nitrogênio na forma de ureia, sendo que em todos os componentes da biomassa este elemento apresentou uma maior demanda. Por outro lado, o fósforo teve o menor custo em reposição, pois a sua exportação nas frações do eucalipto também foram baixas.



Tabela 20 - Quantidade de NPK exportado nas diferentes frações de duas espécies de eucalipto aos 60 meses de idade, e o custo de reposição do NPK exportado através da biomassa.

Componentes	Mg.ha <sup>-1</sup>	kg.ha <sup>-1</sup>						
	Biomassa	Uréia (N)		Super Triplo(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Cloreto de Potássio (K <sub>2</sub> O)		
		Kg	Total	Kg	Total	Kg	Total	
Madeira	<i>E. grandis</i>	66,77	329	R\$ 559,98	46	R\$ 90,35	155	R\$ 287,71
	<i>E. urophylla</i>	64,3	246	R\$ 417,82	32	R\$ 63,00	140	R\$ 261,11
	<b>Média</b>	<b>65,54</b>	<b>288</b>	<b>R\$ 488,88</b>	<b>39</b>	<b>R\$ 76,67</b>	<b>148</b>	<b>R\$ 274,41</b>
Casca	<i>E. grandis</i>	7,49	103	R\$ 175,14	15	R\$ 30,05	71	R\$ 132,12
	<i>E. urophylla</i>	11,55	145	R\$ 245,67	24	R\$ 47,41	100	R\$ 186,56
	<b>Média</b>	<b>9,52</b>	<b>124</b>	<b>R\$ 210,38</b>	<b>20</b>	<b>R\$ 38,73</b>	<b>86</b>	<b>R\$ 159,34</b>
Galhos	<i>E. grandis</i>	7,22	139	R\$ 236,22	7	R\$ 13,81	71	R\$ 132,06
	<i>E. urophylla</i>	7,56	91	R\$ 154,51	7	R\$ 14,47	59	R\$ 109,21
	<b>Média</b>	<b>7,39</b>	<b>115</b>	<b>R\$ 195,35</b>	<b>7</b>	<b>R\$ 14,14</b>	<b>65</b>	<b>R\$ 120,62</b>
Folhas	<i>E. grandis</i>	2,20	162	R\$ 275,78	8	R\$ 14,79	38	R\$ 71,33
	<i>E. urophylla</i>	2,10	142	R\$ 241,97	7	R\$ 13,44	34	R\$ 62,50
	<b>Média</b>	<b>2,15</b>	<b>152</b>	<b>R\$ 258,85</b>	<b>7</b>	<b>R\$ 14,09</b>	<b>36</b>	<b>R\$ 66,93</b>
<b>Total</b>	<b>84,60</b>	<b>679</b>	<b>R\$ 1.153,47</b>	<b>73</b>	<b>R\$ 143,64</b>	<b>334</b>	<b>R\$ 621,30</b>	

Quando analisado a Eficiência de Utilização de Nutrientes (EUN), temos na Tabela 21, percebemos que os materiais genéticos diferiram quanto a produção de biomassa em todos os seus componentes. De modo geral, observou-se que as procedências de *E. grandis* e *E. urophylla*, a EUN decresceu na seguinte ordem: P > Mg > K > N > Ca, sendo esta a mesma tendência observada por Santana et al. (2002). O coeficiente de utilização de macronutrientes da madeira diferiu do trabalho realizado por Viera (2012), com o híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, onde observou a magnitude média de: P > Mg > Ca > N > K.

A madeira apresenta os maiores valores do EUN, algo bastante desejável e de grande interesse para a silvicultura. Nas folhas estão os menores valores do EUN, com exceção do Ca e Mg que estão na casca, indicando a importância da manutenção destes componentes no solo após a colheita.

Tabela 21 - Biomassa e eficiência de utilização de nutrientes (EUN) de nutrientes, para *E. grandis* e *E. urophylla*, aos 60 meses de idade.

Componentes	Espécies	Eficiência de utilização de Nutrientes					
		Mg.ha <sup>-1</sup>	kg de biomassa/kg de nutriente				
		Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
Madeira	<i>E. grandis</i>	66,77 a	450,45	3448,86	719,43	197,24	781,21
	<i>E. urophylla</i>	64,30 b	581,37	4762,96	763,39	326,79	943,37
	<b>Média</b>	<b>65,54</b>	<b>506,45</b>	<b>3989,04</b>	<b>740,40</b>	<b>244,88</b>	<b>853,27</b>
Casca	<i>E. grandis</i>	7,49 b	161,56	1163,04	175,74	54,92	330,10
	<i>E. urophylla</i>	11,55 a	177,61	1136,81	191,92	56,12	289,84
	<b>Média</b>	<b>9,52</b>	<b>170,95</b>	<b>1146,99</b>	<b>185,21</b>	<b>55,64</b>	<b>304,45</b>
Galhos	<i>E. grandis</i>	7,22 b	115,46	2439,19	169,48	96,24	571,20
	<i>E. urophylla</i>	7,56 a	184,84	2438,71	214,59	120,06	375,93
	<b>Média</b>	<b>7,39</b>	<b>142,91</b>	<b>2438,94</b>	<b>189,93</b>	<b>107,10</b>	<b>451,44</b>
Folhas	<i>E. grandis</i>	2,20 a	30,14	694,01	95,61	91,67	674,85
	<i>E. urophylla</i>	2,10 b	32,79	729,17	104,17	127,89	598,29
	<b>Média</b>	<b>2,150</b>	<b>31,38</b>	<b>711,92</b>	<b>99,58</b>	<b>106,38</b>	<b>636,09</b>
<b>Total</b>		<b>84,60</b>	<b>851,69</b>	<b>8286,89</b>	<b>1215,12</b>	<b>514,00</b>	<b>2245,25</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observando a tabela 22, quanto ao custo de reposição de nutrientes (NPK), para se produzir uma tonelada de biomassa para a fração madeira, temos como custo por tonelada de R\$ 14,05 para o *E. grandis* e R\$ 11,54 *E. urophylla*. Sendo esta a biomassa de menor custo para se repor os nutrientes exportados por ela própria. Por outro lado a fração folhas obteve o maior custo de reposição de NPK.

Tabela 22 - Custo de reposição de NPK exportado por tonelada de biomassa para *E. grandis* e *E. urophylla*, aos 60 meses de idade.

Componentes	Espécies	Biomassa	Custo Total	Custo Reposição NPK/Ton
Madeira	<i>E. grandis</i>	66,77	938,04	R\$ 14,05
	<i>E. urophylla</i>	64,30	741,93	R\$ 11,54
	<b>Média</b>	<b>65,54</b>	<b>839,96</b>	<b>R\$ 12,82</b>
Casca	<i>E. grandis</i>	7,49	337,31	R\$ 45,03
	<i>E. urophylla</i>	11,55	479,64	R\$ 41,53
	<b>Média</b>	<b>9,52</b>	<b>408,45</b>	<b>R\$ 42,90</b>
Galhos	<i>E. grandis</i>	7,22	382,09	R\$ 52,92
	<i>E. urophylla</i>	7,56	278,19	R\$ 36,80

	<b>Média</b>	<b>7,39</b>	330,11	R\$ 44,67
<b>Folhas</b>	<i>E. grandis</i>	2,20	361,90	R\$ 164,50
	<i>E. urophylla</i>	2,10	317,91	R\$ 151,39
	<b>Média</b>	<b>2,15</b>	<b>339,87</b>	<b>R\$ 158,08</b>
<b>Total</b>		<b>84,60</b>	<b>1918,41</b>	<b>R\$ 22,68</b>

Observando a tabela 23, foi comparando os valores de produção média de biomassa a energia para poder calorífico para as diferentes frações de eucalipto, sendo constatado que a madeira obteve a maior receita líquida, quanto a sua reposição de NPK, seguida da casca e galhos. No entanto a fração folha demonstrou uma receita líquida negativa, sendo esta inviável economicamente para o aproveitamento de biomassa como fonte combustível.

**Tabela 23 - Produção média de Biomassa, produção de energia e análise econômica para as duas espécies de eucalipto aos 60 meses de idade.**

<b>Fração</b>	<b>Biomassa Mg.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Produção total de Energia (Gcal)</b>	<b>Receita bruta R\$/ha</b>	<b>Custo de Reposição NPK</b>
<b>Madeira</b>	65,54	270418,00	R\$ 7.864,80	R\$ 839,93
<b>Casca</b>	9,52	34662,32	R\$ 1.142,40	R\$ 408,45
<b>Folha</b>	2,15	10543,60	R\$ 258,00	R\$ 339,87
<b>Galho</b>	7,39	31629,20	R\$ 886,80	R\$ 330,11
<b>Total</b>	<b>84,6</b>	<b>347253,2</b>	<b>R\$ 10.152,00</b>	

<b>Fração</b>	<b>Receita Líquida R\$/ha</b>	<b>Custo reposição NPK/ Mg. de biomassa</b>	<b>Acúmulo de Energia Gcal/R\$ Reposto de NPK</b>
<b>Madeira</b>	R\$ 7.024,87	R\$ 12,82	321,95
<b>Casca</b>	R\$ 733,95	R\$ 42,90	84,86
<b>Folha</b>	R\$ - 81,87	R\$ 158,08	31,02
<b>Galho</b>	R\$ 556,69	R\$ 44,67	95,81

## 5.4. CONCLUSÕES

A fração folha foi a que apresentou o maior poder calorífico inferior.

A madeira tem a maior capacidade de produção de energia por hectare comparando com as demais frações do eucalipto.

O teor de carbono orgânico está ligado diretamente ao poder calorífico.

A eficiência de utilização de nutrientes para *E. grandis* e *E. urophylla*, decresceu na seguinte ordem:  $P > Mg > K > N > Ca$ .

A madeira é a fração mais viável para produção de energia sendo que os galhos e as cascas também podem ser utilizados com vantagens econômicas.

A fração folha, não apresentou viabilidade econômica para serem utilizadas como fonte de energia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 8633, **Carvão vegetal. Determinação do poder calorífico.** 1984.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Carvão Vegetal – Análise Imediata. **NBR-8112** (MB1857), Outubro 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico **ABRAF 2013**. ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013, 148 p.

BOTREL, M.C.G.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; MOREIRA, J.R.S. Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. **Scientias Forestales**, v. 38, n. 86, p. 237-245, 2010.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF** n.16, p.63-70, 1978.

CHAVES, A.M. BRITO; D.V.; AILTON T.; MELIDO, R.C.; ZOCH, V.P.; Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp.* ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, **Centro Científico Conhecer**. Goiânia, v.9, n.17; p.533, 2013.

FONTES, P.J.P. Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento de resíduos. 93f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1994.

HOFLER, J.; BIANCHI, M.L.; SOARES, V.C. - Variação da composição química e poder calorífico da madeira de clones de *Eucalyptus* de diferentes idades. **33ª Reunião anual da sociedade brasileira de química**. Aguas de Lindóisa-SP. 2010.

Indústria Brasileira de árvores (IBA), 2015. Disponível em: [http://iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf). Acesso em 04/08/2015.

MENEZES, M.J.S. Poder calorífico e análise imediata da maravalha de *Pinus* (*Pinus* sp) e *Araucária* (*Araucaria angustifolia*) de reflorestamento como resíduos de madeira. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, CASCAVEL, PARANÁ-BRASIL. 2013.

MORAIS, P.H.D. Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branquiabilidade e propriedades físicas da polpa. **Dissertação** Apresentada à Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2008.

MÜLLER, M.D.; COUTO, L.; NEVES, J.C.L. Produção de biomassa e balanço nutricional de plantações de eucalipto clonal em diferentes densidades de plantio no Município de Itamarandiba - MG. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 2, p. 91-101, 2005.

MÜZEL, S.D.; OLIVEIRA, K.A. DE.; HANSTED, F.A.S.; PRATES, G.A; GOVEIA, D. Poder calorífico da madeira de *Eucalyptus grandis* e da *Hevea brasiliensis*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. Itapeva, SP. v. 8 p. 166-172, 2014.

NEVES, T.A.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; OLIVEIRA SELVA, V. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando a produção de carvão. **Pesq. flor. bras.**, v.31, n.68, p. 319-330. 2011.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

OLIVEIRA, A.C.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B.L.C.; CARDOSO, M.T.C. - Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestales**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PEREIRA, J. V. B. Alternativas para a co-geração de energia de uma indústria de chapas de fibra de madeira. 2001. 115f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

PROTÁSIO, T.P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v.31, n.66, p. 113-122, abr/jun.2011.

QUIRINO, W.F. et al. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, Brasília, v. 1, n.2, p. 173-182, 2004.

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

SANTIAGO, F.L.S. Aproveitamento de resíduos florestais de *Eucalyptus spp* na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica. **Tese** (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013.

SOUZA, M.M. Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda L.* **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal da Universidade federal do Paraná), Curitiba. PR, 2010. 77p.

STURION, J.A; PEREIRA, J.C.D; CHEMIM, M.S; Qualidade da Madeira de *Eucalyptus viminalis* Para Fins Energéticos Em Função Do Espaçamento e Idade de Corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 16, p.55-59, dez. 1988.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, v.9, n.1, p.066-080, 2003.

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



## 6. ANEXOS

Tabela 24 - Teor de nitrogênio nas diferentes classes diamétricas e nas diferentes frações para *E. grandis* e *E. urophylla* aos 60 meses de idade.

		Classes				
		C1	C2	C3	C4	
Fração	Espécie	N g.kg-1				Média
Madeira	<i>Grandis</i>	2,40aA	1,83aA	2,36aA	2,28aA	<b>2,22a</b>
	<i>Urophylla</i>	1,80aA	1,61aA	1,79aA	1,70aA	<b>1,72b</b>
	<b>Média</b>	<b>2,10a</b>	<b>1,72a</b>	<b>2,07a</b>	<b>1,99a</b>	
Folha	<i>Grandis</i>	40,90aA	31,74aA	29,82aA	30,25aA	<b>33,18a</b>
	<i>Urophylla</i>	30,84aA	32,10aA	32,33aA	26,72aA	<b>30,50a</b>
	<b>Média</b>	<b>35,87a</b>	<b>31,92a</b>	<b>31,08a</b>	<b>28,48a</b>	
Casca	<i>Grandis</i>	6,95aA	6,38aA	6,30aA	5,13aA	<b>6,19a</b>
	<i>Urophylla</i>	6,80aA	5,67aA	4,96aA	5,08aA	<b>5,63a</b>
	<b>Média</b>	<b>6,88a</b>	<b>6,03a</b>	<b>5,63a</b>	<b>5,10a</b>	
Galho	<i>Grandis</i>	10,15aA	8,94aA	8,32aA	7,23aA	<b>8,66a</b>
	<i>Urophylla</i>	6,34bA	5,41bA	4,62bA	5,26aA	<b>5,41b</b>
	<b>Média</b>	<b>8,25a</b>	<b>7,17a</b>	<b>6,47a</b>	<b>6,25a</b>	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para Colunas classificação com letras minúsculas, para linhas classificação com letras maiúsculas.

Tabela 25 - Teor de fósforo nas diferentes classes diamétricas e nas diferentes frações para *E. grandis* e *E. urophylla* aos 60 meses de idade.

		Classes				
		C1	C2	C3	C4	
Fração	Espécie	P g.kg-1				Média
Madeira	<i>Grandis</i>	0,37aA	0,23aA	0,24aA	0,31aA	<b>0,29a</b>
	<i>Urophylla</i>	0,25aA	0,17aA	0,21aA	0,22aA	<b>0,21a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,31a</b>	<b>0,20a</b>	<b>0,22a</b>	<b>0,26a</b>	
Folha	<i>Grandis</i>	1,61aA	1,83aA	0,99aB	1,34aAB	<b>1,44a</b>
	<i>Urophylla</i>	1,39aA	1,53aA	1,23aA	1,32aA	<b>1,37a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,50a</b>	<b>1,68a</b>	<b>1,11b</b>	<b>1,33ab</b>	
Casca	<i>Grandis</i>	0,87aA	1,14aA	0,83aA	0,60aA	<b>0,86a</b>
	<i>Urophylla</i>	0,82aA	1,03aA	0,95aA	0,71aA	<b>0,88a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,84ab</b>	<b>1,09a</b>	<b>0,89ab</b>	<b>0,65b</b>	
Galho	<i>Grandis</i>	0,37aA	0,45aA	0,38aA	0,46aA	<b>0,41a</b>
	<i>Urophylla</i>	0,41aA	0,41aA	0,38aA	0,45aA	<b>0,41a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,39a</b>	<b>0,43a</b>	<b>0,38a</b>	<b>0,45a</b>	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste

de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para Colunas classificação com letras minúsculas, para linhas classificação com letras maiúsculas.

**Tabela 26 - Teor de Potássio nas diferentes classes diamétricas e nas diferentes frações para *E. grandis* e *E. urophylla* aos 60 meses de idade.**

		Classes				
		C1	C2	C3	C4	
Fração	Espécie	K g.kg <sup>-1</sup>				Média
Madeira	<i>E. grandis</i>	1,71	1,42	1,33	1,09	<b>1,39a</b>
	<i>E. urophylla</i>	1,33	1,31	1,36	1,23	<b>1,31a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,52a</b>	<b>1,37a</b>	<b>1,35a</b>	<b>1,16a</b>	
Folha	<i>E. grandis</i>	12,83	10,45	10,27	8,30	<b>10,46a</b>
	<i>E. urophylla</i>	10,62	9,02	10,04	8,74	<b>9,60a</b>
	<b>Média</b>	<b>11,72a</b>	<b>9,73ab</b>	<b>10,15ab</b>	<b>8,52b</b>	
Casca	<i>E. grandis</i>	5,47	5,24	6,71	5,35	<b>5,69a</b>
	<i>E. urophylla</i>	4,96	4,80	5,76	5,33	<b>5,21a</b>
	<b>Média</b>	<b>5,22ab</b>	<b>5,02b</b>	<b>6,23a</b>	<b>5,34ab</b>	
Galho	<i>E. grandis</i>	5,22	5,09	6,78	6,51	<b>5,90a</b>
	<i>E. urophylla</i>	4,47	4,42	4,77	5,01	<b>4,66b</b>
	<b>Média</b>	<b>4,84a</b>	<b>4,76a</b>	<b>5,77a</b>	<b>5,76a</b>	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para Colunas classificação com letras minúsculas, para linhas classificação com letras maiúsculas.

**Tabela 27 - Teor de cálcio nas diferentes classes diamétricas e nas diferentes frações para *E. grandis* e *E. urophylla* aos 60 meses de idade.**

		Classes				
		C1	C2	C3	C4	
Fração	Espécie	Ca g.kg <sup>-1</sup>				Média
Madeira	<i>Grandis</i>	5,68aA	4,91aA	4,94aA	4,74aA	<b>5,07a</b>
	<i>Urophylla</i>	2,79bA	3,35aA	3,24bA	2,88bA	<b>3,06b</b>
	<b>Média</b>	<b>4,23a</b>	<b>4,13a</b>	<b>4,09a</b>	<b>3,81a</b>	
Folha	<i>Grandis</i>	9,66aA	12,72aA	11,87aA	9,39aA	<b>10,91a</b>
	<i>Urophylla</i>	8,63aA	7,32aA	7,91aA	7,41aA	<b>7,82b</b>
	<b>Média</b>	<b>9,14a</b>	<b>10,02a</b>	<b>9,89a</b>	<b>8,39a</b>	
Casca	<i>Grandis</i>	16,14aB	16,98aB	18,69aAB	21,06aA	<b>18,21a</b>
	<i>Urophylla</i>	14,05 aB	17,66aAB	18,78aA	20,80aA	<b>17,82a</b>
	<b>Média</b>	<b>15,09c</b>	<b>17,32bc</b>	<b>18,73ab</b>	<b>20,93a</b>	
Galho	<i>Grandis</i>	8,01aA	11,12aA	13,15aA	9,28aA	<b>10,39a</b>
	<i>Urophylla</i>	7,73aA	8,33aA	8,25aA	8,99aA	<b>8,33a</b>
	<b>Média</b>	<b>7,87a</b>	<b>9,72a</b>	<b>10,70a</b>	<b>9,14a</b>	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para Colunas classificação com letras minúsculas, para linhas classificação com letras maiúsculas.

**Tabela 28 - Teor de magnésio nas diferentes classes diamétricas e nas diferentes frações para *E. grandis* e *E. urophylla* aos 60 meses de idade.**

		Classes				
		C1	C2	C3	C4	
Fração	Espécie	Mg g.kg-1				Média
Madeira	<i>Grandis</i>	1,43aA	1,16aA	1,30aA	1,23aA	<b>1,28a</b>
	<i>Urophylla</i>	1,02aA	1,15aA	1,06aA	1,03aA	<b>1,06a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,22a</b>	<b>1,16a</b>	<b>1,18a</b>	<b>1,13a</b>	
Folha	<i>Grandis</i>	1,70aA	1,91aA	1,14aA	1,18aA	<b>1,48a</b>
	<i>Urophylla</i>	1,77aA	1,78aA	1,58aA	1,55aA	<b>1,67a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,74a</b>	<b>1,85a</b>	<b>1,36a</b>	<b>1,36a</b>	
Casca	<i>Grandis</i>	4,55aA	2,75aB	2,49aB	2,32aB	<b>3,03a</b>
	<i>Urophylla</i>	4,46aA	3,42aAB	3,13aAB	2,78aB	<b>3,45a</b>
	<b>Média</b>	<b>4,51a</b>	<b>3,08b</b>	<b>2,81b</b>	<b>2,55b</b>	
Galho	<i>Grandis</i>	1,40bA	1,57bA	1,93aA	2,13aA	<b>1,75b</b>
	<i>Urophylla</i>	2,33aA	2,65aA	2,69aA	2,95aA	<b>2,66a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,86a</b>	<b>2,11a</b>	<b>2,31a</b>	<b>2,54a</b>	

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para Colunas classificação com letras minúsculas, para linhas classificação com letras maiúsculas.