

BIOMASSA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTO DE *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN PLANTADO EM SOLO SUJEITO À ARENIZAÇÃO, NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS¹

Biomass and Nutrient Content in Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden Stand in Sandy Soil in Alegrete, RS

Rosane Freitas², Mauro Valdir Schumacher³, Marcos Vinicius Winckler Caldeira⁴ e Peter Spathelf⁵

Resumo: Foram quantificados a biomassa e os nutrientes acumulados nas folhas, nos galhos mortos, nos galhos vivos, na casca e na madeira de *Eucalyptus grandis*, bem como os nutrientes existentes na serapilheira acumulada. O estudo foi realizado no município de Alegrete-RS, Brasil, em povoamento com 9 anos de idade, plantado em solo arenoso de baixa fertilidade. Foram avaliadas as características dendrométricas e coletadas amostras de folhas, galhos mortos, galhos vivos, casca e madeira de 24 árvores. Posteriormente, estabeleceram-se as melhores equações para estimar a biomassa de cada componente arbóreo. Foram determinados também o conteúdo e a exportação de nutrientes. A serapilheira foi coletada por parcelas, com área de 0,0625 m² (0,25 x 0,25 m) cada. A quantidade média de serapilheira acumulada sobre o solo foi de 5,4 Mg ha⁻¹, contendo 31,96 kg ha⁻¹ de N, 1,55 kg ha⁻¹ de P, 4,5 kg ha⁻¹ de K, 94,7 kg ha⁻¹ de Ca e 7,36 kg ha⁻¹ de Mg. A produção total de biomassa acima do solo foi de 142,3 Mg ha⁻¹, com a seguinte distribuição: 1,7% nas folhas, 5,4% nos galhos mortos, 0,5% nos galhos vivos, 7,8% na casca e 84,6% na madeira. As quantidades de nutrientes contidos na biomassa total acima do solo, em kg ha⁻¹, foram de 213,73 de N, 47,31 de P, 209,8 de K, 737,6 de Ca e 74,8 de Mg. Os nutrientes concentram-se de forma decrescente, nas folhas > casca > galhos vivos > galhos mortos > madeira. No caso de uma colheita da madeira com casca, o P, K e o Ca seriam os elementos mais exportados para fora do sítio.

Palavras-chave: *Eucalyptus grandis*, serapilheira, biomassa e nutriente.

Abstract: The objective of this study was to quantify biomass and accumulated nutrients in the different components (leaves, live branches, dead branches, bark and wood) and litter of *Eucalyptus grandis*. The work was carried out in a 9-year-old stand of *Eucalyptus grandis* on a sandy site with low fertility near the village of Alegrete in the federal state of Rio Grande do Sul, Brazil. Dendrometric characteristics of the trees were evaluated and samples of leaves, live branches, dead branches, bark and wood were taken from 24 trees. Equations were fitted for the biomass of each tree component. Nutrient content and exportation of nutrients were also evaluated. Twelve samples of litter per plot were collected in 0.0625 m² (0.25 m x 0.25 m) subplots to estimate the amount of material accumulated. The mean amount of accumulated litter on the soil was 5.4 Mg ha⁻¹, with the content of 31.96 kg ha⁻¹ N,

¹ Trabalho convidado.

² Eng^o Florestal, Doutoranda em Ciências Florestais, Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais/Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. ³ Eng^o Florestal, Dr., Prof^o Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria-RS. ⁴ Eng^o Florestal, Dr., Prof^o do Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau – FURB, Rua Araçatuba, 83, Campus II, Itoupava Seca, 89030-080 Blumenau-SC, <caldeira@furb.br>. ⁵ Eng^o Florestal, Dr., Docente na Universidade de Ciências Aplicadas em Rottenburg, Rottenburg-Alemanha.

1.55 kg ha⁻¹ P, 4.5 kg ha⁻¹ K, 94.7 kg ha⁻¹ Ca and 7.36 kg ha⁻¹ Mg. The total production of above-ground biomass was of 142.3 Mg ha⁻¹ with the following percent distributions: 1.7%, leaves, 5.4%, dead branches, 0.5%, live branches, 7.8%, bark and 84.6%, wood. The amounts of nutrients in the above-ground total biomass in kg ha⁻¹ were 213.73 of N, 47.31 of P, 209.8 of K, 737.6 of Ca and 74.8 of Mg. Nutrient concentration decreased as follows: leaves > bark > live branches > dead branches > wood. Regarding harvest, P, K and Ca are the elements most exported from the site.

Key words: *Eucalyptus grandis*, litter, biomass, nutrients.

1 INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus grandis*, pertencente à família das Myrtaceae, é uma árvore com altura média que varia de 43 a 55 m e diâmetro médio entre 1,2 e 1,8 m. O fuste é de cor clara, de boa forma, ocupando dois terços da altura total da árvore. As folhas juvenis são alternadas, com pecíolos curtos, lanceolados, e levemente onduladas. As adultas são bem semelhantes às folhas juvenis, tornando-se pouco mais longas e não mais onduladas.

As espécies do gênero *Eucalyptus*, introduzidas no Brasil para fins de reflorestamento, apresentam um ciclo de corte relativamente curto e com elevada produtividade (Schumacher & Poggiani, 1993).

O processo de arenização em áreas produtivas, decorrentes do mau uso do solo e dos demais recursos renováveis, vem ocorrendo há muito tempo. Porém, o crescimento da população e a necessidade de um sistema agrícola adequado tornaram este processo uma preocupação mundial.

No Rio Grande do Sul, os solos sujeitos à arenização ocupam área de aproximadamente 1.500 ha, ou seja, 5,2% do Estado. Essas áreas localizam-se no sudoeste do Estado, na zona fisiográfica denominada de Campanha. O processo de arenização deve-se à presença do substrato à base de Arenito de Botucatu, que é encoberto pela vegetação de gramíneas. No caso do município de Alegrete-RS, o uso das pastagens nativas com excesso de animais por hectare e o preparo excessivo do solo sem

práticas de conservação, como plantio direto e adubação verde, foram as principais causas do aumento das áreas sujeitas à arenização.

Na década de 1990, na localidade de São João, município de Alegrete, o setor privado realizou o plantio de aproximadamente 100 ha de eucalipto em áreas de desertificação. Nessas áreas, o estabelecimento desses plantios vem promovendo o acúmulo de serapilheira. Tal fato ameniza o impacto das gotas das chuvas sobre o solo, aumenta a infiltração de água, evita a erosão e possibilita o acúmulo de nutrientes no solo, fatos que auxiliam na sua sustentabilidade.

Pelo exposto, constata-se a necessidade de estudos que avaliem os aspectos silviculturais e ecológicos desses plantios na região sudoeste do Rio Grande do Sul, visando conhecer o melhor caminho para atingir a sustentabilidade.

Os objetivos deste trabalho foram: a) estimar a biomassa acima do solo, bem como determinar o teor dos nutrientes nos diferentes componentes da biomassa; e b) estimar a serapilheira acumulada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido em um plantio de *Eucalyptus grandis* com 9 anos de idade, plantado no espaçamento de 2,0 x 3,0 m, no município de Alegrete, Rio Grande do Sul,

situado entre as coordenadas geográficas 29°46'59"S e 55°46'43"W, a uma altitude de aproximadamente 90 m s.n.m (Figura 1). O clima da região é do tipo Cfa, com temperatura média anual de 18 °C, sendo a temperatura do mês mais quente superior a 23 °C e a do mês mais frio variando em torno de -3 a 18 °C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.570 mm (Moreno, 1961).

No local do estudo, o relevo apresenta-se plano no sentido norte-noroeste e levemente

ondulado no sentido leste-sudoeste. As elevações na parte sul são maiores, variando de 220 a 284 m s.n.m. As elevações na parte norte, ao longo rio Ibirapuitã, variam de 50 a 80 m s.n.m. (Souto, 1985).

O solo sob plantio pertence à Unidade de Mapeamento Cruz Alta (Embrapa, 1973), sendo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999). No Quadro 1 estão os resultados da análise química do solo.

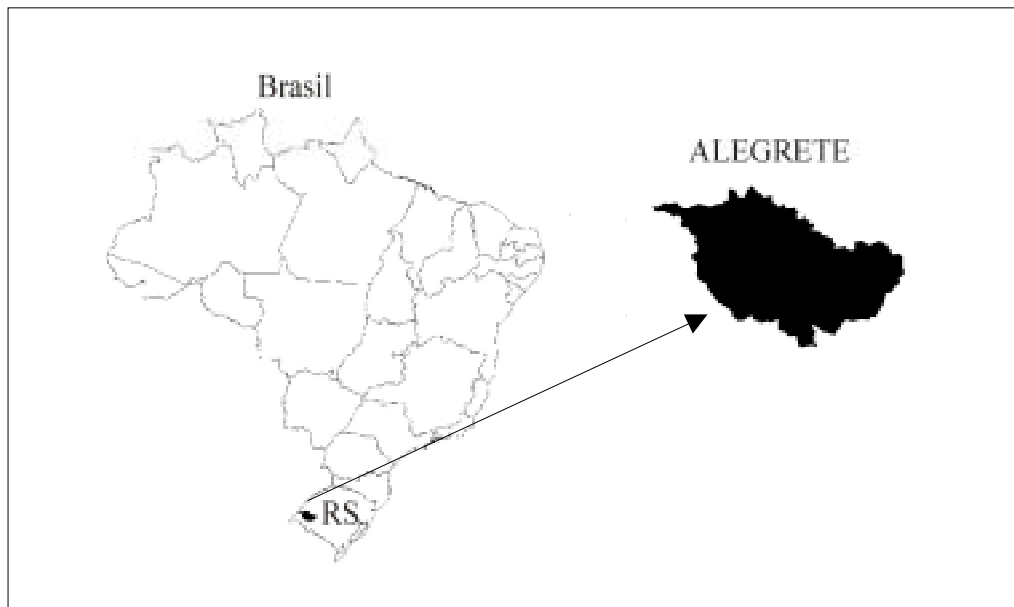


Figura 1 – Localização do município de Alegrete.
Figure 1 – Localization of the municipality of Alegrete.

Quadro 1 – Análise química do solo no local de plantio de *E. grandis*
Table 1 – Soil chemical analysis at *E. grandis* site

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	Argila (%)	MO ⁽¹⁾ (g kg ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Ca (cmol _c L ⁻¹)	Mg (cmol _c L ⁻¹)	Al (cmol _c L ⁻¹)	V ⁽²⁾ (%)
0-10	4,9	18	6,0	9,2	31	0,3	0,4	0,5	25
10-20	4,6	18	4,0	4,6	16	0,2	0,2	0,8	13
20-30	4,5	20	4,0	1,6	13	0,2	0,2	0,9	10
30-40	4,5	20	4,0	1,5	12	0,2	0,1	1,1	9
40-50	4,5	22	4,0	1,7	10	0,2	0,1	1,3	8

⁽¹⁾ matéria orgânica; e ⁽²⁾ saturação por bases.

2.2 Coleta dos dados

Na área de plantio foram selecionadas seis parcelas de 20 x 30 m. Nestas foram realizadas as medições do DAP (diâmetro à altura do peito) de todas as árvores e a da altura, em apenas 10% das árvores do povoamento, com o auxílio de hipsômetro, do tipo vertex.

Com relação ao DAP, as árvores foram agrupadas em oito classes diamétricas. Para este trabalho, foram escolhidas três árvores de cada classe diamétrica (Quadro 2).

2.3 Coleta da serapilheira

As amostras de serapilheira acumulada foram coletadas em três pontos sob a projeção da copa de cada uma das 24 árvores selecionadas, para determinação de biomassa. Para isto foi utilizada uma moldura de ferro de 25 x 25 cm. O material coletado dentro da moldura foi armazenado em sacos de papel pardo, etiquetado e posteriormente levado ao laboratório para ser seco em estufa de circulação forçada de ar, a 75 °C, sendo depois pesado em balança de precisão com 0,01 g.

2.4 Determinação da biomassa acima do solo por árvore

Foram selecionadas 24 árvores, ou seja, três árvores por classe diamétrica. Uma vez selecionadas, as árvores foram abatidas e mensuradas quanto à altura total e à altura do primeiro galho vivo.

Na parte intermediária da copa das árvores, nos quatro pontos ortogonais, foram coletadas folhas para a análise química. Os galhos foram separados do tronco e classificados como vivos (verdes) e mortos (secos). Dos galhos vivos foram coletadas todas as folhas. O tronco foi amostrado, realizando-se coletas de discos em diferentes posições, como: aos 10,0 cm da base, posteriormente aos 30,0 cm e depois em intervalos de 2,0 m, até o ápice da árvore. Destes discos foram separadas a casca

Quadro 2 – Distribuição diamétrica das árvores do povoamento de *E. grandis*

Table 2 – *Diametrical distribution of E. grandis stand trees*

Classes de DAP (cm)	Número de Árvores ha ⁻¹	(%)
4,77 – 7,77	81	5,64
7,78 – 10,78	189	13,16
10,79 – 13,79	231	16,09
13,80 – 16,80	303	21,10
16,81 – 19,81	356	24,79
19,82 – 22,82	181	12,60
22,83 – 25,83	81	5,64
25,84 – 28,84	14	0,98
Total	1.436	100

e a madeira, e cada componente teve sua massa fresca devidamente aferida no campo, com o uso da balança de gancho. No campo também foram pesadas as amostras de folhas, galhos vivos e galhos mortos. Todo material foi amostrado e pesado no campo, em balança de precisão.

2.5 Determinação da biomassa acima do solo por unidade de área (hectare)

A biomassa acima do solo por unidade de área (hectare) foi calculada pelo modelo de regressão $\ln y = b_0 + b_1 * \ln DAP + b_2 * \ln H$ (Quadro 3), em que $\ln y$ = logaritmo natural do peso (biomassa) dos componentes folhas, galhos vivos e mortos, casca e madeira, em kg; b_0 , b_1 e b_2 = coeficientes do modelo; $\ln DAP$ = logaritmo natural do diâmetro à altura do peito; e $\ln H$ = logaritmo natural da altura total, em metros.

Foram utilizadas 24 árvores, representativas das classes diamétricas, para estimar a biomassa de cada componente das árvores que não foram pesadas dentro de cada parcela. A biomassa por hectare foi calculada com base na biomassa das parcelas amostradas.

Quadro 3 – Parâmetros estatísticos do modelo de regressão ($\ln y = b_0 + b_1 * \ln DAP + b_2 * \ln H$) utilizado para quantificar a biomassa acima do solo em *E. grandis*

Table 3 – Statistical parameters of the regression model ($\ln y = b_0 + b_1 * \ln DAP + b_2 * \ln H$), used to quantify above soil biomass in *E. grandis*

Componente	b ₀	b ₁	b ₂	R ₂ (%)	Syx	F	Sign ⁽¹⁾
Folhas	-6,39632	3,13632	-0,31621	88,0	0,5	84,58	**
Galhos Vivos	-5,08185	4,22198	-1,68691	90,0	0,5	85,26	**
Galhos Mortos	7,68662	4,87016	-7,17710	38,0	1,01	1,96	NS ⁽²⁾
Casca	-7,79928	1,63812	1,68143	87,0	0,5	74,05	**
Madeira	-5,48705	1,72501	1,62255	97,0	0,2	402,21	**

⁽¹⁾ Significativo a 1% de probabilidade; e ⁽²⁾ não-significativo a 1% de probabilidade.

2.6 Determinação dos nutrientes e análises químicas

As amostras de cada componente da biomassa e da serapilheira acumulada foram colocadas em sacos de papel, levadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais – UFSM, Santa Maria-RS, e, posteriormente, colocadas para secar na estufa de circulação forçada de ar a 75 °C, até peso constante. Em seguida, foram trituradas em moinho do tipo Wiley, passadas em peneiras de malha 1,0 mm (20 mesh) e armazenadas em frascos de vidro para subsequente análise química (Miyazawa et al., 1999).

As análises químicas de tecido vegetal de N, P, K, Ca e Mg foram determinadas por digestão úmida. As análises de N e carbono orgânico foram feitas por titulação. O N foi determinado pelo método Kjeldahl, chamado também de digestão sulfúrica, usando o destilador de nitrogênio e o carbono orgânico com adição de dicromato de potássio e ácido sulfúrico aquecido a 150 °C no bico de Bunsen. As amostras de K foram lidas no fotômetro de chama e as de P no espectrofotômetro UV-VIS, enquanto no espectrofotômetro de absorção atômica (EAA) foram lidas as amostras de Ca e Mg (Tedesco et al., 1995; Miyazawa et al., 1999).

2.7 Determinação da quantidade de nutrientes na biomassa acima do solo

A quantidade de nutrientes, em kg ha⁻¹, nos componentes da biomassa acima do solo foi calculada em função da biomassa total (kg ha⁻¹) e do teor dos nutrientes determinado para cada componente da biomassa. A soma dos valores dos nutrientes para cada componente da biomassa forneceu a sua quantidade total (kg ha⁻¹).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Serapilheira acumulada e nutriente

A quantidade média de serapilheira acumulada no povoamento de *E. grandis* foi de 5,41 Mg ha⁻¹ (Quadro 4). Resultados diferentes foram encontrados por Andrade (1982), com *Eucalyptus saligna* (19,5 Mg ha⁻¹). Porém, a serapilheira acumulada do presente estudo foi similar à do trabalho de Cunha (1997) em capoeirão com 19 anos de idade (5,62 Mg ha⁻¹) e em uma floresta secundária com mais de 30 anos (6,0 Mg ha⁻¹).

As taxas de serapilheira acumulada nos solos de plantações florestais podem variar significativamente entre diferentes espécies,

nos mesmos sítios. Em geral, o *Eucalyptus*, o *Pinus* e a *Casuarina* acumulam mais serapilheira que muitas outras espécies de plantações, o que, segundo O'connell & Sankaran (1997), provavelmente é causado pela composição química das folhas de eucalipto, que possuem uma decomposição lenta.

A variação na quantidade de serapilheira acumulada nos solos florestais entre as diferentes plantações tropicais expressa a influência dominante das características das espécies, da idade dos povoamentos, da taxa de incremento, das condições climáticas e das propriedades dos solos. A serapilheira acumulada sobre uma grande variação de espécies, idades e sítios está entre $< 1,0$ e 22 Mg ha^{-1} (O'connell & Sankaran, 1997).

A queda de acículas, ramos, folhas e outros componentes da biomassa acima do solo é uma estratégia da planta para evitar perda excessiva de água através da transpiração e evapotranspiração. Além dos fatores fisiológicos, outros fatores também podem atuar sobre a queda da serapilheira, como ventos fortes, granizo etc.

A serapilheira acumulada em *E. grandis* representa a principal via de transferência de $\text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{K} > \text{P}$ para o solo (Quadro 4). O'connell & Sankaran (1997), em estudo realizado com *Eucalyptus* spp. de 4 a 75 anos, na Austrália, na Índia e em Porto Rico, constataram que a serapilheira acumulada foi a

principal via de transferência de $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ para o solo. Cole & Rapp (1980) apontaram a serapilheira como principal via de transferência de C, N, P e Ca para o solo. No entanto, segundo Kimmins (1987), através da deposição da serapilheira ocorrem as maiores devoluções de N, Ca e Mg da planta para o solo.

Foram observados baixos teores de K na serapilheira acumulada, o que pode estar relacionado com a mobilidade do elemento, tornando-o sujeito à lixiviação ou à reabsorção rápida. Neste sentido, Upadhyay (1982), estudando a decomposição de serapilheira em *E. globulus*, na Índia, observou que a taxa de liberação de nutrientes não ocorre uniformemente. O K e o Na são liberados mais rapidamente, ocasionando uma mineralização mais rápida.

Na serapilheira, o nutriente mais abundante é o Ca, sendo sua quantidade 3, 61, 19 e 31 vezes superior à dos nutrientes N, P, K e Mg, respectivamente. Nutrientes como Ca, Fe e Mn possuem baixa mobilidade nas folhas não-decíduas. Estes se encontram imobilizados no folheto (folhas decíduas, serapilheira), cujos valores são superiores aos das folhas da copa. O fato de o Ca ser o nutriente menos redistribuído é explicado pela sua baixa mobilidade. Para Attiwill et al. (1978), como o Ca está associado à lignificação das paredes celulares,

Quadro 4 – Quantidade de serapilheira acumulada e quantidade de nutrientes na serapilheira de *E. grandis*

Table 4 – Accumulated litter amount and litter nutrient amount in *E. grandis*

Parcela	Serapilheira (Mg ha^{-1})	Nutrientes (kg ha^{-1})				
		N	P	K	Ca	Mg
1	4,45	28,81	1,36	4,11	75,78	6,11
2	6,60	33,68	1,81	6,09	127,38	9,06
3	5,57	33,94	1,57	5,14	93,38	7,23
4	5,46	33,21	1,58	5,04	90,86	7,50
5	5,07	31,47	1,47	4,68	87,88	6,96
6	5,34	30,67	1,51	4,93	91,78	7,34
Média	5,41	31,96	1,55	4,99	94,47	7,36
CV (%)	-	5,75	8,85	11,86	16,72	11,94

isto é, faz parte da estrutura da folha, ele não é redistribuído para as partes novas em crescimento da planta, antes da abscisão foliar.

A quantidade de nutrientes presentes na serapilheira depende da espécie, da capacidade de translocação dos nutrientes antes da senescência, do solo e da proporção de folhas em relação aos demais componentes (Schumacher, 1992) e do clima da região (O'connell & Sankaran, 1997).

Para algumas espécies, segundo O'connell & Sankaran (1997), a quantidade de nutrientes na serapilheira nem sempre mostra uma correlação com a taxa de acumulação no solo florestal, o que indica que a imobilização microbiana pode ser um fator importante na influência do acúmulo de nutrientes.

3.2 Biomassa acima do solo

A biomassa total acima do solo em um povoamento de *E. grandis*, aos 9 anos de idade, foi de 142,31 Mg ha⁻¹. A maior contribuição para a biomassa total acima do solo foi da madeira, seguida da casca, dos galhos vivos, das folhas e dos galhos mortos (Quadro 5). Resultados não-similares sobre a produção de biomassa acima do solo foram encontrados por Resende et al. (1983) com *Eucalyptus grandis*, aos 3,5 anos de idade.

Quadro 5 – Biomassa média acima do solo de *E. grandis* e suas respectivas porcentagens em relação à biomassa total

Table 5 – Above soil mean biomass of *E. grandis* and respective percentages in relation to total biomass

Componentes da Biomassa	kg ha ⁻¹	(%)
Folha	2,31	1,7
Galhos Vivos	7,72	5,4
Galhos Mortos	0,67	0,5
Casca	11,15	7,8
Madeira	120,46	84,6
Total	142,31	100

Contudo, resultados bem semelhantes sobre a biomassa acima do solo do *E. grandis* foram encontrados por Schumacher (1995) com *E. saligna*, aos 7 anos de idade, plantado no Horto Florestal Francisquinho, Rio Grande do Sul. A biomassa total acima do solo deste eucalipto foi de 140,33 Mg ha⁻¹, sendo a maior contribuição da madeira > casca > ramos > folhas. O mesmo autor observou que a biomassa acima do solo de *E. saligna*, aos 7 anos de idade, plantado no Horto Florestal Barba Negra, Rio Grande do Sul, foi de 136,89 Mg ha⁻¹, tendo a maior contribuição da biomassa sido da madeira > casca > ramos > folhas.

Nas árvores de *E. grandis*, em função da alta porcentagem de casca, a biomassa alocada nesse componente foi superior à biomassa dos galhos (Quadro 5). Essa observação também foi verificada por Schumacher & Poggiani (1993), em um povoamento de *E. grandis* estabelecido em Anhembi-SP; e por Schumacher (1995), em povoamentos de *E. saligna* e *E. dunnii*, com 7 anos de idade; e de *E. saligna* e *E. dunnii*, com 7 anos de idade.

Geralmente a biomassa acima do solo é distribuída na seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas (Curlin, 1970). A distribuição da biomassa nos diferentes órgãos da planta, de acordo com Abrahamson & Gadgil (1973), varia de espécie para espécie e até mesmo em uma população da mesma espécie, bem como em função das condições edafoclimáticas, da procedência (Caldeira, 1998), das características ecofisiológicas das espécies e do número de árvores por hectare (Schumacher, 1995). A biomassa acumulada é afetada por todos os fatores que prejudicam a fotossíntese e a respiração (Kozłowski & Pallardy, 1996).

A biomassa da copa (folhas + galhos vivos + galhos mortos) e a biomassa do fuste (casca + madeira) representam, respectivamente, 7,6 e 92,4% da biomassa total acima do solo do povoamento de *E. grandis* (Quadro 5). Resultados semelhantes aos do presente estudo foram observados por Schumacher (1992) em

E. grandis, aos 9 anos de idade, em que a porcentagem de biomassa do fuste representou, em média, 90% do total produzido, enquanto a biomassa da copa representou apenas 10% da biomassa total.

3.3 Nutrientes na biomassa acima do solo

Dos nutrientes analisados nos componentes da biomassa acima do solo das árvores de *E. grandis*, constatou-se que os maiores teores de N e K estão nas folhas (Quadro 6). As necessidades das árvores em relação aos nutrientes são bastante variáveis de espécie para espécie. Neste sentido, a mesma seqüência não foi observada por vários autores, em diferentes espécies: Tandon et al. (1988), em *E. grandis*; e George & Varghese (1990), em *E. globulus*.

Os teores dos nutrientes nas folhas das árvores são influenciados por diversos fatores, como condições de sítio, idade e posição das folhas na copa, época do ano (Bellote, 1990; Amaral, 1996; Vezzani, 1997) e, também, entre procedências (Caldeira, 1998).

Os maiores teores de Ca em relação aos outros componentes da biomassa acima do solo em *E. grandis* foram observados na casca do tronco (Quadro 6). Entretanto, essa constatação também foi verificada por Leles et al. (1995) em *E. camaldulensis* e *E. pellita*. Os maiores teores de Ca na casca, em relação aos outros componentes da biomassa (Quadro 6), são

resultados da sua baixa mobilidade no floema, pelo fato de ele ser um elemento menos redistribuído nos tecidos das plantas. Como comentado, o Ca está associado à lignificação das paredes celulares, o qual faz parte da estrutura da folha, no entanto ele não é redistribuído para as partes novas em crescimento da planta antes da abscisão foliar. Em povoamentos jovens de *Acacia mearnsii*, dos nutrientes analisados, o Ca foi o menos redistribuído antes da abscisão foliar (Caldeira et al., 1999a, b).

No Quadro 6 pode-se constatar que os maiores teores de Mg estão na casca, e não nas folhas. É comum observar que os maiores teores de Mg estão nas folhas pelo fato de este elemento fazer parte do componente fotossintético, ou seja, de ele fazer parte da estrutura das clorofilas *a* e *b* (Salisbury & Ross, 1992), o que também foi observado em diferentes espécies e idades (Turvey & Smethurst, 1994; Pereira et al., 2000).

O elevado teor, bem com o conteúdo de nutrientes nas folhas em relação a outros componentes da biomassa acima do solo, faz que elas tenham o maior potencial de ciclagem de nutrientes, embora este represente um pequeno percentual em relação à biomassa total das árvores (Quadros 6 e 7) (Kozłowski & Pallardy, 1996; Froufe et al., 1998; Pereira et al., 2000). Nas folhas encontra-se a maioria das células vivas, que tendem a acumular maiores teores de nutrientes, em função dos processos de transpiração e fotossíntese (Kozłowski & Pallardy, 1996).

Quadro 6 – Teor médio de nutrientes nos componentes da biomassa acima do solo de *E. grandis*
Table 6 – Mean nutrient content in above soil biomass of *E. grandis*

Componentes da Biomassa	Nutrientes (g kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
Folhas	18,71	1,01	7,11	27,75	3,19
Galhos Vivos	4,12	0,67	2,88	14,97	1,73
Galhos Mortos	4,74	0,19	1,11	13,45	1,50
Casca	3,27	1,29	3,40	33,63	3,29
Madeira	0,82	0,21	1,10	1,50	0,13

Pode-se observar, no Quadro 7, que as maiores quantidades totais de todos os nutrientes analisados na biomassa acima do solo em *E. grandis* seguem a seguinte ordem: Ca > N > K > Mg > P. Essa ordem não é similar à dos trabalhos realizados com *Eucalyptus globulus* ssp. *bicostata* (Schumacher, 1998). As quantidades totais dos nutrientes são em função da produção de biomassa e dos teores dos nutrientes nos componentes da biomassa.

A copa acumula, em média, 25,7% do total de nutrientes, porém os 74,4% restantes são acumulados no fuste (madeira e casca) (Quadro 7). Em povoamentos jovens a copa possui mais de 50% da quantidade total dos nutrientes (Resende et al., 1983; Reis & Barros, 1990; Pereira et al., 2000), o que segundo Otto (1984), pode ser explicado pelo fato de durante a fase juvenil de um povoamento florestal uma grande parte da alocação de carboidratos, resultante da fotossíntese, ser canalizada para a produção de biomassa da copa. Porém, com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa do tronco aumenta e a das folhas e dos ramos diminuem gradativamente.

Árvores de *E. grandis* acumulam grandes quantidades de Ca e K no fuste em relação a outros nutrientes e a outros componentes da biomassa acima do solo (Quadro 7), o que pode ocorrer em função da alta produção de biomassa do fuste em relação à biomassa da copa,

bem como pelo fato de o Ca apresentar grande teor na casca. Neste sentido, no fuste de povoamentos adultos de *Eucalyptus* sp. acumula-se grande quantidade de K, conforme estudo realizado por Schumacher (1995).

3.4 Implicações ecológicas e silviculturais

As exportações da colheita no povoamento de *E. grandis*, em função das diferentes intensidades de colheita de biomassa acima do solo, estão no Quadro 8. Se por ocasião da colheita for removida somente a madeira, que retém 63% do K acumulado pela planta, o risco de esgotamento desse nutriente pode ser menor neste povoamento.

Quadro 8 – Exportação de nutrientes em virtude da colheita da madeira do tronco (sem casca e com casca)

Table 8 – Nutrient export through harvest of trunk wood (with and without bark)

Nutriente	Madeira do Tronco sem Casca	Madeira do Tronco com Casa
	(%)(¹)	
N	21	70
P	24	75
K	63	81
Ca	53	83
Mg	46	55

(¹) Valores em porcentagem referem-se à quantidade de nutrientes exportados, considerando o estoque total de nutrientes da biomassa acima do solo.

Quadro 7 – Quantidade de nutrientes acumulados nos componentes da biomassa acima do solo de *E. grandis*

Table 7 – Amount of nutrients accumulated in *E. grandis* above soil biomass components

Componentes da Biomassa	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Nutrientes (kg ha ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg
Folhas	2,31	43,27	2,33	16,44	57,24	7,33
Galhos Vivos	7,72	32,04	5,17	22,24	115,59	13,40
Galhos Mortos	0,67	3,18	0,13	0,74	9,02	1,00
Copa	10,70	78,49	7,63	39,42	181,85	21,73
Casca	11,15	36,47	14,39	37,92	375,10	36,69
Madeira	120,46	98,77	25,29	132,50	180,70	15,66
Fuste	131,61	135,24	39,68	170,42	555,80	52,35
Total	142,31	213,73	47,31	209,84	737,65	74,08

No Quadro 8 pode-se observar que o método de exploração mais indicado para manter o máximo de nutrientes no sítio é aquele em que é removida somente a madeira do tronco das árvores, uma vez que neste método, independentemente da espécie, do sítio e da idade, observa-se que os mais exportados são o N, P e o K (Schumacher, 1995).

Na hipótese de uma colheita sem e com a remoção da casca das árvores de *E. grandis*, observa que as maiores exportações ocorrem com o elemento P, passando de 24 para 75%. Logo em seguida vem o K com 65, passando para 81%, e o N passando de 21 para 70%. No entanto, o elemento que sofreu maior variação na exploração foi o Ca, de 53 para 83%.

A grande variação na exploração do Ca é justificada pelo fato de a casca apresentar maior quantidade desse nutriente. Tal constatação também foi verificada em diferentes procedências de *Acacia mearnsii* (Caldeira, 1998) e *Eucalyptus* sp. com diferentes idades (Schumacher, 1995). Considerando a retirada do fuste, isto é, madeira e casca, deveria-se realizar o descasque das árvores no campo para diminuir a exportação do Ca. Desta forma, solos com menores teores de Ca poderiam ter a sua produtividade preservada por período de tempo mais longo.

A variação na quantidade de nutrientes exportados por *E. grandis* pode ser resultante da quantidade de biomassa produzida e de sua capacidade de absorção, distribuição e utilização de nutrientes, pois quanto maior a quantidade de biomassa retirada do povoamento maior é a tendência de ocorrer exportação de nutrientes do sistema.

A remoção dos nutrientes para fora do sítio, mediante a colheita de madeira com casca, está fortemente relacionada com a idade das árvores e com o teor dos nutrientes nos componentes da biomassa acima do solo.

Segundo Valeri (1988), a permanência dos resíduos de exploração florestal no campo é de

grande importância para ciclagem de nutrientes, pois eles acumularam cerca de 17,8, 16,4 e 16,2% do total dos nutrientes estimados na biomassa acima do solo das árvores de *Pinus taeda* com diferentes idades (7, 10 e 14 anos), antes do primeiro, segundo e terceiro desbaste, respectivamente. Entre os resíduos de exploração, as acículas e as folhas são de maior importância para a ciclagem de nutrientes, principalmente com relação ao N, P, K, Mg, Mn, Cu e Zn. Além de as acículas apresentarem a maior proporção destes nutrientes, a sua velocidade de decomposição é mais rápida que a dos ramos (Baker & Attiwill, 1985).

4 CONCLUSÕES

As folhas, os galhos vivos e os galhos mortos acumularam, em média, 25,7% do total de nutrientes, enquanto a casca e a madeira do tronco acumularam os 74,4% restantes.

Os maiores teores de Ca foram na casca e as maiores quantidades foram na casca e na madeira, respectivamente.

Em ordem decrescente, o acúmulo de serapilheira no povoamento de *E. grandis* foi responsável pelo aporte de Ca, N, Mg, K e P para o solo.

O sistema de colheita da madeira com casca, deixando no sítio os resíduos (galhos e folhas), apresentou as maiores exportações de nutrientes em relação à colheita de madeira sem casca, pois pela retirada da madeira com casca a exportação porcentual de Ca ultrapassa 200%, comparando com a colheita somente da madeira. Portanto, em rotações futuras o sítio pode apresentar possíveis deficiências desses nutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAMSON, W. G.; GADGIL, M. Growth and reproductive affect in goldenrods solidago (Compositae). *American Naturalist*, v. 107, p. 651-661, 1973.

- AMARAL, F. C. S. et al. Comparação entre a concentração de nutrientes das folhas e do folheto do jacaranda-da-bahia (*Dalbergia nigra*) e cabreúva (*Myroxylon peruiferum*). In: SOLO SUELO – CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos Expandidos...** Águas de Lindóia: 1996. CD-Rom.
- ANDRAE, F. Zweitinventur eines *Eucalyptus saligna* Bestandes in Südbrasilien. **Centralblatt für das Gesamte Forstwesen**, v. 9, n. 4, p. 193-217, 1982.
- ATTIWILL, P. M.; GUTHRIE, H. B.; LEUNING, R. Nutrient cycling in a *Eucalyptus obliqua* (L'Herit) forest. I. Litter production and nutrient return. **Australian Journal of Botany**, v. 261, p. 79-91, 1978.
- BELLOTE, A. F. J. **Suprimento de nutrientes minerais e crescimento de plantações adubadas de *Eucalyptus grandis* nos cerrados do Estado de São Paulo**. 1990. 166 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Freiburg, Freiburg, 1990.
- CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild)**. 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Comparação entre as concentrações de nutrientes nas folhas e no folheto em um povoamento de *Acacia mearnsii* (De Wild.). **Revista Árvore**, v. 23, n. 4, p. 489-492, 1999a.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em povoamento comercial de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 19-24, 1999b.
- COLE, D. W.; RAPP, M. Elemental cycling in forested ecosystems. In: REICHLE, D. E. (Ed.) **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1980. p. 341-409.
- CUNHA G. C. **Aspetos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma floresta Estacional do Rio Grande do Sul**. 1997. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, 1997.
- CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: YOUNGBERG, C. T.; DAVEY (Eds.) **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p. 313-326.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMPBRAPA. Departamento Nacional de Pesquisa agropecuária. **Levantamento de solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMPBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação / levantamento de solos**. Rio de Janeiro: 1999. 412 p.
- FROUFE, L. C. M. et al. Reciclagem de nutrientes via folhas - serapilheira de *Eucalyptus grandis* e *Albizia guachapele* cultivados em sistemas puros e consorciados. FertBio 98: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS; 23., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., Caxambú. **Resumos expandidos...** Caxambú: 1998. p. 559.
- GEORGE, M.; VARGHESE, G. Nutrient cycling in *Eucalyptus globulus* plantations. I. Organic matter production, nutrients accumulation in standing crop and nutrients removal through harvest. **Indian Forester**, v. 116, n. 1, p. 42-48, 1990.
- KIMMINS, J. P. **Forest Ecology**. New Work: Collier Macmillan, 1987. 531 p.
- KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1996. 432 p.
- LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Distribuição de nutrientes em *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos, na região de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Resumos Expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 862-863. 1158 p.

- MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas micas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Ed) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p. 171-223, 370 p.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.
- O'CONNELL, A. M.; SANKARAN, K. V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. (Eds.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantations forests**. Canberra, ACIAR Australia/CSIRO, 1997. p. 443-480. (Monograph, 43)
- PEREIRA, J. C. et al. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 193-199, 2000.
- REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantas de eucaliptos. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1990. p. 265-296.
- RESENDE, G. C. et al. Produção e macronutrientes em florestas de eucalipto sob duas densidades de plantio. **Revista Árvore**, v. 7, p. 165-196, 1983.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. Belmont, California: Wadsworth Publishing Company, 1992. 682 p.
- SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Mesell**. 1992. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.
- SCHUMACHER, M. V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *bicostata*. **Revista Árvore**, v. 22, n. 2, p. 281-286, 1998.
- SCHUMACHER, M. V. **Nährstoffkreislauf in verschiedenen Beständen von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globulus* (Labillardière) in Rio Grande do Sul, Brasilien**. 1995. 167 f. Tese (Doutorado) – , 1995.
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus terrelliana*, plantados em Anhembi-SP. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993.
- SOUTO, J. J. **Deserto, uma ameaça?** Estudos de núcleos de desertificação na fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: DRNR: Diretoria Geral, Secretaria da Agricultura, 1985. 172 p.
- TANDON, V. N.; PANDE, M. C.; SINGH, R. Biomass estimation and distribution of nutrient in five different aged *Eucalyptus grandis* plantations in Kerala State. **Indian Forester**, v. 114, n. 4, p. 184-199, 1988.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).
- TURVEY, N. D.; SMETHURST, P. J. Nutrient concentrations in foliage, litter and soil in relations to wood production of 7 to 15 year old *Pinus radiata* in Victoria, Australia. **Australian Forestry**, v. 57, n. 4, p. 157-164, 1994.
- UPADHYAY, R. K. Release of nutrition elements from decomposition leaf litter of *Eucalyptus globules*. **Indian Forester**, v. 108, p. 550-553, 1982.
- VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades**. 1988. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- VEZZANI, F. M. **Aspectos nutricionais de povoamentos puros e mistos de *Eucalyptus saligna* (Smith) e *Acacia mearnsii* (De Wild)**. 1997. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.