

Parâmetros da copa e a sua relação com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades

Crown parameters and their relationship with diameter and height of *Eucalyptus* trees at different agesCharlotte Wink¹, Josita Soares Monteiro¹, Dalvan José Reinert² e Ednilson Liberalesso³**Resumo**

Conhecer os parâmetros da copa como a área de projeção, a percentagem, e o formal de copa, o grau de esbeltez, o índice de abrangência, o índice de saliência e o índice de espaço vital é importante para o entendimento das relações ecológicas de crescimento das árvores. Assim, a biomassa de folhas, ou área de assimilação, pode estar relacionada à área de alburno e possivelmente ao diâmetro à altura do peito (DAP). O objetivo do trabalho foi determinar os parâmetros da copa e a relação da área de alburno, da área foliar e da biomassa de folhas com o diâmetro à altura do peito e com a altura das árvores, em plantações florestais de *Eucalyptus* sp., de diferentes idades (20, 44 e 240 meses). Foi quantificada a biomassa de folhas, medidos o DAP, a altura total, a altura da inserção da copa, raios de copa, a área de alburno e a área foliar a cada terço de copa. Com estes dados calcularam-se os parâmetros de copa nas diferentes idades, avaliando a relação da área de alburno, da área foliar e da biomassa de folhas com o DAP e a altura das árvores. O acúmulo de biomassa foliar nas florestas de eucalipto apresentou um aumento com o crescimento das florestas. Existem diferenças significativas entre as florestas de eucalipto de diferentes idades quando avaliados os parâmetros morfométricos da copa. Há uma relação entre a biomassa total de folhas, a área foliar, e a área de alburno, com o DAP e com a altura das árvores nos diferentes terços da copa, nas plantações de eucalipto com diferentes idades.

Palavras-chave: Biomassa; área foliar; alburno.

Abstract

Knowing crown parameters such as the projection area; the percentage and crown formal; slenderness degree; the rate of coverage; the salience index and the index of living space is important for understanding the ecological relationships of tree growth. Thus, leaves' biomass or area of assimilation may be related to sapwood area and possibly to the diameter at breast height (DBH). The objective of this paper was to determine crown parameters and the ratio of sapwood area, the leaf area and leaf biomass related to diameter at breast height and height of trees in forest plantations of *Eucalyptus* sp. at different ages (20, 44 and 240 months). Quantified were: the biomass of leaves; measured DBH; total height; the height at the crown; the crown radius; the sapwood area and leaf area at each crown third. With these data we calculated the crown parameters, which were compared, at different ages. Evaluated were also the ratio of sapwood area; leaf area; leaf biomass to DBH and height of the tree. The accumulation of leaf biomass in the forests of *Eucalyptus* showed an increase with the growth of forests. Evaluating morphometric parameters of the crown, we found significant differences among the *Eucalyptus* forests of different ages. There is a relationship between the total biomass of leaves, between leaf area and between sapwood area, with diameter at breast height (DBH) and height of trees in different thirds of the crown in different aged *Eucalyptus* plantations.

Keywords: Biomass; leaf area; sapwood area

INTRODUÇÃO

Dos seus 851 milhões de hectares, o Brasil possui mais de 6 milhões de hectares de florestas plantadas de pinus e eucalipto (SBS,

2006), sendo que no Rio Grande do Sul a área coberta com florestas de eucalipto já supera a área com pinus (ABRAF, 2010), com o eucalipto destacando-se por sua fácil adaptação e rápido crescimento.

¹Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Av. Roraima, 1000, Bairro Camobi, CEP 97.105-900, Santa Maria, RS - E-mail: charlotewink@yahoo.com.br; jositasm@yahoo.com.br

²Prof. Adjunto, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Av. Roraima, 1000, Bairro Camobi, CEP 97.105-900, Santa Maria, RS - E-mail: dalvan@ccr.ufsm.br

³Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Av. Roraima, 100, Bairro Camobi, CEP 97.105-900, Santa Maria, RS - E-mail: edliberalesso@yahoo.com.br

Desse modo é importante reconhecer os fatores que influenciam no processo de crescimento das florestas, principalmente aqueles que se relacionam com a forma da copa das árvores. Portanto para o crescimento e a produção florestal pode-se considerar o termo biomassa como a massa vegetal, viva ou morta, animal e vegetal, e o termo “florestal” designa-se ao material do compartimento arbóreo (SANQUETTA, 2002), sendo sua quantidade acumulada variável entre os diferentes tipos florestais. Além disso, existem variações de acúmulo de biomassa nos diferentes compartimentos (casca, madeira, galhos e folhas) das árvores, com o crescimento das árvores, especialmente em florestas de *Eucalyptus* no Congo (LACLAU *et al.*, 2000). Tais levantamentos são importantes, pois as estimativas da biomassa da copa podem ser determinadas a partir do estudo das relações morfométricas, como altura total, altura da copa, diâmetro da copa com a altura total e o diâmetro à altura do peito (DAP). Desse modo os primeiros trabalhos de mensuração de partes de copas são de Assmann (1970), que utilizou os dados obtidos para estudos de morfologia e a eficiência de incremento, e observando relação da área foliar com sítio, clima, idade, e tipo de floresta.

A área foliar de uma planta depende do número e do tamanho das folhas, sendo que sua variação dependerá da espécie, das condições edafoclimáticas e da densidade populacional, principalmente em áreas agrícolas (MONTEIRO *et al.* 2005). Para esses autores, quanto mais rápido a plantação atingir o ótimo do índice de área foliar (IAF) e maior for o tempo de atividade dessa área maior será a produção biológica, pois esta condição ecológica está relacionada ao processo da fotossíntese. Neste sentido, Oliveira *et al.* (2008) obtiveram alta correlação por cepa de eucalipto com a biomassa de folhas, de galhos e de troncos. A biomassa de folhas apresentou resultados semelhantes ao da área foliar, comparando a idade das brotações e a intensidade da desbrota. Nesse estudo, os autores afirmam que, em alguns casos, o aumento na biomassa de folhas mesmo havendo diminuição de área foliar, pode estar relacionado à maior espessura das folhas remanescentes.

Quanto aos parâmetros da forma da copa, existem trabalhos que relacionam tal variável com a dimensão das árvores, importantes, pois se relacionam a estabilidade, a vitalidade e a produtividade, além de permitir a criação de modelos de concorrência e crescimento dos indivíduos

(DURLO, 2001). Além disso, Durlo e Denardi (1998) apresentam o diâmetro, a projeção, o volume e a porcentagem de copa, o grau de esbelte e o índice de saliência como descritivos da morfometria das árvores. Desse modo estudos envolvendo a relação das características da copa, como o peso de folhas ou a sua área foliar, com a área do alburno, pelo razão de que o alburno apresenta células ativas de condução de água. Essa relação é dada por Shinozaki *et al.* (1964), que investigou a relação da área de alburno com a área ou massa das folhas da copa, também conhecido como “Pipel Model”. Eckmüller e Sterba (2000) correlacionaram a área de alburno com o peso de folhas para *Picea* sp., evidenciando que essa relação independe da classe sociológica da árvore, do sítio, da idade e da copa. Tais relações permitem aperfeiçoar ou aprimorar os estudos que envolvem o crescimento das árvores em florestas homogêneas de eucalipto, bem como fazer uma estimativa mais direta da área foliar, do alburno, ou até da biomassa de folhas, sem a necessidade de corte das árvores. Já Long e Smith (1990) afirmam que a área foliar é influenciada pelo número de árvores na floresta e pela qualidade do sítio o que resulta na produtividade, especialmente de madeira, de florestas de *Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm. Para esses autores a proporção de folhagem para a biomassa da copa total foi inversamente proporcional ao tamanho médio da copa. Já Marshall e Waring (1986) estudando a estimativa do índice de área foliar em florestas senis de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco, encontraram que o método de estimativa a partir do diâmetro da árvore é melhor estimador quando comparado aos métodos da serapilheira, da interceptação da luz e da área transversal do alburno. Apesar disso, esses autores concluem que para árvores de grande porte com quantidades variáveis de copa viva, as estimativas de área foliar com base no diâmetro da árvore podem ser imprecisas, indicando, portanto o método de estimativa pela área transversal do alburno como um melhor estimador, sendo que as estimativas máximas do índice de área foliar (IAF) baseadas na área de alburno são semelhantes a de outras florestas de coníferas.

O objetivo deste trabalho foi determinar os parâmetros da copa em diferentes posições, bem como determinar a relação da área de alburno, da área foliar e da biomassa de folhas com o diâmetro à altura do peito e com a altura das árvores, em plantações florestais de *Eucalyptus* sp., de diferentes idades.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em plantações florestais homogêneas de eucalipto com 20, 44 e 240 meses de idade, implantadas sobre campo em março de 2008, na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, FEPAGRO FLORESTAS, situada na localidade de Boca do Monte, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, nas coordenadas de $-54^{\circ} 15'$ de longitude e $-29^{\circ} 30'$ de latitude, com altitude de 90 a 135 metros. O clima é classificado como subtropical úmido do tipo Cfa, pela classificação de Köppen, com condições úmidas freqüentes e chuvas bem distribuídas no ano. A temperatura média é de 19°C , e a precipitação anual está entre 1300 e 1800 mm (MORENO, 1961). O solo é classificado em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, na área Euc20 (PREVEDELLO, 2008) e na área Euc44, e Argissolo Vermelho Distrófico úmbrico (ABRÃO *et al.*, 1988; EMBRAPA, 2006), na área Euc240. A classe dos Argissolos é caracterizada por solos mediamente espessos, não hidromórficos, bem drenados, cor avermelhada, textura superficial franco-arenosa com presença de horizonte B textural, sendo pobres em matéria orgânica (STRECK *et al.*, 2008).

Para a obtenção dos dados, nas plantações com 20 meses (Euc20) e 44 (Euc44) realizou-se o censo, e na plantação com 240 meses (Euc240), a amostragem.

Realizou-se a medição do diâmetro a altura do peito (DAP) utilizando suta, e da altura de 10% das árvores (h), em cada área utilizando o

hipsômetro Vertex. Apenas para fins de classificação qualitativa das plantações foram consideradas as árvores normais, mortas, bifurcadas, quebradas, doentes e com brotações. Para o estudo da copa, bem como a amostragem da biomassa, foram selecionadas três árvores-amostras por floresta: a árvore de diâmetro a altura do peito médio ($dap_{\text{médio}}$), a árvore de diâmetro superior (adicionando uma unidade do valor de desvio padrão ao valor do diâmetro a altura do peito) e a de diâmetro inferior (subtraindo uma unidade do valor de desvio padrão ao valor do $dap_{\text{médio}}$). Obtiveram-se assim três classes diâmetricas por área, sendo o diâmetro das árvores selecionadas correspondentes ao diâmetro do centro de cada classe. Anterior ao corte das árvores-amostra realizou-se o estudo da copa.

Para o estudo da copa, foram medidos quatro raios da copa da árvore-amostra (Figura 1B), conforme a orientação norte-leste-sul-oeste, obtendo o diâmetro médio de copa (dc), o comprimento de copa (cc), o qual é considerado o comprimento da altura de inserção do primeiro galho vivo até a altura do ápice. Esse comprimento de copa foi dividido por três, definindo assim as posições da copa (terço inferior, médio e superior), conforme Figura 1B.

Para cada árvore-amostra foi calculado ainda a área de projeção de copa (apc), a percentagem, e o formal de copa (fc), o grau de esbeltez (GE), o índice de abrangência (IA), o índice de saliência (IS) e o índice de espaço vital (IEV) (DURLO; DENARDI, 1998; STERBA, 1992), conforme as fórmulas descritas na Figura 1A.

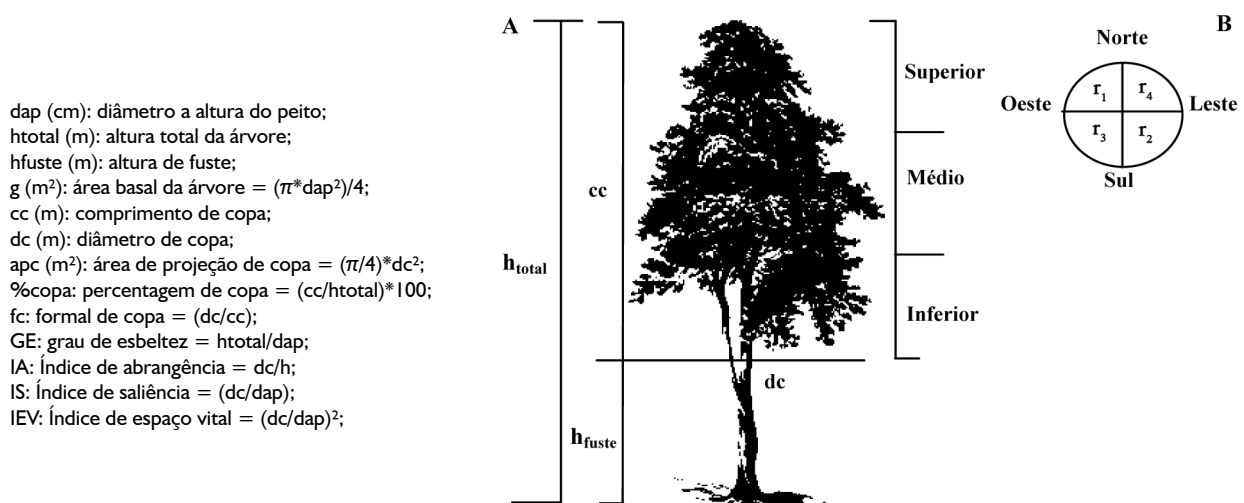


Figura 1. Representação da altura total e de fuste da árvore, comprimento de copa, diâmetro de copa e outros parâmetros bem como as divisões da copa em terço superior, médio e inferior (A) e os raios (r_1 , r_2 , r_3 e r_4) da projeção de copa obedecendo à orientação norte-leste-sul-oeste (B).

Figure 1. Representation of tree total height (h), crown length (cc), crown diameter (dc) and others parameters as well as the divisions of the crown in the upper, middle and lower third (A), and the radius (r_1 , r_2 , r_3 e r_4) of crown project obey the north-east-south-western orientation.

Posteriormente as árvores-amostra foram abatidas, sendo as todas as folhas separadas e pesadas úmidas, sendo separada uma amostra de folhas para a determinação do peso seco. Esse material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e conduzidos ao Laboratório de Sementes da FEPAGRO FLORESTAS. O material foi mantido em estufa a 60°C por 72 horas, para posterior obtenção do peso seco, calculado pela equação:

$$PST=(PUT \times PSA)/PUA$$

Sendo:

PST: peso seco total (Kg);

PUT: peso úmido total (Kg);

PSA: peso seco da amostra (Kg);

PUA: peso úmido da amostra (Kg).

O peso seco total (Mg ha⁻¹) de folhas foi obtida pela multiplicação do número de árvores por hectare em cada classe diamétrica e, ainda para cada terço de copa, pelos respectivos pesos individuais médios.

Para o estudo da área foliar, em cada terço da copa, foi ainda considerado o peso úmido de uma alíquota de 100 folhas, conforme a metodologia do "Pipel model" (SHINOZAKI *et al.* 1964). A estimativa do peso seco dessa alíquota também foi obtida pela equação citada anteriormente, visto que essas folhas foram mantidas sob refrigeração até a sua medição.

A área de cada folha da alíquota de 100 folhas foi determinada, com régua graduada em centímetros, a partir do produto de sua largura (L) pelo seu comprimento (C), conforme o método das dimensões (MONTEIRO *et al.*, 2005), obtendo-se, assim a área de um retângulo que continha a folha. Para isso considerou-se como o comprimento, a distância entre a inserção do pecíolo e a extremidade oposta da folha, e sua largura definida como a dimensão perpendicular ao comprimento (MONTEIRO *et al.*, 2005). O fator de correção para essa área retangular foi obtido para cada amostra, em cada terço da copa, a partir de 20 folhas, as quais foram *scaneadas* sobre papel milimetrado, e analisados pelo software AreaMed 1.0 versão 2009, determinando assim a área foliar simples (cm²). Já a área foliar total para cada terço da copa foi obtida pela multiplicação da área foliar simples pelo número de folhas em cada um desses compartimentos. Para isso, o número de folhas total em cada terço da copa, em cada árvore, foi obtido com o peso seco da alíquota de 100 folhas e o peso seco total de folhas. Já a área foliar

por hectare obtida pela multiplicação da área foliar total, segregada por terço da copa, pelo número de árvores por hectare, considerando o número de árvores por hectare em cada classe diamétrica.

Para o conhecimento da área de alburno, em cada terço da copa, foram obtidas seções transversais (discos) do lenho, sem casca, com aproximadamente 2,5 cm de espessura. Foram medidos oito raios (total e de alburno, sendo esse último medido caso fosse possível de identificação visual) em cada uma dessas seções (discos), com auxílio de régua, graduada em centímetros, obtendo assim a média desses raios por:

$$r(t \text{ ou } a)_{\text{médio}}(\text{cm}) = \frac{\sum_{n=1}^{n=8} r_n}{n}$$

Sendo:

$r(t \text{ ou } a)_{\text{médio}}$: raio médio total ou raio médio de alburno (cm). r_n : raio de número n (cm);

$$at(\text{cm}^2) = 3,14 * rt(\text{cm})^2$$

Sendo:

$at(\text{cm}^2)$: área total (cm²)

rt : raio total do disco (cm);

Com base nesses valores foi calculado o raio médio de cerne, para permitir a obtenção da área de alburno conforme equações abaixo:

$$rc(\text{cm}) = rt(\text{cm}) - ra(\text{cm})$$

Sendo:

rc : raio do cerne (cm);

rt : raio total do disco (cm);

ra : raio do alburno (cm);

$$ac(\text{cm}^2) = 3,14 * rc(\text{cm})^2$$

Sendo:

ac : área de cerne (cm²);

rc : raio do cerne (cm).

$$aa(\text{cm}^2) = at(\text{cm}^2) - ac(\text{cm}^2)$$

Sendo:

aa : área de alburno (cm²);

at : área total do disco (cm²);

ac : área do cerne (cm²).

Realizou-se a análise de variância e a comparação de médias pelo teste de Tukey (nível de 5 % de probabilidade) para os parâmetros da copa comparando as florestas de diferentes idades. Aplicou-se a correlação linear de Pearson entre os parâmetros da copa (área foliar e área de alburno) com a biomassa de folhas e com o diâmetro a altura do peito das árvores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o inventário florestal, obteve-se no povoamento com 20 meses, 1506 árvores por hectare com altura média de 6,3 m, área basal de 3,1 m².ha⁻¹, 79,5 % de árvores normais, 14,8 % de plantas mortas, 5 % de árvores bifurcadas e 0,6 % de árvores com brotações. No povoamento com 44 meses encontrou-se 1609 árvores por hectare, altura média de 13,2 m, área basal de 16,9 m².ha⁻¹, 64,4 % de árvores normais, 31,4 % de plantas mortas, 4 % de árvores bifurcadas e 0,2 % de árvores com brotações. Já o povoamento com 240 meses, 798 árvores por hectare, altura média de 22,7 m, área basal de 38,3 m².ha⁻¹, 96,8 % de árvores normais e 3,2 % de plantas mortas, não sendo registradas árvores bifurcadas ou com brotações.

Os parâmetros de copa identificado nas florestas de eucalipto estão apresentados na Tabela 1.

Conforme a análise estatística somente o DAP, h_{fuste} (altura de fuste), fc (formal de copa) e IEV (índice de espaço vital) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Já para as demais variáveis que apresentaram significância entre as florestas, a percentagem de copa não apresentou diferença significativa entre as florestas Euc20 e Euc240, mas diferindo significativamente entre as florestas Euc20 e a Euc44.

O comprimento de copa (cc) aumentou com a idade das florestas e com o DAP das árvores. Esse mesmo aumento foi verificado para o diâmetro, a área de projeção e para a percentagem de copa. Esses valores diferem daqueles registrados

para *Cabraela canjerana* (Well.) Mart. (DURLO, 2001), em que o comprimento de copa foi de 0,3 a 15,7 m, o diâmetro de copa, de 1 a 10,4 m e o percentual de copa, de 10,7 a 83,3 m. Esse autor verificou que a altura de inserção, o diâmetro e a porcentagem de copa aumentam à medida que as árvores crescem. Além disso, Durlo e Denardi (1998) citam que a porcentagem de copa também é um indicativo de qualidade das árvores. Para esses autores a percentagem de copa é um indicador de vitalidade, além de ser um indicativo do grau de concorrência dessa árvore.

Para o diâmetro da copa (dc) e para a área de projeção de copa observou-se que as florestas jovens (Euc20 e Euc44) diferem significativamente da floresta madura (Euc240). Para o percentual de copa (%copa), obteve-se uma diferença significativa entre a floresta jovem (Euc20) e a floresta intermediária (Euc44), sendo que essa última não se diferenciou da floresta madura (Euc240). Essa condição provavelmente está associada à dinâmica de crescimento, bem como ao acúmulo de biomassa nos diferentes compartimentos da árvore. Isso é esperado, pois o crescimento, o espaço ocupado pela árvore (área de projeção de copa) tende a aumentar, conforme Durlo e Denardi (1998).

Considerando o grau de esbeltez (GE), a floresta Euc20 apresentou os maiores valores quando comparados aos das florestas mais antigas (Euc44 e Euc240). Essa característica tende a diminuir com a idade das árvores, indicando que as mesmas estão direcionando-se a uma condição de maior estabilidade, proporcionada

Tabela 1. Parâmetros da copa das árvores de eucalipto, com 20, 44 e 240 meses de idade.

Table 1. Canopy parameters of eucalyptus tree, at ages 20, 44 and 240 months.

Variável	Idade								
	20 meses			44 meses			240 meses		
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3
dap (cm)	2,6	4,7	6,7	6,8	10,8	14,9	10,6	21,9	33,3
h _{total} (m)*	5,4	7,5	8,6	8,8	15,0	16,4	13,4	27,7	38,6
h _{fuste} (m)	1,1	1,8	1,6	4,7	6,7	5,8	4,1	9,1	17,3
cc (m)*	4,3	5,7	7,0	4,1	8,3	10,6	9,3	18,6	21,3
dc (m)*	3,02	3,37	4,16	2,05	2,89	3,00	4,60	5,00	5,70
apc (m ²)*	7,14	8,89	13,55	3,30	6,56	7,07	16,61	19,63	25,50
%copa*	79,63	76,00	81,39	46,59	55,33	64,63	69,78	67,15	55,28
fc (m)	0,7012	0,5904	0,5936	0,5000	0,3482	0,2830	0,4920	0,2688	0,2671
GE*	207,69	159,57	128,36	129,41	138,89	110,07	126,42	126,48	115,92
IA*	0,56	0,45	0,48	0,23	0,19	0,18	0,34	0,18	0,15
IS*	115,96	71,60	62,01	30,15	26,76	20,13	43,40	22,83	17,12
IEV (m ²)	13447,08	5125,95	3845,85	908,85	716,06	405,39	1883,23	521,26	293,00

Sendo: Árvore 1: árvore de diâmetro inferior (subtração de uma unidade do valor de desvio padrão ao valor do dapmédio); Árvore 2: árvore com diâmetro a altura do peito médio. Árvore 3: árvore de diâmetro superior (soma de uma unidade do valor de desvio padrão ao valor do diâmetro a altura do peito); dap: diâmetro altura do peito; h_{total}: altura total da árvore; h_{fuste}: altura de fuste da árvore; cc: comprimento de copa; dc: diâmetro de copa; apc: área de projeção de copa; %copa: percentagem de copa; fc: formal de copa; GE: grau de esbeltez; IA: índice de abrangência; IS: índice de saliência. IEV: índice de espaço vital. *diferenças significativas entre tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

pela menor relação diâmetro a altura do peito e altura total da árvore. O grau de esbeltez diminui com o aumento da idade das árvores, pois o crescimento em altura é relativamente menor que o crescimento diamétrico, tornando-se mais robustas e estáveis (DURLO, 2001). Devido o registro de valores mais baixos para o grau de esbeltez (GE) nas florestas maduras, quando comparado à floresta mais jovem, apesar de Sterba (1992) indicar que independente da idade, o grau de esbeltez, indicativo do espaço vital das árvores, é aproximadamente constante.

Nesse sentido, percebe-se que as árvores em fase de crescimento ativo ou acelerado da floresta jovem (Euc20) quando comparadas às árvores das demais florestas, apresentam os maiores percentuais de copa. Já, em contrapartida, avaliando pelo formal de copa, as florestas mais produtivas são aquelas constituídas por indivíduos maduros (Euc240). Para a avaliação da produtividade pelo formal de copa deve-se considerar, segundo Durlo e Denardi (1998), a mesma espécie e o mesmo sítio, servindo esse como indicativo para a marcação de desbastes. Como comparação, esses mesmos autores identificaram para *Cabraela canjerana* (Well.) Mart., um grau de esbeltez em torno de 29,80 a 173,0, tendo o diâmetro a altura do peito, uma variação de 2,8 a 51,30 cm e da altura de 2,8 a 23,5 m. Já o comprimento de copa teve uma variação de 0,3 a 18,6 m, diâmetro de copa de 1 a 10,4, proporção de copa de 10,7 a 83,3%, e uma altura de inserção de copa de 1,5 a 13,0 m, com índice de saliência de 12,8 a 35,7. Para esses mesmos autores, o formal de copa registrado esteve em torno de 0,29 a 3,33, superiores aos valores registrados neste estudo, com certeza sendo isso devido às diferenças associadas às características de cada uma das espécies, bem como ao seu padrão de crescimento.

Observou-se que o índice de abrangência (IA), índice de saliência (IS) e o índice de espaço vital diminuem com o crescimento das árvores e com o aumento da dimensão no interior de cada floresta (Tabela 1). Percebe-se que o índice de saliência dos indivíduos das florestas maduras (Euc240) têm uma copa, em média 28 vezes maior que seu DAP, sendo que nas florestas jovens esse valor atinge em média 83 vezes seu DAP. Portanto com o crescimento das árvores o indivíduo tende a apresentar um crescimento mais acelerado do tronco maior do que o desenvolvimento da copa. Já para o espaço vital percebe-se que as florestas com me-

nor valor apresentam maior área basal e consequentemente maior é o seu volume por hectare. Assim, a morfometria da copa, que segundo Durlo e Denardi (1998), descreve as relações interdimensionais das árvores e o espaço que essas ocupam, podem expressar também o grau de concorrência do povoamento, além de prever características de vitalidade, estabilidade e produtividade de cada indivíduo.

O melhor índice de saliência foi observado na plantação com 240 meses de idade (Euc240), com valores mais próximos de zero. A relação diâmetro de copa e DAP diminuem com o aumento da idade das florestas, para árvores da mesma posição sociológica, ou uma diminuição também dentro da mesma floresta, das árvores menores para as maiores (ANDRAE, 1983). Um menor valor do índice de saliência significa que a árvore possui mais área de superfície de copa, ou área de assimilação, ocupando mais eficientemente o espaço, considerando para isto uma dada área de projeção de copa (STERBA, 1992). O mesmo autor coloca que o índice de saliência é melhor quanto mais próximo de zero, indicando uma maior área basal e volume por hectare na floresta.

Em relação às variáveis de copa com o DAP e a altura, Orellana e Koehler (2008) identificaram para *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer uma maior correlação das características morfométricas da copa (por exemplo diâmetro de copa, percentagem de copa, grau de esbeltez, etc.) com o DAP do que com a altura total. Esses autores, portanto registraram correlações significativas da altura total da árvore com o diâmetro de copa (dc) e com o comprimento de copa (cc). Já para o DAP, as correlações positivas ocorreram com o diâmetro de copa (dc), comprimento de copa (cc), índice de abrangência (IA) e o grau de esbeltez (GE), além de uma correlação negativa com o índice de saliência (IS).

Considerando os resultados para a área foliar, obteve-se um fator de correção para a área foliar de 0,6346 a 0,6697, para os diferentes terços da copa, nas diferentes florestas. A biomassa seca total de folhas nos terços da copa para as florestas teve variações médias de 0,6925 a 1,4596 Kg. A área foliar simples apresentou valores médios com variação de 35 a 45 cm². Já a área foliar da árvore registrou uma variação média de 6,90 a 15,83 m². Os dados de área foliar por hectare de 3594,14 a 5069,23 m².ha⁻¹. Os valores da área de alburno (m²) por terço da copa em cada floresta podem ser conferidas na Tabela 2.

Tabela 2. Fator de correção para área foliar, e a média da biomassa total seca de folhas (Kg), da área foliar simples (cm²), da área foliar da árvore (m²) e por hectare (m².ha⁻¹) e da área de alburno por terço da copa das árvores em cada floresta de eucalipto, de 20 (Euc20), 44 (Euc44) e 240 (Euc240) meses.

Table 2. Correction factor of leaf area; leaf dry biomass (kg); single leaf area (cm²); tree leaf area (m²), and leaf area per hectare (m².ha⁻¹); sapwood area per each third of crown of each eucalyptus forest, at ages 20 (Euc20), 44 (Euc44) and 240 (Euc240) months.

Parâmetro	Euc20			Euc44			Euc240					
	Terço da copa											
	Inferior	Médio	Superior	Média	Inferior	Médio	Superior	Média	Inferior	Médio	Superior	Média
fc	0,6396	0,6319	0,6324	0,6346	0,6766	0,6719	0,6605	0,6697	0,6527	0,6437	0,6406	0,6457
PS100 (kg)	35,5	40,5	32,8	36,3	42,0	63,3	57,9	54,4	34,0	30,5	27,7	30,7
b.f. _{total} (kg)	0,8761	0,9375	0,2640	0,6925	0,5018	1,5014	0,8537	0,9523	1,6593	1,6067	1,1128	1,4596
AFs (cm ²)	35,0	41,0	33,0	36,3	47,0	45,0	43,0	45,0	40,0	35,0	33,0	35,0
AF _{árv} (m ²)	8,79	9,37	2,54	6,90	8,12	11,05	6,34	8,50	18,68	17,67	11,15	15,83
AF _{ha} (m ² .ha ⁻¹)	4628,29	4838,28	1315,86	3594,14	3364,40	7492,13	4351,16	5069,23	4979,81	5207,25	2970,76	4385,94
AA (cm ²)	15,10	1,08	0,15	5,44	27,16	16,89	3,74	15,93	59,19	48,65	13,12	40,32

fc: fator de correção; PS₁₀₀: peso total de 100 folhas (kg); b.f._{total}: biomassa total seca de folhas (kg); AF_{árv}: área foliar simples (cm²); AF_{ha}: área foliar por hectare (m².ha⁻¹); AF_{ha}: área foliar da árvore (m²); AF_{árv}: área foliar por hectare (m².ha⁻¹); AA: área de alburno (cm²).

Avaliando as diferentes florestas por terço da copa, pode-se obter valores significativos para o fator de correção no terço inferior e para o peso seco de 100 folhas para o terço médio e superior. Para o fator de correção no terço inferior, a floresta com 44 meses de idade difere significativamente da floresta com 20 meses de idade, com uma diferença mínima significativa (dms) de 0,0302. Já o peso seco de 100 folhas, nos dois terços (médio e superior) registrou uma diferença significativa (dms) entre a floresta com 44 meses de idade e a floresta com 240 meses de idade.

Já considerando os diferentes terços da copa em cada floresta, registrou-se um valor significativo para área foliar na floresta com 20 meses de idade. Nessa floresta, o terço médio diferiu significativamente do terço superior, com uma diferença mínima significativa (dms) de 8,8. A área foliar da árvore nesse estudo, especificamente nos terços inferior e médio da copa na área Euc240 é superior ao valor de 11,41 m² reportados em plantações de *Eucalyptus* sp., com 12 anos, e espaçamento 2 x 2 m, em Santa Maria, RS (ARALDI *et al.*, 2008a). Tal diferença pode estar relacionada ao número de árvores por hectare, que para esse autor foi de 1726, e para a biomassa de folhas por hectare, essa foi de 6,21 t ha⁻¹, comparado a apenas 3,05 t ha⁻¹ no Euc20 e de 4,96 t ha⁻¹ no Euc44, onde as condições produtivas de sítio, ao tipo de solo entre outros. Já Whitford *et al.* (1995), registrou, em 40 árvores avaliadas, uma área foliar de 16,4 m² em média, com o diâmetro variando de 3,8 a 54,9 cm.

Para a correlação da área foliar, de cada árvore e da floresta, bem como a área de alburno e a biomassa de folhas com o diâmetro a altura do peito e altura das árvores, independentemente da idade das florestas, pode-se obter distintas relações em cada terço da copa (Figura 2).

A área de alburno apresentou correlações significativas (ao nível de 0,5% de probabilidade) com o diâmetro a altura do peito, a altura das árvores e com a biomassa total das folhas em todos os terços da copa (Figura 2). A área foliar apresentou apenas correlações significativas com o diâmetro à altura do peito e com a área de alburno no terço médio. Já a área foliar da árvore e a área foliar da floresta apresentaram correlações significativas com a biomassa total de folhas em todos os terços da copa. Além disso, a área foliar da árvore apresentou no terço inferior e superior da copa, correlações significativas com o diâmetro à altura do peito e com a altura das árvores. Considerando esses mesmos dois terços (inferior e superior)

podem-se obter correlações significativas (r) da biomassa total de folhas com o diâmetro a altura do peito e com a altura das árvores, não ocorrendo o mesmo no terço médio (Tabela 3).

Considerando ainda as correlações e suas significâncias, pode observar a Figura 3, com

as relações da área foliar simples (AFs), da árvore (AFarv), da floresta (AFha) e da área de alburno (AA). Os resultados não indicam correlações significativas para a área de alburno (AA) com a área foliar da floresta (AFha) em todos os terços da copa.

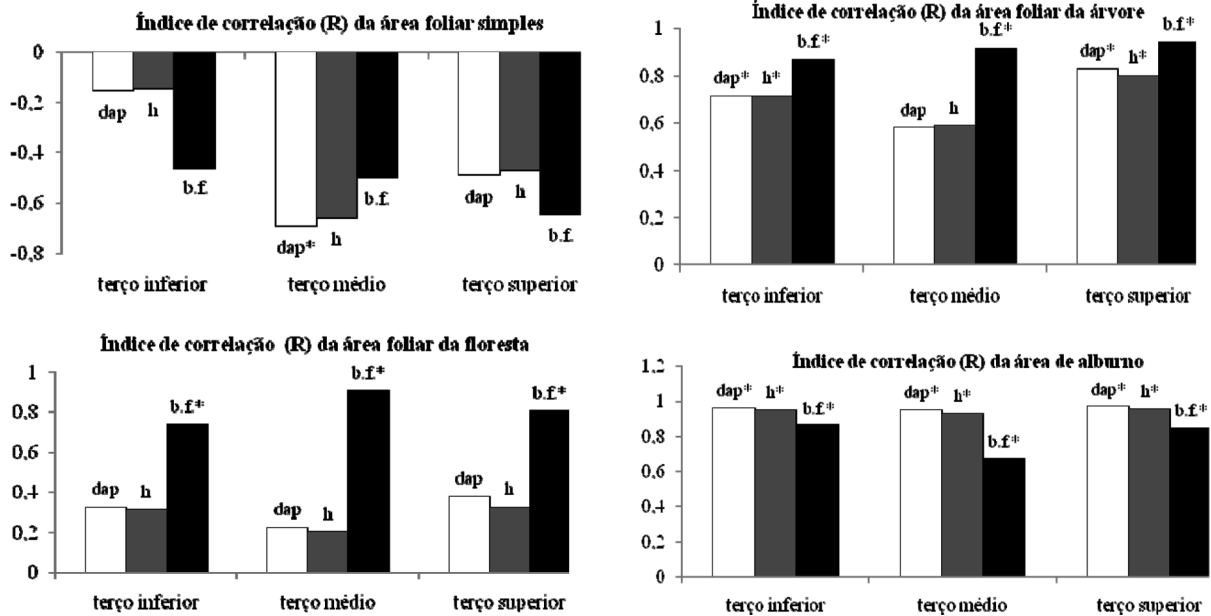


Figura 2. Correlação do diâmetro a altura do peito (dap), altura (h), biomassa total de folhas (b.f.) com a área foliar simples (AF_s), a área foliar da árvore (AF_{arv}) e da floresta (AF_{ha}), bem como a área de alburno (AA) no terço inferior, médio e superior da copa das árvores de eucalipto, com 20, 44 e 240 meses. * Probabilidade significância da correlação de Pearson (r) considerada significativa ao nível de 5%.

Figure 2. Correlation of diameter at breast height (DBH), height (h), total biomass of leaves (b.f.) with the single leaf area (AF_s), leaf area of the tree (AF_{arv}), and forest (AF_{ha}); as well as sapwood area (AA) in the lower third, middle and upper crown of eucalyptus trees, aged 20, 44 and 240 months. * Significance probability of Pearson's correlation (r) considered significant at 5%.

Tabela 3. Índice de correlação de Pearson (R) e a probabilidade de significância (r) das variáveis de copa e das árvores por terço da copa das árvores de eucalipto, com 20, 44 e 240 meses.

Table 3. Pearson correlation index (R) and significance probability (r) of the variables and crown trees per third of the crown of eucalyptus, with 20, 44, 240 months.

Variável	Terço Inferior		Terço Médio		Terço Superior	
	dap	h	dap	h	dap	h
b.f.	0,8086 (r:0,0083*)	0,0082 (r:0,0082*)	0,6044 (r:0,0847)	0,5883 (r:0,0957)	0,7779 (r:0,0136*)	0,7267 (r:0,0266*)

b.f.: biomassa total seca de folhas; dap: diâmetro a altura do peito; h: altura total da árvore. R: índice de correlação de Pearson; r: probabilidade de significância; * valores de r significativos ao nível de 5% de probabilidade.

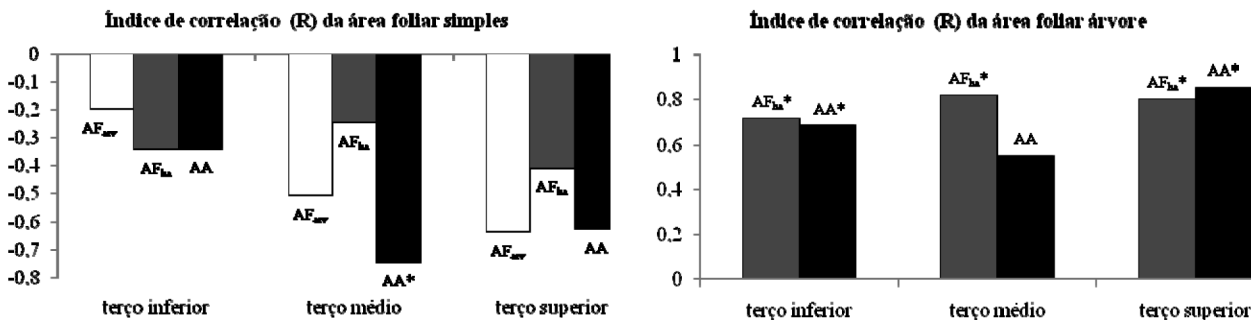


Figura 3. Correlação da área foliar simples (AF_s), da árvore (AF_{arv}), da floresta (AF_{ha}) e da área de alburno (AA) no terço inferior, médio e superior da copa das árvores de eucalipto, com 20, 44 e 240 meses. * Probabilidade de significância da correlação de Pearson (r) considerada significativa ao nível de 5%.

Figure 3. Correlation of single leaf area (AF_s), tree (AF_{arv}), forest (AF_{ha}) and sapwood area in the lower, middle and upper crown of eucalyptus tree, with 20, 44, 240 months. * Probability of significant correlation (r) considered significant at 5%.

As correlações encontradas neste trabalho, também foram verificadas por diversos outros autores, estudando diferentes espécies. Por esse motivo Shinozaki *et al.* (1964) admitem haver uma relação direta da área de alburno com a área ou massa das folhas da copa. Para a correlação da área de alburno com o peso de folhas, Eckmüller e Sterba (2000) admitem também existir correlações significativas, em *Picea sp.* Já Penner e Deblonde (1996) identificaram uma variabilidade mínima na relação entre a área de alburno e área foliar em floresta de pinus (*Pinus strobus L.*). Além disso para Penner e Deblonde (1996) houve uma relação da área foliar com a área basal, essa relação periódica é considerada boa, apesar de algumas espécies do gênero estudadas não serem tão eficientes na conversão da luz interceptada para o crescimento do caule. Com isso esses concluem que a relação entre o crescimento da área basal e área foliar pode ser usado para prever o índice de área foliar (IAF), sugerindo trabalhos adicionais a fim de conhecer a relação entre o crescimento da área basal e alterações de área foliar, com a idade e a região geográfica de ocorrência da espécie.

A relação de área foliar com a área da secção do tronco também já foi reportada por Blanche *et al.* (1985) e Dean e Long (1986), em pinus. Os primeiros autores relatam a correlação da área foliar com a área seccional do tronco, tanto na base quanto a 1,3m de altura, mas sendo o melhor estimador a área da base. A relação entre estas variáveis, segundo esses mesmos autores ainda, é afetada pela idade, devido à dinâmica das folhas. Os segundos autores relatam a relação linear da área seccional da base do tronco com a área foliar, sendo significativa tanto para pinus com 20 e 70 anos. Já em plantações de *Eucalyptus sp.* com 12 anos de idade a relação direta da área foliar e do índice de área foliar e área de alburno foi registrado por ARALDI *et al.* (2008a), indicando ser este um bom estimador da área ocupada pela folhas nesse tipo de floresta. Além disso, ARALDI, *et al.* (2008b) identificaram uma relação direta da área foliar ao peso de madeira, especialmente de *Pinus elliottii*, com 10 anos de idade, plantado em espaçamento 3 x 2 m. As correlações significativas do peso da biomassa de folhas (0,81), tronco (0,77) e galhos (0,70) podem ser visto com a área foliar em cepas de eucalipto (OLIVEIRA *et al.*, 2008). Além dessa relação (área foliar e dimensão das árvores), a área foliar pode ainda estar associada às práticas de manejo, como a adubação (AL-

MEIDA *et al.* 2007), ou ainda as práticas culturais, especialmente a poda, tendo um impacto significativo sobre o tamanho da árvore e sobre a área foliar, quando comparado as características de clima e solo (PEPER *et al.*, 2001).

CONCLUSÕES

O acúmulo de biomassa foliar nas florestas de eucalipto apresentou um aumento com o crescimento das florestas. Existem diferenças significativas entre as florestas de eucalipto de diferentes idades, na avaliação dos parâmetros morfométricos da copa. Há uma relação entre a biomassa total de folhas, entre a área foliar (simples, da árvore e da floresta), e entre a área de alburno, com diâmetro a altura do peito e da altura das árvores nos diferentes terços da copa, nas plantações de eucalipto com as diferentes idades. Assim, apenas com a medição da altura das árvores ou, melhor ainda, do seu diâmetro, é possível fazer-se inferências sobre características de mais difícil medição. Portanto, a determinação de tais características é importante para o conhecimento da dinâmica de crescimento de florestas de eucalipto, objetivando definir diretrizes corretas de manejo visando o máximo crescimento e produtividade das plantações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. *Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009*. Brasília: ABRAF, 2010. 140p.
- ABRÃO, P.U.R.; GIANLUPPI, D.; AZOLIN, M.A.D. *Levantamento semidetalhado dos solos da estação experimental de silvicultura de Santa Maria*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis, 1988. 75p.
- ALMEIDA, J.C.R.; LACLAU, J-P.; GONÇALVES, J.L.M.; MOREIRA, R.M.; ROJAS, J.S.D. Índice de área foliar de *Eucalyptus grandis* em resposta à adubação com potássio e sódio. SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO. 1., 2007, Taubaté. *Anais...*Taubaté: UNITAU, 2007. p.1-7.
- ANDRAE, F. Segundo inventário de biomassa e nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus saligna* no Sul do Brasil. In: ANDRAE, F.; KRANPFENBAUER, A. (Eds.). *Pesquisas austríaco-brasileiras 1973-1982*. Santa Maria: UFSM, 1983. p.86-112p.

- ARALDI, D.B.; CECONI, D.E.; SCHUMACHER, M.V.; PRADO, A.P.; SCOTTI, M.S.V.; CUNHA, T.A.; LOPES, V.G.; MEIRA, J. Estimativa da área foliar a partir da espessura do albúrnio para um povoamento de *Eucalyptus* sp., em Santa Maria – RS. SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL – “PRODUÇÃO DE BENS MATERIAIS E IMATERIAIS”, 4., 2008, Santa Maria. *Anais...Santa Maria: UFSM.*, 2008a, p.69-74.
- ARALDI, D.B.; CECONI, D.E.; SCHUMACHER, M.V.; PRADO, A.P.; SCOTTI, M.S.V.; CUNHA, T.A.; LOPES, V.G.; MEIRA, J. Estimativa da área foliar a partir da produção de madeira para um povoamento de *Pinus elliottii* Engelm., Santa Maria - RS. SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL – “PRODUÇÃO DE BENS MATERIAIS E IMATERIAIS”, 4., 2008, Santa Maria. *Anais...Santa Maria: UFSM.*, 2008b, p.75-80.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study.** Hungary: Pergamon Press, 1970. 506p.
- BLANCHE, C.A.; HODGES, J.D. A leaf area – sapwood area ratio developed to rate loblolly pine tree vigor. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v.15, p.1181-1181, 1985.
- DEAN, T.J.; LONG, J.N. Variation in Sapwood area-leaf area relations within two stands of lodgepole pine. *Forest Science*, Bethesda, v.32, n.3, p.749-758, 1986.
- DURLO, M.A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v.11, n.1, p.141-149, 2001.
- DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v.8, n.1, p.55-66, 1998.
- ECKMÜLLER, O.; STERBA, H. Crow condition, needle mass and sapwood área relationships of Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal Forest*, 2000, v.30, p.8.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.128, n.3, p.181-196, 2000.
- LONG, J.N.; SMITH, F.W. Determinants of stemwood production in *Pinus contorta* var. *Latifolia* forests: the influence of site quality and stand structure. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v.27, n.847-856, 1990.
- MARSHALL, J.D.; WARING, R.H. Comparison of methods of estimating leaf-area index on old-growth Douglas-Fir. *Ecology*, Washington, v.67, n.4, p.975-979, 1986.
- MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimacão da área foliar do algodoeiro por meio das dimensões e massa de folhas. *Revista Bragantia*, Campinas, v.64, n.1, p.15-24, 2005.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73p.
- OLIVEIRA, C.H.R.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; XAVIER, A.; STOCK, J.J. Área foliar e biomassa de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clone de eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. *Revista Árvore*, Viçosa, v.32, n.1, p.59-68, 2008.
- ORELLANA, E.; KOEHLER, A.B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. *Revista Acadêmica*, Ciências Agrárias, Curitiba, v.6, n.2, p.229-237, 2008.
- PENNER, M.; DEBLONDE, G. The relationship between leaf area and basal area growth in jack and red pine trees. *The Forestry Chronicle*, Quebec, v.72, n.2, p.170-175, 1996.
- PEPER, P.J.; McPHERSON, E.G.; MORI, S.S. Equations for predicting diameter, height, crown width, and leaf area of San Joaquin Valley Street trees. *Journal of Arboriculture*, Champaign, v.27, n.6, p.306-317, 2001.
- PREVEDELLO, J. **Preparo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. em Argissolo.** 2008. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: UFPR, 2002. p.119-140.
- SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal.** 2006. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 13 Jul. 2008.

SHINOZAKI, K.; YODA, K.; HOZUMI, K.; KIRA, T.A. quantitative analysis of plant form – the pipe model theory I. basic analyses. *Japanese Journal of Ecology*, v. 14, n. 3, p. 97-105. 1964.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy: a Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 2ed. Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1999. 871p. (Agriculture Handbook n.436).

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre**. Wien: Universität für Bodenkultur, 1992. 160p. (Heft, 4).

STRECK, E.V. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/ASCAR-RS, 2008. 222p

WHITFORD, K.R.; COLQUHOUN, I.J.; LANG, A.R.G.; HARPER, B.M. .Measuring leaf area index in a sparse eucalypt forest: a comparison of estimates from direct measurement, hemispherical photography, sunlight transmittance and allometric regression. *Agricultural and Forest Meteorology*, Oxford, v.74, p.237-249, 1995.

Recebido em 25/05/2011
Aceito para publicação em 12/12/2011

