

## FATOR DE EXPANSÃO DE BIOMASSA, RAZÃO DE RAÍZES-PARTE AÉREA E MODELOS PARA CARBONO PARA *Eucalyptus grandis* PLANTADOS NO SUL DO BRASIL

Ana Paula Dalla Corte<sup>1</sup>; Carlos Roberto Sanquetta<sup>1</sup>; Fernando da Silva<sup>2</sup>; Ana Beatriz Schikowski<sup>3</sup>; Marieli Sabrina Ruza<sup>4</sup>

1. Professor(a) Doutor(a) no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná (anapaulacorte@gmail.com; sanquetta@ufpr.br)
2. Doutorando em Ciências de Florestas Tropicais pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA (silvaflorestal@gmail.com)
3. Mestranda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná
4. Acadêmica em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná BIOFIX Centro de Pesquisa em Biomassa e Sequestro de Carbono Universidade Federal do Paraná - UFPR . Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico . Curitiba – PR, 80.210-170 – Brasil

Recebido em: 31/03/2015 – Aprovado em: 15/05/2015 – Publicado em: 01/06/2015

### RESUMO

O Fator de Expansão da Biomassa (FEB) e a Razão de Raízes (R) são grandezas utilizadas para quantificação de carbono estocado em florestas, sendo que geralmente essas grandezas são consideradas constantes. Dados de 22 árvores de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades foram coletados para expressar a correlação entre FEB e R. Nove modelos foram testados para descrever as relações alométricas entre FEB, R, DAP, altura e idade. Foram simuladas estimativas de biomassa seca total, estoque de carbono e equivalente em CO<sub>2</sub>, empregando valores de FEB e R *default* do IPCC, valores médios calculados e utilizados no PDD da Plantar. O valor médio de FEB foi de 1,05 e de R foi de 0,08. Os coeficientes de correlação com as variáveis DAP, H e idade foram significativos apenas para o fator R. As simulações demonstraram que o uso de valores fixos de FEB, seja o *default* do IPCC ou valores médios de literatura, em inventários de carbono estocado é viável, porém a mesma prática em relação ao fator R pode conduzir a erros. Concluiu-se que: é possível o uso de valores *default* para o FEB, e recomenda-se considerar as variações de R de acordo com a área de estudo. Esta prática propiciará a obtenção de estimativas mais fidedignas da biomassa florestal, do carbono fixado pela floresta e seu do equivalente em CO<sub>2</sub>.

**PALAVRAS-CHAVE:** alometria, carbono, MDL, modelagem, regressão.

### BIOMASS EXPANSION FACTOR, ROOT-TO-SHOOT RATIO AND CARBON MODELS FOR *Eucalyptus grandis* IN SOUTHERN BRAZIL

#### ABSTRACT

The Biomass Expansion Factor (BEF) and the Root-to-Shoot Ratio (R) are parameters used for the quantification of carbon stock in forests, and usually these values are considered constant. Data from 22 sample trees of *Eucalyptus grandis* were collected at different ages to express the correlation between BEF and R. Nine

models were tested to describe allometric relationships between FEF, R, DBH, total height and age. Estimates of total biomass were simulated, carbon storage and CO<sub>2</sub> equivalent, using IPCC default values of BEF and R, calculated mean values and used in the PDD Plantar. The mean values of BEF and R calculated in this study were 1.05 and 0.08, respectively. The correlation coefficients with DBH, height and age were significant only for R. The simulations showed that the use of fixed values to FEB, be the default IPCC or literature mean values, in stored carbon inventory is feasible, but the same practice in relation to R factor can lead to mistakes. It was concluded that: the use of default values for the FEB is possible, but are recommended to consider the variations of R according to the study area. This practice will provide obtaining more reliable estimates of forest biomass, carbon fixed by the forest and its equivalent CO<sub>2</sub>.

**KEYWORDS:** allometry, carbon, CDM, modeling, regression.

## INTRODUÇÃO

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) funciona como um instrumento que possibilita que países industrializados negociem com países em desenvolvimento através de projetos que evitem a emissão de GEE (Gases de Efeito Estufa) e cumpram assim com o Protocolo de Quioto (DALLAGNOL, 2012).

A florestas são consideradas como importantes recursos para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, visto que através da remoção biológica do CO<sub>2</sub> da atmosfera, o carbono fica armazenamento na biomassa (ROCHA, 2011). Sendo assim, projetos de MDL que abordem florestamentos e reflorestamentos vêm ganhando destaque no cenário de mudanças climáticas. Para tanto estimativas confiáveis de mudanças nos estoques de carbono são necessárias para a compreensão do ciclo global do carbono (MARTINS, 2011), sendo portanto a precisão na estimativa da biomassa de suma importância.

As estimativas de biomassa e carbono em florestas podem ser realizadas pelo método direto ou indireto (SANQUETTA, 2002), no método direto é utilizado o processo destrutivo, enquanto que o método indireto emprega-se a modelagem utilizando equações ou fatores. Segundo SOMOGYI et al. (2006) a quantificação de forma indireta pode ser feita utilizando dados volumétricos de árvores ou talhões e multiplicado estes por fatores apropriados, denominados fatores de expansão de biomassa (FEBs), que convertem as estimativas de volume para estimativas de biomassa.

Observando os inventários nacionais de GEEs, percebe-se que na maioria deles são aplicados fatores constantes (UN-ECE/FAO, 2000), no entanto, estes fatores variam de acordo com as condições de crescimento e a fase de desenvolvimento. Ao negligenciar estas características, incorre-se em estimativas de biomassa não reais, mesmo que metodologias semelhantes sejam aplicadas ou quando são empregadas equações alométricas em dados de inventários florestais.

Devido aos problemas associados com a aplicação de diferentes valores de FEB disponíveis para as estimativas de biomassa da árvore, torna-se importante o desenvolvimento de trabalhos para cada região, e dessa forma expressar as reais características do local. A vantagem do uso de valores locais é que além de atualizar as equações, eles reportam as condições do meio e corrigem as diferenças nos

padrões de crescimento, tais como o aumento da produtividade.

O FEB é obtido a partir da relação entre a biomassa da parte aérea e a biomassa do fuste da árvore. Para inclusão das raízes nas estimativas, recorre-se ao cálculo da razão de raízes (R). Esta é obtida através da relação entre biomassa das raízes e a biomassa aérea (CORTE et al., 2012).

Diante da problemática exposta, o objetivo deste estudo foi avaliar a relação das principais variáveis dendrométricas da espécie *Eucalyptus grandis*, com os fatores FEB e R, bem como testar modelos para expressar a relação alométrica entre os fatores e variáveis dendrométricas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Dados coletados em campo

Os dados utilizados neste estudo advêm de 22 árvores da espécie *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden. Os dados foram coletados em plantio clonal, localizado na região sudoeste do Estado do Paraná. Foram mensuradas as variáveis dendrométricas, bem como realizada a quantificação da biomassa pelo método destrutivo direto. A idade de cada indivíduo foi determinada pelos registros do ano de plantio. As árvores foram escolhidas aleatoriamente, considerando a distribuição diamétrica e idade.

Durante a pesagem em campo cada árvore foi separada nos compartimentos: fuste, galhos com diâmetro maior que 4 cm (galhos grossos), galhos com diâmetro menor que 4 cm (galhos finos), folhagem e raízes. A determinação da biomassa seguiu as recomendações do IPCC (2006). De cada compartimento obteve-se o peso verde determinado com balança mecânica com capacidade de até 100 quilos e precisão de 100 gramas. De cada compartimento foram selecionadas porções amostrais representativas da biomassa com o objetivo de realizar as determinações de biomassa seca e os respectivos teores de carbono.

Para determinação da biomassa, as amostras foram levadas ao laboratório, onde foi determinado o peso verde, e em seguida levadas a estufa a 103<sup>o</sup> C, para determinação do peso seco. Os percentuais de biomassa seca de cada compartimento foram calculados com base na relação:

$$\% \text{ Matéria Seca} = \left( \frac{\text{PS}}{\text{PV}} \right) * 100$$

Onde:

PS = peso seco total (g);

PV = peso verde do fuste (g).

A determinação do carbono orgânico de tecido vegetal foi realizada no analisador de carbono da marca LECO, modelo C-144. A transformação da biomassa seca em carbono orgânico foi realizada pelo resultado da multiplicação do peso da biomassa seca pelo teor de carbono de cada compartimento.

### Cálculo do Fator de Expansão da Biomassa e Razão de Raízes

O cálculo do Fator de Expansão de Biomassa (FEB) e da razão R das árvores foi realizada por metodologia recomendada pelo IPCC (2006), conforme fórmulas a seguir.

$$FEB = \frac{P_{\text{copa}} + P_{\text{fuste}}}{P_{\text{fuste}}} = \frac{P_{\text{aéreo}}}{P_{\text{fuste}}}$$

Onde:

FEB = fator expansão da biomassa (adimensional);

$P_{\text{copa}}$  = peso seco da copa da árvore (g);

$P_{\text{fuste}}$  = peso seco do fuste da árvore (g);

$P_{\text{aéreo}}$  = peso seco do fuste da árvore + peso da copa da árvore (g).

$$R = \frac{P_{\text{raiz}}}{P_{\text{aéreo}}}$$

Onde:

R = razão de raízes (adimensional);

$P_{\text{aéreo}}$  = peso seco da parte aérea da árvore (g);

$P_{\text{raiz}}$  = Peso seco da raiz da árvore (g).

### Análises estatísticas e ajustes de modelos matemáticos

Com os dados dendrométricos (DAP, H e idade), FEB e R calculados para as 22 árvores, foi construída uma matriz de correlação com o objetivo de verificar a associação entre as variáveis, visando assim facilitar o desenvolvimento de modelos para estimar FEB e R em função dessas variáveis. Foram testados nove modelos (quadro 1), dos quais alguns foram desenvolvidos com base na relação observada entre as variáveis e outros encontrados na literatura florestal. Para seleção dos melhores ajustes foram utilizados o erro padrão da estimativa percentual ( $Sy_{x\%}$ ), o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e a análise gráfica dos resíduos.

**QUADRO 1** – Modelos testados para estimar o FEB e R.

VARIÁVEIS DEPENDENTES		MODELOS TESTADOS	
FEB	R	1	$\beta_0 + \beta_1 * DAP$
		2	$\beta_0 + \beta_1 * H$
		3	$\beta_0 + \beta_1 * IDADE$
		4	$\beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP)$
		5	$\beta_0 + \beta_1 * \ln(H)$
		6	$\beta_0 + \beta_1 * \ln(IDADE)$
		7	$\beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * H + \beta_3 * IDADE$
		8	$\beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP * H * IDADE)$
		9	$\beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * DAP + \beta_3 * \ln H + \beta_4 * \ln(DAP * H * IDADE)$

Onde: FEB = Fator de expansão de Biomassa; R = Fator R = Razão de biomassa de raízes;  $\beta_i$  = coeficientes dos modelos;  $\ln DAP$  = logaritmo natural do DAP;  $\ln H$  = logaritmo natural da altura;  $\ln Idade$  = logaritmo natural da Idade;  $\ln (DAP*H*Idade)$  = logaritmo natural da multiplicação das variáveis DAP, H e Idade.

### Modelos para estimativa de Carbono Total Individual

Também foram testados modelos para a estimativa de carbono estocado na árvore individual, em função de seu diâmetro a altura do peito, altura total e idade.

Foram testados sete modelos (Quadro 2), comumente utilizados para estimativas na área florestal.

**QUADRO 2 – Modelos testados para estimar carbono individual.**

**MODELOS AJUSTADOS PARA CARBONO TOTAL INDIVIDUAL**

1	$C(\text{kg}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{DAP} + \beta_2 * \text{DAP}^2$
2	$C(\text{kg}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{DAP} + \beta_2 * \text{DAP}^2 * \text{H}$
3	$C(\text{kg}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{DAP} + \beta_2 * \text{DAP}^2 + \beta_3 * \text{DAP}^2 * \text{H}$
4	$C(\text{kg}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{DAP}^2 + \beta_2 * \text{DAP}^2 * \text{H}$
5	$C(\text{kg}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{DAP} + \beta_2 * \text{H}$
6	$C(\text{kg}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{DAP} + \beta_2 * \text{IDADE}$
7	$C(\text{kg}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{DAP} + \beta_2 * \text{H} + \beta_3 * \text{IDADE}$

Onde: C = Carbono Total Individual (kg);  $\beta_i$  = coeficientes dos modelos; DAP = diâmetro 1,30m de altura (cm); H = altura total (m); Idade = Idade (anos).

**Comparação entre as estimativas da modelagem, valores médios e default do IPCC**

Tendo em vista que usualmente são utilizados valores constantes de FEB e R em projetos de MDL e em outros estudos que demandam quantificação do carbono contido nos povoamentos florestais, fez-se neste estudo uma análise comparativa dos resultados obtidos aplicando-se os modelos selecionados de FEB e R. Para essa comparação foi simulada a produção volumétrica de um hectare empregando-se o simulador SisEucalipto (EMBRAPA, 2005). O regime de manejo simulado considerou um plantio florestal com 1.111 árvores por hectare, índice de sitio igual a 25, corte raso aos 15 anos, sobrevivência inicial de plantio de 95%, sem realização de desbastes. Para fins de comparação foi utilizado o valor *default* de FEB = 1,50 e R = 0,28, valores sugeridos para espécies folhosas pelo IPCC (2006).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**Estatísticas descritivas das variáveis analisadas**

Na Tabela 1 estão apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas. O valor médio para a variável FEB é 1,05, e varia de 1,015 a 1,094, o que demonstra que esta variável não tem grande variação no decorrer da vida das árvores da espécie *Eucalyptus grandis*.

LEVY et al. (2010), trabalhando com três espécies de coníferas, encontraram valores de FEB variando entre 1,04 e 2,32. SCHIKOWSKI et al. (2014) constataram valores de FEB de 1,17 a 1,24, com média de 1,51 para *Populus sp.* Já CARON et al. (2014), encontraram uma média maior, de 2,03 trabalhando com um fragmento de floresta estacional decidual montana.

Para o fator R, o valor médio foi de 0,08, variando de 0,052 a 0,12. Para LEVY et al. (2010), o valor apontado como médio para o R foi de 0,36 e para SCHIKOWSKI et al. (2014) foi de 0,28. Esta discrepância confirma a problemática levantada no presente estudo com relação aos erros implícitos nestes fatores quando utilizados valores *default* conforme sugerido pelo IPCC.

**TABELA 1** – Estatística descritiva dos dados observados de DAP, altura, idade, FEB e R.

Estatística	DAP (cm)	H (m)	Idade (anos)	FEB	R
n	22	22	22	22	22
Média	21,3	32,95	11,58	1,05	0,08
Mínimo	13,8	21,6	8	1,015	0,052
Máximo	34,1	43,6	20	1,094	0,124
Desvio padrão	5,64	5,60	3,215	0,022	0,018
Coefficiente de Variação	0,265	0,169	0,277	0,021	0,230
Erro Padrão	-	-	-	0,476	0,372

### Correlação de FEB e R em função de DAP, H e Idade

Na Tabela 2 é apresentada a matriz de correlação para as variáveis analisadas. Os resultados da correlação entre as variáveis FEB, DAP, H e idade, para *Eucalyptus grandis*, demonstram o baixo grau de associação das variáveis com o FEB, o que significa que o estabelecimento de relações matemáticas entre as variáveis pode não resultar em ajustes satisfatórios para a modelagem da variável FEB. LEVY et al. (2010), CASTEDO-DORADO et al. (2012) e ENES & FONSECA (2013), em seus estudos concluíram que a altura total, é a variável que melhor se correlaciona com o FEB, diferindo da tendência encontrada neste trabalho, cuja correlação foi de 0,17. A variável DAP (cm) é a que melhor se correlaciona com o FEB, apresentando, entretanto um valor de 0,449.

**TABELA 2** – Matriz de correlação entre as variáveis DAP, Altura, Idade, FEB e R.

Variável	DAP (cm)	HT (m)	Idade (anos)	FEB	R
DAP (cm)	1				
HT (m)	0,898	1			
Idade (anos)	0,442	0,366	1		
FEB	0,459	0,170	-0,067	1	
R	-0,554	-0,554	-0,810	0,006	1

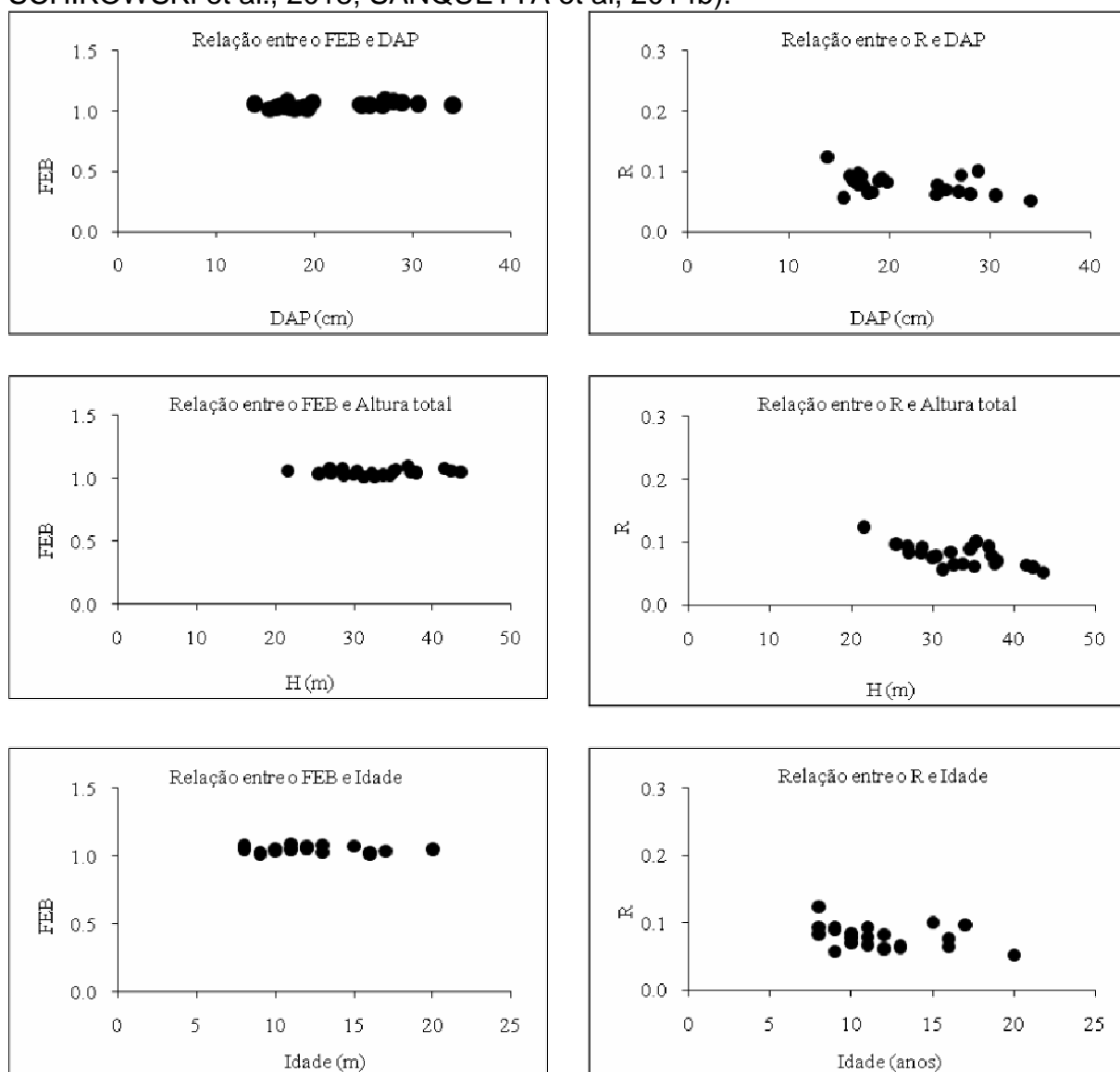
Para R, os coeficientes de correlação indicam maior grau de associação entre as variáveis, permitindo que as variações neste fator, possam ser explicadas de maneira satisfatória pelas variáveis DAP, H e Idade. A correlação entre as variáveis é negativa, indicando que os maiores valores de R estão relacionados com os menores valores de DAP, H e Idade. A correlação de maior intensidade foi encontrada para a variável Idade (-0,81). SANQUETTA et al. (2014a) em estudo para *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze., encontraram correlações não significativas para FEB e maiores correlações para R, em que R foi correlacionado positivamente com DAP ( $r=0,73$ ) e altura ( $r=0,55$ ). Os resultados deste trabalho indicam também inexistência de correlação entre FEB e R.

Segundo LEHTONEN et al. (2004), em povoamentos mais jovens existe maior variação nos valores de FEB e R. Desta forma, para aplicação em projetos de MDL, deve-se procurar utilizar valores mais conservadores para povoamentos de menores idades. SOARES & TOMÉ (2004) corroboram esta informação, segundo os autores,

se não for possível a utilização de equações alométricas, pelo menos, deve-se utilizar o uso do FEB, variando conforme classes de idade.

Na Figura 1, estão representadas graficamente as relações entre FEB, R, DAP, H e idade. A análise das relações entre o fator de expansão de biomassa e as variáveis DAP, H e idade corrobora a baixa correlação anteriormente citada, revelando que esta variável apresenta pequena oscilação ao longo dos anos, de maneira que a magnitude do FEB não muda.

Para a variável R, é evidente a existência de associação entre as variáveis. Sendo que com o crescimento das árvores ocorre redução na proporção de raízes. À medida que a floresta vai se desenvolvendo, sobretudo em plantações florestais, o compartimento de maior proporção da biomassa se concentra no fuste, resultando assim na gradual redução na proporção de raízes e demais compartimentos (LEHTONEN et al., 2004; BALBINOT et al., 2008; PETERSSON et al., 2012; SCHIKOWSKI et al., 2013; SANQUETTA et al, 2014b).



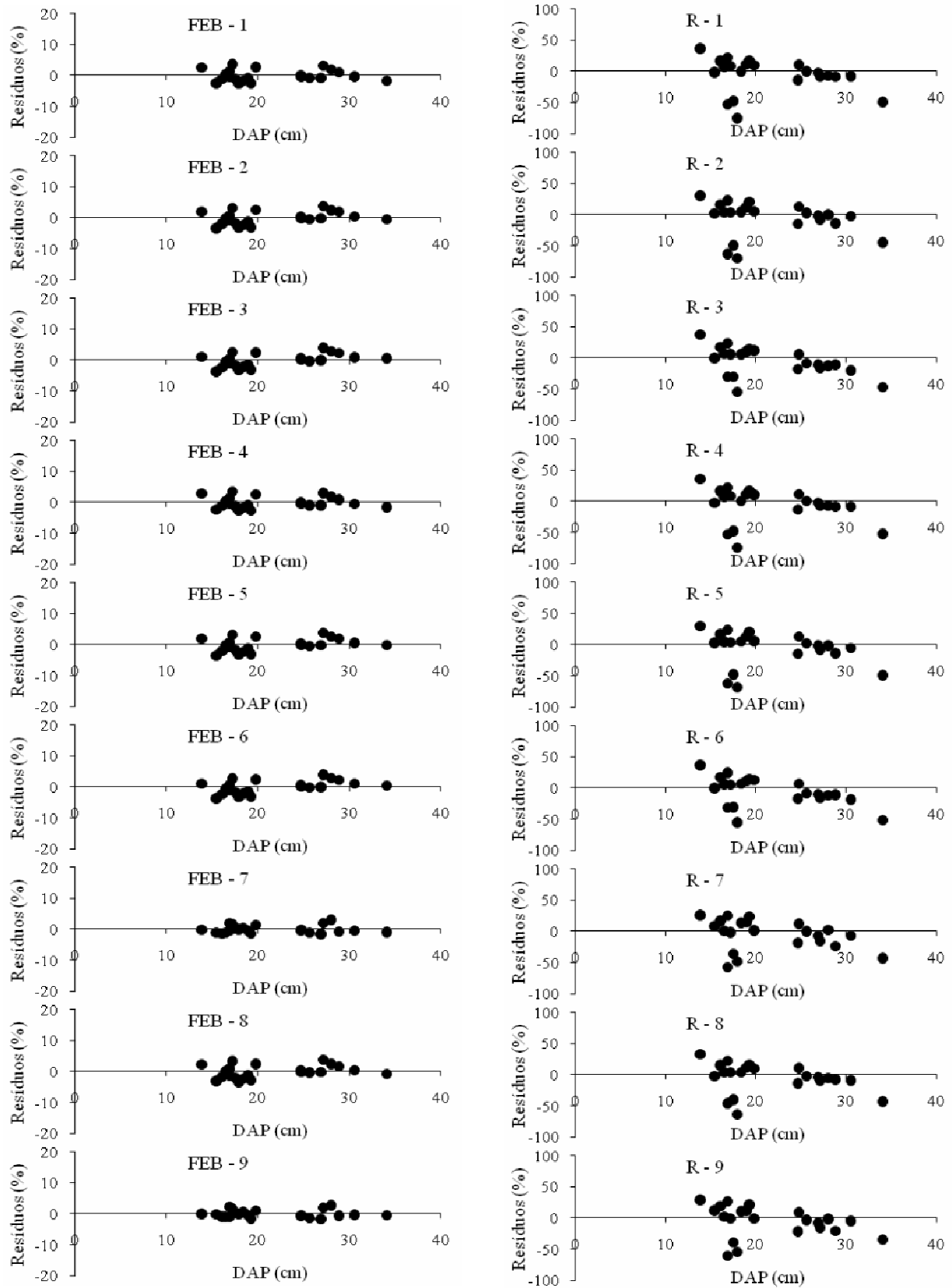
**FIGURA 1** – Relações entre as variáveis FEB, R, DAP, H e Idade.

### Modelos para estimar FEB e R em função de DAP, H e Idade

Na Tabela 3 e na Figura 2 a seguir estão as estatísticas de ajuste e a análise gráfica de resíduos dos modelos testados para estimativa de FEB e R.

**TABELA 3** – Grandezas estatísticas de ajuste dos modelos para estimar FEB e R.

<b>RESULTADOS PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA FEB</b>								
Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$	$S_{yx}\%$
1	1,01402	0,0016	-	-	-	0,208	0,020	1,940
2	1,02844	0,0006	-	-	-	0,029	0,023	2,147
3	1,05055	-0,0001	-	-	-	0,004	0,023	2,174
4	0,93817	0,0367	-	-	-	0,209	0,020	1,938
5	0,99347	0,0160	-	-	-	0,018	0,023	2,160
6	1,04776	0,0006	-	-	-	0,002	0,023	2,177
7	1,09172	0,0064	-	-	-	0,633	0,015	1,391
8	0,97395	0,0084	-	-	-	0,048	0,022	2,126
9	1,03249	0,2588	-	-	-	0,655	0,015	1,389
<b>RESULTADOS PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA R</b>								
1	0,09038	-0,0008	-	-	-	0,211	0,018	24,274
2	0,11188	-0,0012	-	-	-	0,264	0,017	23,449
3	0,08896	-0,0014	-	-	-	0,322	0,016	22,503
4	0,12794	-0,0182	-	-	-	0,216	0,018	24,196
5	0,19677	-0,0356	-	-	-	0,262	0,017	23,471
6	0,11183	-0,0161	-	-	-	0,310	0,017	22,694
7	0,13049	0,0016	-	-	-	0,346	0,017	23,288
8	0,15825	-0,0096	-	-	-	0,371	0,016	21,679
9	0,08214	0,11846	-	-0,0624	-0,0081	0,298	0,018	24,831



**FIGURA 2** – Distribuição dos resíduos das equações ajustados para estimar FEB e R.

Em geral, para estimativa de FEB, os modelos não apresentaram resultados satisfatórios, quanto ao coeficiente  $R^2_{aj}$ , com exceção dos modelos 7 e 9. O modelo 9 por apresentar as melhores estatísticas de ajuste foi escolhido para estimar a variável FEB em todas as idades, no entanto todos os demais modelos reportam um  $S_{yx}\%$  menor de 1,38%, e são uma alternativa quando considerados os custos na obtenção das variáveis, além de propiciarem estimativas mais próximas ao valor real e não tendenciosas. Estes resultados se devem a homogeneidade dos dados, como se pode ser observado na estatística descritiva (Tabela 1), com desvio padrão de 0,022 e coeficiente de variação de 0,021 para a variável FEB. O índice de ajuste dos modelos ajustados para estimar FEB variou de 0,002 a 0,655. Os coeficientes de ajuste dos modelos para estimativas de FEB apresentam valores muito próximos a zero. Conforme observado na Figura 1, o valor de FEB não varia muito com o aumento do DAP, da altura e da idade, possibilitando assim o uso do valor *default*.

O coeficiente  $R^2_{aj}$  dos modelos ajustados para estimar R oscilou de 0,21 a 0,37. O modelo 8 apresentou o menor  $S_{yx}\%$ , 21,67, sendo este o modelo indicado para estimar a razão R em todas as idades. MIRANDA (2008), estimando biomassa de raízes, obteve resultados variando entre 48,05 e 73,59% para o  $S_{yx}\%$ , e  $R^2_{aj}$  de 0,65 a 0,85. HOPPE et al. (2006) encontraram  $R^2_{aj} = 0,81$  e  $S_{yx}\% = 11,5\%$  para plantios de *Platanus acerifolia*.

Observando a distribuição dos dados é possível ver a dificuldade de modelar a variável FEB, pois os dados aparentemente não têm correlação com as variáveis DAP, H e Idade. Isso justifica os valores obtidos para as estatísticas de ajuste para esta variável. É comum ver em trabalhos científicos a aplicação de transformações logarítmicas nos dados para forçá-lo a seguir uma distribuição ou tendência, este procedimento é realizado para facilitar a modelagem, e é relatado em vários trabalhos como válido e robusto do ponto de vista da estatística. No presente trabalho este artifício também foi adotado, os resultados obtidos melhoraram sobremaneira, facilitando a modelagem.

### Modelos para estimativa de Carbono Total Individual

A seguir (Tabela 4), estão apresentados os resultados dos ajustes para os modelos de carbono individual para *Eucalyptus grandis*. O melhor desempenho foi do modelo 3, com  $R^2_{aj} = 0,961$  e  $S_{yx}\% = 14,14$ . Porém o modelo 1, que apresentou desempenho um pouco inferior, oferece a vantagem de não precisar da variável altura total para expressar o carbono, atingiu  $R^2 = 0,961$  e  $S_{yx}\% = 14,23$ . Percebeu-se que a variável idade, quando adicionada aos modelos, não contribuiu para a melhor nos ajustes.

**TABELA 4** – Grandezas estatísticas de ajuste dos modelos para estimar o carbono individual.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$	$S_{yx}\%$
1	120,9951	-14,3802	0,6715		0,961	14,23
2	-7,2071	0,8068	0,0075		0,955	15,59
3	107,5740	-12,3063	0,5414	0,0019	0,961	14,14
4	-14,1655	0,1574	0,0045		0,957	14,88
5	-213,8400	16,9015	-0,1904		0,926	19,59
6	-220,3640	16,5544	0,6594		0,926	19,55
7	-218,3950	16,6789	-0,1371	0,6509	0,926	20,01

## Comparação entre as estimativas da modelagem, FEB e R médios e valores default do IPCC

Para demonstrar a importância de ter-se estimativas fidedignas de FEB e R foi realizada uma comparação entre as estimativas de biomassa e carbono fixado, bem como CO<sub>2</sub> equivalente em um povoamento florestal com *Eucalyptus* de 1 hectare, utilizando simulação pelo programa SisEucalipto. Os resultados da análise comparativa entre as estimativas de estoque em biomassa total (aérea e subterrânea), carbono fixado e equivalente em CO<sub>2</sub> estão apresentados na Tabela 5.

Com base nas simulações de volume e biomassa do fuste, obtida pela multiplicação por 0,640 g/cm<sup>3</sup>, correspondente à densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* (LOBÃO et al., 2004), e também pelos valores default do IPCC (2006) (FEB=1,50 e R=0,28), chegou-se a 261,68 t/ha, que corresponde a 126,05 t C/ha, com base em um teor médio de carbono de 42,90% (DALLAGNOL et al., 2011) ou a 462,19 t CO<sub>2</sub>eq/ha. Se ao invés de utilizar os valores default do IPCC fossem usados os valores médios de FEB e R deste estudo, as estimativas seriam de 166,12 t de biomassa seca/ha, 80,02 t C/ha e 293,41 t CO<sub>2</sub>eq/ha. Considerando os valores citados no PDD da Plantar, que utiliza FEB 1,45 e R 0,38, como referência de LADEIRA (1999), obter-se-iam 269,03 t de biomassa seca/ha, 129,59 t C/ha e 475,17 t CO<sub>2</sub>eq/ha, respectivamente. Se a melhor equação para estimativa de carbono (número 3) for aplicada, percebe-se a estimativa de 80,55 t C/ha ou 295,34 t CO<sub>2</sub>eq/ha.

Os resultados acima demonstram que os projetos de MDL que usam FEB e R default do IPCC ou até mesmo valores médios calculados especificamente com dados coletados em campo podem conduzir a estimativas errôneas, que tendem a superestimar a quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente em povoamentos florestais de *Eucalyptus grandis*. Essas superestimativas foram calculadas neste estudo em 57,52% quando se usam os valores default do IPCC em relação aos valores médios encontrados por este trabalho. Ainda, em -61,95% quando se emprega o valor da literatura em relação aos valores médios de FEB e R deste trabalho. Já em relação aos valores do IPCC em comparação ao trabalho de LADEIRA (1999), a diferença foi -2,81%. Além da falta de consistência na estimativa de receita com o projeto, o ganho ambiental em termos de captura de carbono também poderia estar sendo super-dimensionado. Isto demonstra que podem estar havendo problemas metodológicos sérios nos projetos A/R (Afforestation/Reforestation) de MDL e que é necessário um estudo específico para as variáveis FEB e R, quando da construção de projetos A/R.

**TABELA 5** – Produção simulada aos 15 anos da biomassa seca total, do carbono fixado e do equivalente em CO<sub>2</sub> em 1 ha de plantação de *Eucalyptus grandis* com valores fixos de FEB e R e seus correspondentes empregando PDD da Plantar.

Variável	FEB e R default IPCC ❶	FEB e R médios ❷	FEB e R PDD Plantar ❸	Biomassa Estimada Equação ❹
<b>Biomassa total (t/ha)</b>	261,68	166,12	269,03	167,21
<b>Carbono estocado (t/ha)</b>	126,05	80,02	129,59	80,55
<b>CO<sub>2</sub> equivalente (t/ha)</b>	462,19	293,41	475,17	295,34

## CONCLUSÕES

- O fator de expansão da biomassa (FEB), para a espécie *Eucalyptus grandis*, apresentou baixa correlação com as variáveis: DAP, altura total e idade.
- O fator R tem correlação inversamente proporcional com as variáveis DAP, altura total e idade. Trabalhos dedicados a quantificar biomassa incluindo a raiz utilizando este fator devem considerar estas características.
- O método empregado nas estimativas de biomassa e carbono, influência sobremaneira os resultados gerados, devendo sempre que possível, utilizar-se de métodos que levem em consideração as particularidades das áreas avaliadas.

## REFERÊNCIAS

BALBINOT, R.; VALÉRIO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W.; SILVESTRE, R. Estoque de Carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba. v. 38, n. 2, p. 317-324, 2008.

CARON, B. O.; BALBINOT, R.; LAMBRECHT, F. R.; TRAUTENMULLER, J. W.; SABADINI, A. M.; VENDRUSCOLO, R. Fator de expansão de biomassa em floresta estacional decidual montana no Rio Grande do Sul. In: II Mensuflor, 2014, Curitiba. **Atualidades em mensuração florestal**, Curitiba, 2014, p. 174-177.

CASTEDO-DORADO, F., GÓMEZ-GACÍA, E., DIÉGUEZ-ARANDA, U., BARRIO-ANTA, M., CRESCENTE-CAMPO, F. Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in northwest Spain. **Annals of Forest Science**. v. 69, p. 735-746, 2012.

CORTE, A. P.; SILVA, F. da; SANQUETTA, C. R. Fator de expansão de biomassa e razão de raízes - parte aérea para *Pinus* spp. plantadas no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, vol. 42, n. 4, p. 755-768, 2012.

DALLAGNOL, F. S.; MOGNON, F.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. Teores de Carbono de Cinco Espécies Florestais e seus Compartimentos. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro. v. 18, n. 4, p. 410-416, 2011.

DALLAGNOL, F. S. **Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Software SISEucaliptos**. Curitiba, 2005.

ENES, T.; FONSECA, T. Quantificação da Biomassa em Pinhal Bravo recorrendo a Fatores de Conversão e Expansão (BCEFS). **Silva Lusitana**, v. 21, n. 1, p. 73 - 85, 2013.

HOPPE, J. M.; WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. Estimativa de biomassa em povoamentos de *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. estabelecidos no município de Dom Feliciano, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 463-471, 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Em CD ou no site: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch). **Guia de Boas Práticas**. 2006.

LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob três espaçamentos, em uma seqüência de idades**. 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LEHTONEN, A.; MÄKIPÄÄ, R.; HEIKKINEN, J.; SIEVÄNEN, R.; LISKI, J. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. **Forest Ecology and Management**. v. 188, p. 211-224. 2004.

LEVY, P. E.; HALE, S. E.; NICOLI, B. C. Biomass expansion factors and root: shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. **Forestry**, v. 77, n. 5, p. 421-430. 2010.

LOBÃO, M. S.; LÚCIA, R. M. D.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Árvore**, v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

MARTINS, P. J. **Biomassa vegetal, estoque de carbono e dinâmica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011.

MIRANDA, D. L. C. **Quantificação e estimativa da biomassa aérea e do carbono fixado em árvores de bracingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PETERSSON, H.; HOLM, S.; STÅHL, G.; ALGER, D.; FRIDMAN, J.; LEHTONEN, A.; LUNDSTRÖM, A.; MÄKIPÄÄ, R. Individual tree biomass equations or biomass expansion factors for assessment of carbon stock changes in living biomass – A comparative study. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam. v. 270, n. 15, p. 78–84, 2012.

ROCHA, C. C. C. **Estimativa de volume, biomassa e carbono da vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S.

Curitiba: UFPR, p. 119-140.2002.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; MOGNON, F.; MAAS, G. C. B.; RODRIGUES, A. L. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 1-8, 2014a.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; SIMON, A.; PSCHEIDT, H.; RUZA, M. S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 361-370, 2014b.

SCHIKOWSKI, A. B.; CORTE, A. P. C.; SANQUETTA, C. R. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 269-278, 2013.

SCHIKOWSKI, A. B.; CORTE, A. P. C.; SANQUETTA, C. R.; MAAS, G. C. B.; RODRIGUES, A. L. Fator de expansão de biomassa e razão raízes - parte aérea para *Populus* sp. In: II Mensuflor, 2014, Curitiba. **Atualidades em mensuração florestal**, Curitiba, p. 170-173, 2014.

SOARES, P., TOMÉ, M. Analysis of the effectiveness of biomass expansion factors to estimate stand biomass. In: Hasenauer, H., Makela, A. (eds). Modeling Forest Production. Proc. Conf. Vienna, 19-21 April (Department of Forest and Soil Sciences, BOKU University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna. 368-374p. 2004.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN A.; WEISS, P. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal of Forest Research**, [S.I.], Feb., 2006.

UN-ECE/FAO. **Forest Resources of Europe**, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand (industrialized temperate/boreal countries), UN-ECE/FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000, Main Report United Nations, New York, Geneva. 2000.