

ESTIMATIVA DA BIOMASSA COMERCIAL DE BROTOS DE *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

ESTIMATION OF BIOMASS COMMERCIAL SPROUTS OF *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

Elisabete Vuaden¹ Frederico Dimas Fleig² Gerson Luiz Selle³ Mayara Dalla Lana⁴
Gustavo Fernandes da Silva⁴ Jonas Flores Vargas⁴

RESUMO

Este estudo teve como objetivo desenvolver modelos que permitam estimar a biomassa comercial verde dos brotos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) após a poda, aos 10 anos de idade. Em setembro de 2007, 40 erveiras foram podadas, um ano após a primeira poda, em 2008, estas foram avaliadas dendrometricamente e sua biomassa comercial determinada a partir da colheita de 16 indivíduos, para as demais, a biomassa comercial foi estimada pelo somatório da biomassa dos brotos. Como resultado obteve-se que: a biomassa comercial dos brotos pode ser estimada como função do comprimento folhado dos mesmos, com modelos específicos para brotos curtos: $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$, brotos médios simples e compostos: $\ln bc = -2,1600 + 1,3861 \cdot \ln cf$ e brotos longos compostos: $\ln bc = -0,6288 + 1,0584 \cdot \ln \sum cf$; os modelos utilizados para a estimativa da biomassa comercial dos brotos que utilizam o comprimento folhado e somatório do comprimento folhado como variáveis independentes, subestimam os valores de biomassa com uma margem de erro de apenas 2,6 %.

Palavras-chave: equação; brotos; erva-mate.

ABSTRACT

This study aimed at developing some models that allow estimating the biomass of commercial green shoots of *Ilex paraguariensis* after pruning, at 10 years-old. In September 2007, 40 *Ilex paraguariensis* were pruned. One year after the first pruning, in 2008, they were evaluated dendrometrically and their biomass was determined from the commercial harvest of 16 individuals. To the others, the commercial biomass was estimated by the sum of the biomass of shoots. The result obtained is that the biomass of commercial sprouts can be estimated as a function of the length of the rolls sprouting, with specific models for sprouts short, simple and compound average sprouts and long sprouts compounds. The models used to estimate the biomass of commercial sprouts using the length sum rolls and rolls of the length as independent variables underestimate the values of biomass with a margin of error of only 2.6%.

Keyword: equation; sprouts; *Ilex paraguariensis*.

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é uma árvore típica das regiões subtropicais e temperadas da América do Sul (ALVES *et al.*, 2000), sendo amplamente difundida no sul do Brasil, nordeste da Argentina e na parte oriental do Paraguai (DA CROCE; FLOSS, 1999). Essa espécie é considerada árvore símbolo do estado do Rio Grande do Sul, exercendo um importante papel socioeconômico, cultural e ambiental, ocorrendo tanto na forma nativa quanto cultivada, constituindo-se normalmente em uma das múltiplas atividades produtivas. A colheita da erva-mate caracteriza-se pela remoção dos galhos e ramos para o aproveitamento das folhas e ramos finos, que são amplamente utilizados para a produção de diversas bebidas, destacando-se o chimarrão (FLEIG, 2002).

A quantificação da biomassa, especialmente em espécies florestais, vem ganhando cada vez mais importância e é realizada com diversos propósitos (MAGALHÃES, 1993; RIBEIRO; MADEIRA, 2003). De

1. Engenheira Florestal, Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). elisabetevuaden@yahoo.com.br
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). fdfleig@smail.ufsm.br
3. Engenheiro Florestal, Dr., Funcionário do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). hs@smail.ufsm.br
4. Acadêmicos do Curso de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).

Recebido para publicação em 27/05/2008 e aceito em 21/08/2009.

acordo com Andrae; Krapfenbauer (1983), a estimativa da biomassa é uma ferramenta fundamental na avaliação de ecossistemas, conversão de energia e ciclagem de nutrientes. É importante também na absorção e armazenagem de energia solar, fornecendo informações que facilitem a utilização racional destes. Para St. Clair (1993), o conhecimento da biomassa existente nos diversos ecossistemas é importante para a comercialização de produtos, estudos de fluxos de energia e nutrientes, estudos da contribuição dos ecossistemas para o ciclo global do carbono, bem como para avaliações de quantidade de combustíveis relacionados aos incêndios florestais.

O acúmulo de biomassa é afetado por fatores relacionados à fotossíntese, ao clima, ao sítio, à adaptação genética da espécie, ao estágio sucessional e à competição (SILVA *et al.*, 2004).

O procedimento comum para a estimativa da biomassa é o recurso da regressão, em que, após a seleção das árvores amostras, procede-se ao abate e à determinação da biomassa da componente considerada na árvore (MARTINS, 2004). Após, são ajustadas regressões para cada componente de interesse e variáveis dendrométricas da árvore. Para isso, Salati (1994) comenta que as principais variáveis relacionadas com a biomassa são o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura (h) e o volume (v).

A estimativa da biomassa comercial da erva-mate, considerando-se as variáveis dendrométricas de fácil mensuração, permite uma melhor avaliação de experimentos, prevê a produção atual sem a realização da poda, possibilitando ao técnico emitir uma recomendação correta de manejo (FLEIG *et al.* 2004). De acordo com os mesmos autores, essas estimativas são ferramentas para a realização de inventários florestais dessa espécie, pois resultam na determinação da produção de massa verde com precisão e baixo custo.

Considerando a elevada importância da estimativa da biomassa para o manejo dessa espécie, o objetivo deste trabalho é desenvolver modelos matemáticos que permitam estimar a biomassa comercial verde dos brotos de erva-mate podadas.

MATERIAL E MÉTODO

Localização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Santa Maria, em erva-mate (*Ilex paraguariensis*) com 10 anos de idade e espaçamento de plantio de 1 m na linha e 3 m nas entrelinhas, localizado na Área Experimental do Departamento de Ciências Florestais, em frente ao Jardim Botânico, no campus da UFSM.

As plantas de erva-mate não haviam sofrido nenhum tipo de intervenção silvicultural anteriormente, possuindo valores médios de diâmetro de copa igual a 1,44 m, altura total de 3 m e área basal a 0,60 m de altura igual a 0,0019 m³, aos 9 anos de idade.

O clima predominante do campus da Universidade Federal de Santa, segundo a classificação de Köpen, é do tipo Cfa, com as temperaturas médias do mês mais frio entre 13°C e 18°C, e do mês mais quente superiores a 22°C, com a média anual também ficando com este valor. A precipitação pluviométrica é em torno dos 1.700 mm, distribuídos regularmente durante todo o ano e, com o maior número de dias com geada ocorrendo nos meses de junho e julho (MALUF, 2000).

O solo é do tipo Argissolo Bruno Acinzentado Alítico Úmbrico, conforme a classificação brasileira de solos. Esses solos apresentam drenagem moderada ou imperfeita que os mantém saturados com água em determinados períodos do ano (STRECK *et al.*, 2008).

Variáveis mensuradas

Em setembro de 2007, quando as erva-mate tinham 9 anos de idade, foram podadas à altura de 0,60 m de altura, um ano após poda, em 2008, foram medidas as suas seguintes variáveis:

a) **ht** – Altura total da erva-mate (m): Corresponde à distância do solo até a altura média dos brotos mais altos, medida com régua de 3 m;

b) **dmc** – Diâmetro médio da copa (m): Obtido pela média dos oito raios com ângulos entre si de 45°, multiplicado por dois. Para determinação acurada dos raios e ângulos, utilizou-se um gabarito desmontável, com sistema de encaixe macho-fêmea, confeccionado com tubos de aço de seção quadrada, com bitolas de 15 e 20 mm;

c) **ac** – Área de projeção da copa (m²): Para determinação da área de projeção da copa (ac), em m²,

utilizou-se a seguinte fórmula: $ac = 0,25 \cdot \pi \cdot (dmc)^2$;

d) **c3** – Comprimento médio dos três brotos mais longos (cm): Determinado pela média dos comprimentos dos três brotos mais longos de cada erveira, com auxílio de trena;

e) **ct** – Comprimento total (cm): Corresponde ao comprimento total do eixo principal de cada broto das erveiras. Determinado com auxílio de trena de resolução de 0,001 m;

f) **cf** – Comprimento folhado (cm): Corresponde ao comprimento do eixo principal de cada broto que possui folhas. Determinado com auxílio de trena;

g) **nf** – Número de folhas: Obtido mediante a contagem do número de folhas do eixo principal de cada broto;

h) $\sum ct$ – Somatório do comprimento total (cm): Corresponde ao somatório do comprimento total do eixo principal mais os eixos (ramos) secundários de cada broto. Determinado com auxílio de fita métrica;

i) $\sum cf$ – Somatório do comprimento folhado (cm): Corresponde ao somatório do comprimento do eixo principal mais os eixos (ramos) secundários de cada broto que possui folhas. Determinado com auxílio de trena;

j) $\sum nf$ – Somatório do número de folhas: Determinado pelo somatório do número de folhas do eixo principal mais os eixos (ramos) secundários de cada broto.

k) **dm** – Diâmetro médio (mm): Obtido através da relação do somatório dos diâmetros de cada broto pelo número de brotos de cada árvore;

l) **nrs** – Número de ramos secundários: Obtido pela contagem do número de ramos secundários originados do eixo principal de cada broto.

m) **bc** – Biomassa comercial (g): Determinada a partir do peso verde da biomassa comercial de 16 erveiras podadas (segunda poda) à altura de 0,60 m, com auxílio de balança digital de 5 Kg de capacidade de carga. Para as demais, decidiu-se modelar a biomassa dos brotos e somar suas estimativas para a obtenção da biomassa comercial.

Para encontrar uma equação que estimasse a biomassa comercial, primeiramente, dividiram-se os brotos das 16 erveiras podadas em três categorias, conforme seus comprimentos totais, devido às suas características diferenciadas: a) brotos curtos, com comprimento total entre 0 a 10 cm, cujo comprimento entre cada entrenó é bem menor que os brotos mais longos; b) brotos longos simples (sem inserções secundárias), que possuem somente eixo principal e comprimento maior que 10 cm; c) brotos longos compostos (com inserções secundárias), ou seja, brotos com eixo principal ortotrópico com ramos ou inserções secundárias plagiotrópicas, com mais de 10 cm de comprimento.

A escolha do modelo, para descrever a biomassa comercial, foi aquele que apresentou o menor coeficiente de variação (CV%), o maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajus}), o maior F e a melhor distribuição dos valores observados x estimados.

As análises do experimento foram realizadas com o auxílio do Software Statistical Analysis System (SAS), versão 9.1 (SAS Institute Inc., 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativa da biomassa comercial

Brotos curtos

Considerando a Tabela 1, verifica-se que todas as variáveis testadas para brotos curtos apresentaram correlação significativa a 1% de probabilidade de erro, no entanto, o comprimento folhado (cf) apresentou maior correlação com a biomassa comercial, seguido pelo comprimento total (ct).

TABELA 1: Coeficiente de correlação de Pearson para brotos curtos (de 1 a 10 cm) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 1: Coefficient of correlation of Pearson for short sprouts (from 1 to 10 cm) of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| Variáveis | bc | d | ct | cf | nf |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| bc | - | 0,58** | 0,71** | 0,90** | 0,48** |
| d | 0,58** | - | 0,58** | 0,60** | 0,62** |
| ct | 0,71** | 0,59** | - | 0,86** | 0,46** |
| cf | 0,90** | 0,60** | 0,86** | - | 0,56** |
| nf | 0,49** | 0,62** | 0,46** | 0,56** | - |

Em que: bc = biomassa comercial do broto; d = diâmetro do colo broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento do broto folhado; nf = número de folhas por broto; ** = significância a 1 %.

As equações geradas para a estimativa da biomassa comercial de brotos curtos de erveiras podadas aos 10 anos apresentaram bons ajustamentos. Destaca-se a equação 5, pois apresentou baixo valor de coeficiente de variação, altos valores da estatística F e o segundo melhor coeficiente de determinação ajustado (Tabela 2).

TABELA 2: Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos curtos (1 a 10 cm) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 2: Statistics of the models selected by Stepwise for short sprouts (1 to 10 cm) of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| Var. dep. | N. | Modelo | Parâmetros | CV% | F | R ² aj |
|-------------|----|---|---|-------|----------|-------------------|
| bc | 1 | $bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2$ | $b_0 = 0,6579^{**}$ $b_1 = 0,0289^{**}$ | 14,74 | 338,85** | 0,88 |
| | 2 | $bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2 + b_2 \cdot \ln ct$ | $b_0 = 1,0142^{**}$ $b_1 = 0,0323^{**}$ $b_2 = -0,2341^*$ | 14,43 | 178,10** | 0,89 |
| ln bc | 3 | $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2$ | $b_0 = -0,2159^{**}$ $b_1 = 0,0183^{**}$ | 46,1 | 300,31** | 0,87 |
| | 4 | $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot cf^2 + b_2 \cdot ct^2$ | $b_0 = -0,1831^{**}$ $b_1 = 0,0222^{**}$ $b_2 = -0,0023^*$ | 43,97 | 167,68** | 0,88 |
| \sqrt{bc} | 5 | $\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot cf^2$ | $b_0 = 0,8682^{**}$ $b_1 = 0,0113^{**}$ | 7,08 | 355,77** | 0,89 |
| | 6 | $\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot cf^2 + b_2 \cdot ct^2$ | $b_0 = 0,8882^{**}$ $b_1 = 0,0136^{**}$ $b_2 = -0,0014^*$ | 6,69 | 202,49** | 0,90 |
| 1/bc | 7 | $1/bc = b_0 + b_1 \ln cf$ | $b_0 = 1,5575^{**}$ $b_1 = -0,5222^{**}$ | 14,34 | 314,11** | 0,88 |
| | 8 | $1/bc = b_0 + b_1 \cdot \ln cf + 1/cf$ | $b_0 = 2,1845^{**}$ $b_1 = -0,8044^{**}$ $b_2 = -0,7528^{**}$ | 12,79 | 203,40** | 0,90 |

Em que: bc = biomassa comercial do broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento folhado do broto; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = teste de F; * = significância a 5 %; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

Na tentativa de melhorar as estatísticas, adicionando outra variável a esse modelo como o comprimento total do broto, não se obteve resultado satisfatório, uma vez que o valor do coeficiente de determinação apresentou pequena variação, passando de 0,89 para 0,90. O coeficiente de variação também

sofreu pequena modificação, passando de 7,08 a 6,69; já o valor de F, por sua vez, diminuiu de 355,77 para 202,49. Como a adição da variável comprimento total do broto principal ao modelo não foi capaz de explicar com um nível mais expressivo de significância e, por motivos de praticidade, a biomassa de brotos curtos foi estimada somente pelo comprimento folhado do broto para esse povoamento de erveiras, sendo, para tanto, selecionada a seguinte equação: $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$.

A partir da plotagem dos dados observados e estimados, observa-se que a equação selecionada não demonstra tendenciosidade em superestimar ou subestimar os valores de biomassa comercial para brotos curtos (Figura 1).

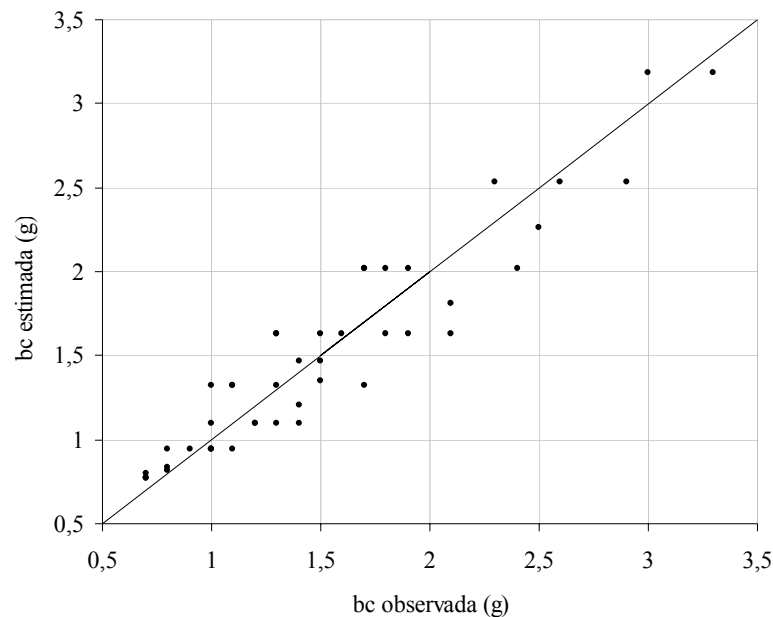


FIGURA 1: Distribuição dos valores observados e estimados da biomassa comercial (bc) de brotos curtos (0-10 cm) de erveiras podadas aos 10 anos de idade utilizando a equação: $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$.

FIGURE 1: Distribution of the observed values and estimated of the commercial biomass (bc) starting from the equation: $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$ for short sprouts of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

Brotos longos simples

Grande parte das correlações entre as variáveis medidas dos brotos longos simples (sem inserções secundárias) apresentou valores altamente significativos (Tabela 3).

TABELA 3: Coeficiente de correlação de Pearson para brotos longos simples de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 3: Coefficient of correlation of Pearson for simple long sprouts of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| Variáveis | bc | d | ct | cf | nf |
|-----------|--------|--------|--------|--------|----|
| bc | - | | | | |
| d | 0,83** | - | | | |
| ct | 0,91** | 0,77** | - | | |
| cf | 0,95** | 0,79** | 0,96** | - | |
| nf | 0,88** | 0,76** | 0,83** | 0,88** | - |

Em que: bc = biomassa comercial do broto; d = diâmetro do colo broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento folhado do broto; nf = número de folhas por broto; ** = significância a 1%.

De acordo com as estatísticas dos modelos selecionados pelo procedimento passo a passo (Stepwise), da Tabela 4, constata-se que o comprimento folhado e o diâmetro explicam de forma satisfatória a biomassa comercial, destacando-se as equações 3 e 4, cuja logaritmização das variáveis biomassa e comprimento folhado resultou em menor coeficiente de variação (CV%), o que gerou altos valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Como a adição da variável diâmetro ao modelo 3 contribuiu pouco para melhorar as estatísticas do modelo, a biomassa comercial foi estimada somente pelo comprimento do broto folhado a partir da seguinte equação: $\ln bc = -2,1456 + 1,3808 \ln . cf$, sendo a distribuição dos seus valores estimados observável na Figura 2.

TABELA 4: Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos longos simples de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 4: Statistics of the models selected by Stepwise for simple long sprouts of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| Var. dep. | N. | Modelo | Parâmetros | CV% | F | R^2_{aj} |
|-------------|----|---|--|-------|-----------|------------|
| bc | 1 | $bc = b_0 + b_1 cf^2$ | $b_0 = 3,6975^{**}$ $b_1 = 0,0090^{**}$ | 28,42 | 4023,27** | 0,89 |
| | 2 | $bc = b_0 + b_1 . cf^2 + b_2 \ln d^2$ | $b_0 = -0,0319^{ns}$ $b_1 = 0,0076^{**}$ $b_2 = 2,3084^{**}$ | 24,34 | 2831,64** | 0,92 |
| ln bc | 3 | $\ln bc = b_0 + b_1 \ln cf$ | $b_0 = -2,1456^{**}$ $b_1 = 1,3808^{**}$ | 10,66 | 5841,99** | 0,92 |
| | 4 | $\ln bc = b_0 + b_1 . \ln cf + b_2 \ln d^2$ | $b_0 = -1,8807^{**}$ $b_1 = 1,1760^{**}$ $b_2 = 0,1738^*$ | 9,29 | 3928,01** | 0,94 |
| \sqrt{bc} | 5 | $\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \ln cf$ | $b_0 = -3,3359^{**}$ $b_1 = 2,0903^{**}$ | 15,5 | 2924,87** | 0,85 |
| | 6 | $\sqrt{bc} = b_0 + b_1 cf^2 + b_2 d^2$ | $b_0 = -2,0524^{**}$ $b_1 = 1,5046^{**}$ $b_2 = 0,0438^*$ | 11,35 | 2942,68** | 0,92 |
| 1/bc | 7 | $1/bc = b_0 + b_1 \ln cf$ | $b_0 = -0,0534^{**}$ $b_1 = 4,0724^{**}$ | 27,12 | 3998,51** | 0,89 |
| | 8 | $1/bc = b_0 + b_1 \ln cf + 1/cf$ | $b_0 = -0,0818^{**}$ $b_1 = 3,5347^{**}$ $b_2 = 0,0534^{**}$ | 26,11 | 1978,20** | 0,89 |

Em que: bc = biomassa comercial do broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento folhado do broto; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = teste de F; * = significância a 5%; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

Os valores observados e estimados apresentaram boa distribuição (Figura 2); no entanto, quando a biomassa comercial aumenta (partindo de 34 g), a equação passa a adquirir uma tendência de subestimar.

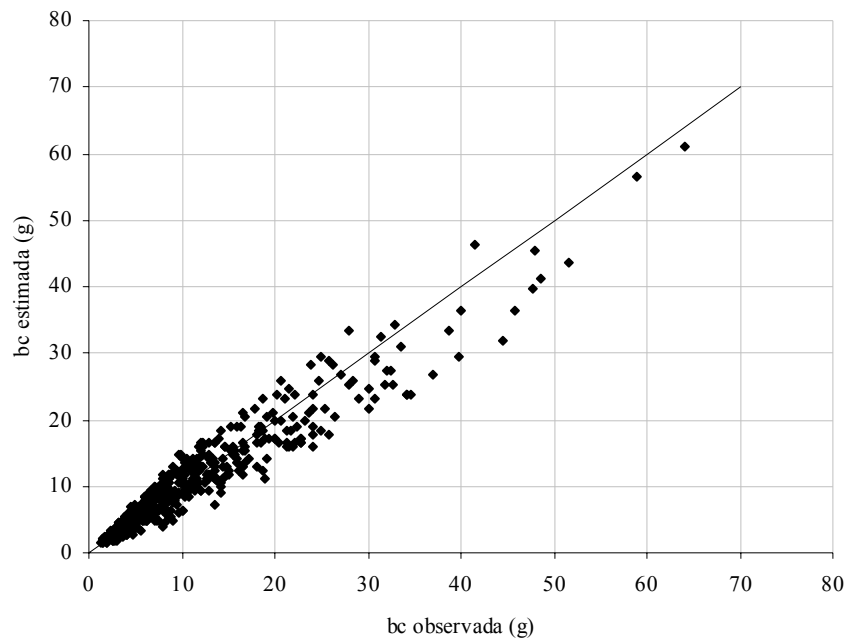


FIGURA 2: Distribuição dos valores de biomassa comercial (bc) observados e estimados partindo da equação $\ln bc = -2,1456 + 1,3808 \ln cf$, para brotos longos (comprimento > 10 cm) simples de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

FIGURE 2: Distribution of the values of commercial biomass (bc) observed and estimated starting from the equation $\ln bc = -2,1456 + 1,3808 \ln cf$, for simple long sprouts of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

Brotos longos compostos

Observando os ajustes das análises de correlação realizados entre as variáveis medidas dos brotos longos compostos (com ramos secundários), (Tabela 5), verifica-se que grande parte das correlações apresentou valores significativos positivos. Para a variável biomassa comercial, o somatório do comprimento folhado ($\sum cf$) e o somatório do comprimento total do broto apresentaram maior correlação. As demais variáveis apresentaram valores decrescentes de correlação na seguinte ordem: $\sum nf > d > cf > ct > nrs$.

TABELA 5: Coeficiente de correlação de Pearson para brotos longos com inserções secundárias de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 5: Coefficient of correlation of Pearson for long sprouts with secondary inserts of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| Var. | bc | nrs | d | $\sum ct$ | $\sum cf$ | $\sum nf$ | ct | cf | nf |
|-----------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|----|
| bc | - | | | | | | | | |
| nrs | 0,76** | - | | | | | | | |
| d | 0,88** | 0,68** | - | | | | | | |
| $\sum ct$ | 0,94** | 0,87** | 0,84** | - | | | | | |
| $\sum cf$ | 0,96** | 0,84** | 0,85** | 0,98** | - | | | | |
| $\sum nf$ | 0,91** | 0,86** | 0,85** | 0,95** | 0,95** | - | | | |
| ct | 0,83** | 0,51** | 0,80** | 0,80** | 0,79** | 0,71** | - | | |
| cf | 0,86** | 0,55** | 0,83** | 0,83** | 0,83** | 0,75** | 0,98** | - | |
| nf | 0,77** | 0,43** | 0,83** | 0,69** | 0,72** | 0,72** | 0,84** | 0,87** | - |

Em que: bc = biomassa comercial do broto; nrs = número de ramos secundários; d = diâmetro do colo broto; $\sum ct$ = somatório do comprimento total do broto; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado do broto; $\sum nf$ = somatório do número de folhas do broto; ct = comprimento total do broto; cf = comprimento folhado do broto; nf = número de folhas do broto; ** = significância a 1%.

As estatísticas de análise de regressão feitas pelo procedimento passo a passo entre as variáveis que apresentaram correlação com a biomassa comercial, são apresentados na Tabela 6. Verifica-se que as variáveis d , $\sum cf$ e $\sum nf$ geraram boas estimativas para a biomassa comercial de brotos longos compostos. Como ocorrido para os brotos longos simples, a logaritmização das variáveis dependentes e independentes melhorou as estatísticas do modelo (equações 3 e 4). Por praticidade e por apresentar bons ajustes, optou-se por estimar a biomassa comercial em função de somente uma variável ($\sum cf$), sendo a equação selecionada a de número 3 (Tabela 6): $\ln bc = -1,2676 + 1,1780 \cdot \ln \sum cf$.

TABELA 6: Estatística dos modelos selecionados por Stepwise para brotos longos compostos (comprimento >10 cm) de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 6: Statistics of the models selected by Stepwise for long sprouts composed of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| Var. dep. | N. | Modelo | Parâmetros | CV% | F | R ² aj |
|-------------|----|--|--|-------|-----------|-------------------|
| bc | 1 | $bc = b_0 + b_1 \cdot d^2$ | $b_0 = 2,1806^{ns}$ $b_1 = 1,2481^{**}$ | 29,58 | 785,93** | 0,88 |
| | 2 | $bc = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot \sum cf^2$ | $b_0 = 16,8411^{**}$ $b_1 = 0,8051^{**}$ $b_2 = 0,0006^{**}$ | 22,38 | 726,20** | 0,93 |
| ln bc | 3 | $\ln bc = b_0 + b_1 \ln \sum cf$ | $b_0 = -1,2676^{**}$ $b_1 = 1,1780^{**}$ | 5,05 | 1440,01** | 0,93 |
| | 4 | $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln \sum cf + b_2 \cdot \ln d^2$ | $b_0 = -0,9346^{**}$ $b_1 = 0,8476^{**}$ $b_2 = 0,3023^{**}$ | 4,42 | 958,09** | 0,95 |
| \sqrt{bc} | 5 | $\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot \ln \sum cf$ | $b_0 = -16,7311^{**}$ $b_1 = 5,5167^{**}$ | 12,01 | 1191,61** | 0,92 |
| | 6 | $\sqrt{bc} = b_0 + b_1 \cdot \sum cf^2 + b_2 \cdot d^2$ | $b_0 = -9,2025^{**}$ $b_1 = 3,5216^{**}$ $b_2 = 0,0236^{**}$ | 8,83 | 1146,51** | 0,95 |
| 1/bc | 7 | $1/bc = b_0 + b_1 1/\sum nf$ | $b_0 = -0,0045^{**}$ $b_1 = 1,2561^{**}$ | 32,37 | 863,10** | 0,89 |
| | 8 | $1/bc = b_0 + b_1 1/\sum nf + \ln (cf/\sum nf)$ | $b_0 = 0,0049^{**}$ $b_1 = 1,2835^{**}$ $b_2 = -0,0183^{**}$ | 26,63 | 662,96** | 0,92 |

Em que: bc = biomassa comercial do broto; d = diâmetro do colo do broto; $\sum nt$ = somatório do número de folhas do broto; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado do broto; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = teste de F; * = significância a 5%; ** = significância a 1%; ns = não significativo.

Partindo da equação selecionada para estimar brotos longos compostos, plotaram-se os valores observados e estimados (Figura 3), apresentando uma distribuição satisfatória destes.

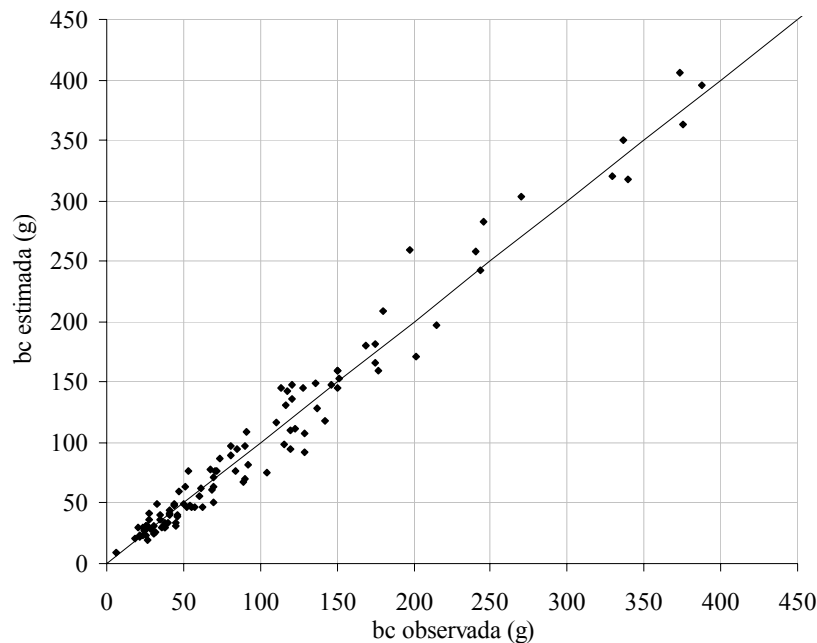


FIGURA 3: Distribuição dos valores de biomassa comercial (bc) observados e estimados partindo da equação: $\ln bc = -1,2676 + 1,1780 \cdot \ln \sum cf$, para brotos longos compostos de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

FIGURE 3: Distribution of the values of commercial biomass (bc) observed and estimated starting from the equation: $\ln bc = -1,2676 + 1,1780 \cdot \ln \sum cf$, for long sprouts composed of *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

Análise de covariância

Para verificar a possibilidade de utilização de uma única equação para estimar brotos longos simples e compostos, foi realizada a análise de covariância, observando se as tendências das variáveis estudadas possuem mesma inclinação e nível. Os resultados são apresentados nas Tabelas 7 e 8 respectivamente. Cabe ressaltar que, como os brotos simples atingem comprimento folhado máximo em torno de 100 cm e comprimento total de 110 cm, para serem comparados com os brotos compostos, na análise de covariância, utilizaram-se somente brotos compostos de modo que o somatório do comprimento folhado não ultrapassasse esse valor para facilitar a comparação.

TABELA 7: Análise de covariância da biomassa comercial para verificar a diferença de inclinação entre as categorias (2 - brotos longos simples e 3 - longos compostos) do modelo $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ ou } \sum cf)$ para erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 7: Analysis of covariância of the commercial biomass to verify the inclination difference among the categories (2 - simple long sprouts and 3 - long composed) of the model $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ or } \sum cf)$ for *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|---------------------|-----|----------|----------|---------|-----------|
| Modelo | 3 | 374,4561 | 124,8187 | 2534,29 | <0,0001 |
| $\ln cf$ | 1 | 22,8337 | 22,8337 | 463,61 | <0,0001 |
| cat. | 1 | 0,0076 | 0,0076 | 0,16 | 0,6935 |
| $\ln cf \cdot cat.$ | 1 | 0,0055 | 0,0055 | 0,11 | 0,7369 |
| Resíduo | 537 | 26,4483 | 0,0492 | | |
| Total | 540 | 400,9044 | | | |

Em que: cf = comprimento do broto folhado (cm); cat = categorias; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de *F* calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

O teste de covariância para a equação, no modelo com interação (Tabela 8), pela soma de quadrados do tipo III (soma de quadrados de produtos corrigidos), resultou num valor de $F = 0,11$ para a interação, não significativo ao nível de 1%, demonstrando que as inclinações são iguais.

TABELA 8: Análise de covariância da biomassa comercial para verificar a diferença de nível entre categorias (2 – brotos longos simples e 3 – longos compostos) do modelo $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ ou } \sum cf)$ para erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 8: Analysis of covariância of the commercial biomass to verify the level difference among categories (2 - simple long sprouts and 3 - long composed) of the model $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ or } \sum cf)$ for *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|----------|-----|----------|----------|---------|-----------|
| Modelo | 3 | 374,4561 | 187,2252 | 3807,65 | <0,0001 |
| $\ln cf$ | 1 | 295,2014 | 295,2014 | 6003,60 | <0,0001 |
| cat. | 1 | 0,0289 | 0,0289 | 0,59 | 0,4431 |
| Resíduo | 537 | 26,4483 | 0,0492 | | |
| Total | 540 | 400,9044 | | | |

Em que: cf = comprimento do broto folhado (cm); cat = categorias; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.> F = nível de probabilidade de erro.

O modelo sem interação (Tabela 8) apresentou $F = 0,59$ para as categorias, não significativo ao nível de 1%, calculado pela soma de quadrados do tipo III, mostrando que os níveis não diferem.

Como as equações para brotos longos simples e compostos que possuem comprimento total até 110 cm não diferem em nível e inclinação, reorganizaram-se novamente as categorias 2 e 3, que passaram a ser definidas como: Categoria 2 – formada por brotos simples e compostos, de comprimento médio, com ct e $\sum ct$ entre 11 a 110 cm; Categoria 3 – formada por brotos compostos longos com $\sum ct$ superior a 110 cm.

Os resultados dos novos modelos ajustados a essas classes de dados (categorias 2 e 3) são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9: Estatística dos modelos das categorias 2 (brotos simples e compostos, com comprimento médio 11 a 110 cm) e 3 (brotos compostos longos com comprimento > 110 cm) para erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 9: Statistics of the models of the categories 2 (simple and composed sprouts, with medium length) and 3 (long sprouts) for *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

| Categorias | Modelo | Parâmetros | CV% | F | R ² |
|------------|---|---|------|------------|----------------|
| 2 | $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln (cf \text{ ou } \sum cf)$ | $b_0 = -2,1600^{**}$ $b_1 = 1,3861^{**}$ | 10,1 | 7620,53 ** | 0,93 |
| 3 | $\ln bc = b_0 + b_1 \cdot \ln \sum cf$ | $b_0 = -0,6288^*$ $b_1 = 1,0584^{**}$ | 4,29 | 390,86 ** | 0,86 |

Em que: cf = comprimento folhado; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado; bc = biomassa comercial; b_0 , b_1 = parâmetros das equações; R²aj = coeficiente de determinação; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; F = teste de F; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

Resumidamente, para a estimativa da biomassa comercial dos brotos, utilizaram-se três modelos que estão descritos na Tabela 10, sendo suas plotagens apresentadas na Figura 4.

TABELA 10: Descrição das categorias juntamente com os modelos utilizados para a estimativa da biomassa comercial do broto de erveiras podadas aos 10 anos de idade.

TABLE 10: Description of the categories together with the models used for the estimate of the commercial biomass of *Ilex paraguariensis* trees sprout pruned at 10 years-old.

| Cat. | Nome | Comprimento dos brotos | Modelo |
|------|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 | Brotos curtos | Ct de 1 a 10 cm | $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$ |
| 2 | Brotos médios simples e compostos | ct e $\sum ct$ de 11 a 110 cm | $\ln bc = -2,1600 + 1,3861 \ln cf$ ou $\ln \sum cf$ |
| 3 | Brotos longos compostos | $\sum ct > 110$ cm | $\ln bc = -0,6288 + 1,0584 \ln \sum cf$ |

Em que: cat = categorias de brotos; ct = comprimento total do broto; $\sum ct$ = somatório do comprimento total do broto; bc = biomassa comercial do broto; cf = comprimento folhado do broto; $\sum cf$ = somatório do comprimento folhado do broto.

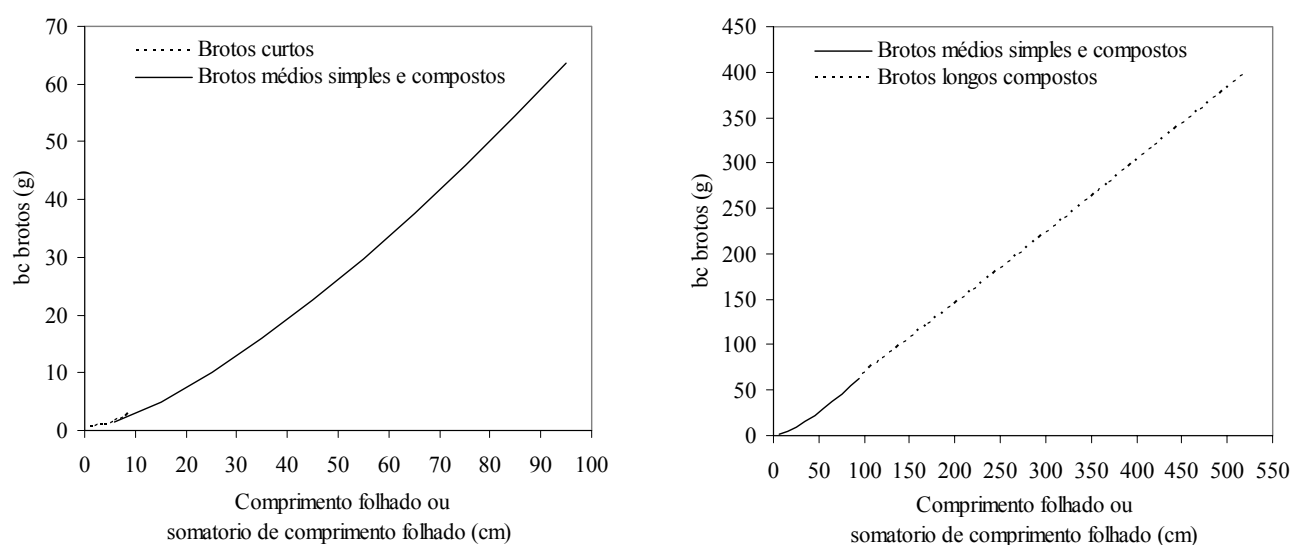


FIGURA 4: Estimativa da biomassa comercial (bc) para as categorias “brotos curtos”, “brotos médios simples e compostos” e “brotos longos compostos” para erveiras podadas aos 10 anos de idade.

FIGURE 4: Estimate of the commercial biomass (bc) for the categories “short sprouts”, “simple medium sprouts and composed” and “long sprouts composed” for *Ilex paraguariensis* trees pruned at 10 years-old.

O valor médio observado da biomassa comercial dos brotos por erveira foi de 1.026 g e o estimado obtido partindo das equações encontradas para cada uma das categorias (Tabela 10) foi 999 g. Então, pode-se inferir que os modelos utilizados para a estimativa da biomassa comercial dos brotos que utilizam o comprimento folhado e somatório do comprimento folhado como variáveis independentes, subestimam os valores de biomassa com uma margem de erro de apenas 2,6 %.

Fleig *et al.*, (2004), para a determinação da biomassa comercial da poda de erveiras reflorestadas, com idade aproximada de 14 anos, constataram que essa biomassa pode ser estimada como função do fator de copa (Fc) e das dimensões da copa, por meio da seguinte equação $BC = (0,553 + 0,205 Fc) \cdot (Dc8^2 \cdot ht)$. Já Berger (2006), as variáveis área de projeção da copa e diâmetro do tronco a 0,60 m do solo quando inseridas no modelo estimaram a biomassa de folhas mais talos de erveiras com idade entre 10 e 12 anos.

Da Croce *et al.* (1994) determinaram a biomassa foliar com base no volume e na densidade da copa, sendo que o cone formado pelo diâmetro da copa e pela altura da árvore estimou o volume. No entanto, as árvores não foram podadas, não sendo possível estabelecer relações entre as variáveis e a produção real.

Ao estudarem modelos de regressão para estimar a biomassa de três diferentes espécies de carvalho

na Croácia, autores constataram que, para a espécie *Quercus ilex*, o aumento do número de fustes indica, quando incluído no modelo, diminuição da biomassa individual de cada tronco, pois essa variável descreve competição entre fustes de uma mesma árvore, enquanto que, para as outras duas espécies (*Quercus pubescens* e *frainetto*), o efeito é inverso (TOPIC et al. 2000).

Baggio et al. (1995), para a estimativa da biomassa aérea da bracatinga, verificaram que a função composta com a variável DAP apresentou maior precisão, sendo o modelo $y = a.dap^b$ indicado para estimar as frações e a biomassa aérea total. Barrichello (2003), para a quantificação da biomassa de *Acacia mearnsii* De Wild, encontrou a mesma equação, porém logaritmizada, estimando com precisão a biomassa nos diferentes componentes da árvore.

CONCLUSÕES

A biomassa comercial dos brotos pode ser estimada por equações matemáticas específicas que consideram o comprimento folhado das seguintes variáveis:

- a) brotos curtos (comprimento até 10 cm): $\sqrt{bc} = 0,8682 + 0,0113 \cdot cf^2$;
- b) brotos médios simples e compostos (comprimento de 11 a 110 cm): $\ln bc = -2,1600 + 1,3861 \cdot \ln cf$;
- c) brotos longos compostos (comprimento >110 cm): $\ln bc = -0,6288 + 1,0584 \cdot \ln \sum cf$.

As equações matemáticas utilizadas para realizar a estimativa da biomassa comercial dos brotos das erveiras com base no comprimento folhado e no somatório do comprimento folhado como variáveis independentes, subestimaram os valores de biomassa com apenas 2,6% de margem de erro.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal por oportunizar a realização deste trabalho, bem como a CAPES, pelo fornecimento da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. F. A. et al. Ácaros fitófagos da erva-mate: situação atual e perspectivas de controle. In: CONGRESSO SUL- AMERICANO DE ERVA-MATE, 2., 2000, Encantado. **Anais...** Encantado, Evangraf, 2000. p. 39-42.
- ANDRAE, F.; KRAPPENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo – RS: inventário de nutrientes. In: _____. **Pesquisa austriaco-brasileira (1973-1982)**. Santa Maria, 1983. p. 30-55.
- BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A.; SANMIGUEL, A. A. Equações para a estimativa de peso da biomassa aérea de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 30/31, p. 37-49, jan./dez. 1995.
- BARRICHELO, L. R. **Quantificação da Biomassa e dos Nutrientes em Floresta de *Acácia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil**. 2003. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. ST.-Hil.), no município de Nova Prata, RS**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- DA CROCE, D. M.; HIGA, A. R.; FLOSS, P. A.. **Escolha de fontes de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) para Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 23 p. (Boletim Técnico, 69).
- DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. **Cultura da Erva-Mate no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1999. 81 p. (Boletim Técnico, 100).
- FLEIG, F. D. **Morfometria e quantificação da biomassa comercial e residual da poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em reflorestamentos**. 2002. 140 f.. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Determinação da biomassa comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em função do diâmetro da copa, altura total e área folhada da copa. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. p. 374-380.
- MAGALHÃES, R. A. S. dos. **Quantificação e localização da biomassa florestal**. Coimbra, 1993. 145 f. Monografia (Estágio Profissionalizante)- Escola Superior agrária de Coimbra. Instituto Politécnico de Coimbra.

- MALUF, J. R. T., Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, jan./abr. 2000.
- MARTINS, F. B. **Estabelecimento de equações de biomassa para *Pinus pinaster* Aiton.** 2004. 92 f. Monografia (Relatório de estágio)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- RIBEIRO, C.; MADEIRA, M. Decomposição e liberação de nutrientes de agulhas de *Pinus pinaster* na região Centro Litoral de Portugal. In: ENCONTRO ANUAL SOCIEDADE PORTUGUESA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2003, Coimbra: **Anais...** Coimbra, ESAC, 2003. p. 110.
- SILVA, J. V. M. da. *et al.* Quantificação da biomassa e do carbono no resíduo de uma floresta de *Eucalyptus Grandis* aos 11 anos de idade em diferentes intensidades de colheita. In: SIMPÓSIO LATINO- AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: PPGEF, 2004. 465 p.
- SALATI, E. Emissão x sequestro de carbono do CO₂ In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CARBONO DO CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro, CVRD, 1994. p. 13-37.
- SAS. **The SAS System for Windows.** Copyright (c) 1999-2001 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1999.
- ST. CLAIR, J. B. Family differences in equations for predicting biomass and leaf area in Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *Menziesii*). **Forest Science**, Bethesda, v. 39, n. 4, p. 743-755, Nov. 1993.
- STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.
- TOPIC, V. *et al.* Regression models for estimating biomass of repour pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.), italina oak (*Quercus fainetto* Tem.) and holm oak (*Quercus ilex* L.) Glas. Sum. **Pokuse**, Zagreb, v. 37, p.123-131. 2000.