

ANDRESSA RIBEIRO

MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS
NATIVOS DE BRACATINGA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Co-orientadores: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho
Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

CURITIBA

2012

Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Ribeiro, Andressa
Modelagem e quantificação de nutrientes em povoamentos nativos de
bracatinga / Andressa Ribeiro – 2012.
143 fls. : il.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Co-orientadores: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Povoamento florestal – Amostragem. 2. Dendrometria – Métodos de amostragem. 3. Nutrientes 4. Bracatinga. 5. Teses. I. Machado, Sebastião do Amaral. II. Figueiredo Filho, Afonso. III. Péllico Netto, Sylvio. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. V. Título.

CDD – 634.92

CDU – 634.0.52

Aos meus amados pais e irmãos, familiares,
mestres, amigos e ao meu companheiro,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, irmãos e familiares por sempre me apoiarem e acreditarem no meu sucesso. Amo muito vocês!

Ao meu orientador Prof. Sebastião do Amaral Machado pelas conversas, ensinamentos, orientação e carinho. Um homem de fibra que me influenciará pelos caminhos da Engenharia Florestal.

Aos meus co-orientadores Prof. Afonso Figueiredo Filho e Prof. Sylvio Péllico Netto pela contribuição e ensinamentos para melhoria e conclusão do trabalho. Em especial ao Prof. Sylvio pelo exemplo de vida e amor pela ciência, agradeço a oportunidade de trabalhar em conjunto e desfrutar de uma amizade sincera.

Aos colegas do Laboratório de Dendrometria e ao Prof. Décio José Figueiredo, pelos momentos de descontração e contribuição para o andamento e conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Paulo Justiniano Ribeiro Júnior e ao Prof. Júlio Arce pelos valiosos ensinamentos. Ao colega Cristiano Nunes Nesi pelo incentivo nas tardes de estatística.

Aos meus verdadeiros amigos, que com certeza sabem quem são, em especial às componentes da República Islâmica do Irã, sem vocês o trabalho seria muito mais árduo!

Ao meu namorado, companheiro e amigo Antonio Carlos Ferraz Filho, pelo apoio, incentivo e compreensão.

Muito obrigada!

“O caminho que os florestais devem trilhar está intercalado com uma calçada de dificuldades, guarnecido com os buracos de desengano e com pântanos de desesperança. Mas diante dos senhores se abre o futuro de sua pátria e de seu povo e a esperança não tem fim.”

(Michael Prodan, 1977)

Poema da evolução

“Penso
Refliko
Observo
Coleciono
Pesquiro
Canto, jogo cartas, me relaciono...

Acredito no esforço de cada ser.
Acredito na sua adaptação.
Acredito na evolução das espécies.
Sou amante da natureza...

Dei a volta ao mundo!
Com um objetivo na vida.
Com uma paixão.
Uma ambição pessoal...

Levantei polêmica.
Recebi críticas.
Insultos, mas consegui...

Consegui a "insignificância que é a fama"
Mas, tive que partir.
Pois evolui..."

(Maíke Gonçalves da Silva, 2004)

RESUMO

A quantificação dos nutrientes em ecossistemas florestais é fundamental para verificação da manutenção do fluxo contínuo entre o que é depositado no solo e o que é assimilado novamente pelas plantas. O uso da área basal como ferramenta prática na medição dos povoamentos florestais, faz com que a modelagem em nível de povoamento seja facilmente aplicável à quantificação de nutrientes. Assim, o presente trabalho teve como objetivo quantificar e modelar o conteúdo de nutrientes por hectare nos diferentes compartimentos da biomassa aérea e posteriormente valorar economicamente os macronutrientes presentes nos resíduos florestais e na biomassa da lenha, a qual é exportada do sítio florestal. Os dados utilizados nesta pesquisa provieram de 307 parcelas temporárias com diferentes idades em povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), localizados na região metropolitana de Curitiba. Foram avaliados 23 modelos matemáticos tradicionais, modelos aritméticos e logarítmicos provenientes do procedimento de seleção *forward*. Os modelos selecionados foram validados e se mostraram apropriados para estimativa da quantidade de macronutrientes por hectare presentes na biomassa aérea da bracatinga, já para micronutrientes os modelos foram insatisfatórios. As variáveis mais correlacionadas com o conteúdo de nutrientes foram a área basal, altura média e altura dominante. Todos os modelos selecionados para estimativa do conteúdo de macronutrientes tiveram valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) acima de 84% e valores do erro padrão da estimativa (S_{yx}) inferiores a 19%. Já nos modelos selecionados para estimativa de micronutrientes, os valores de R^2_{aj} foram inferiores a 44% e os valores de S_{yx} superiores a 30%, com exceção dos modelos desenvolvidos para estimativa de ferro que tiveram valores de R^2_{aj} superiores a 79% e S_{yx} inferiores a 23%. Os modelos tradicionais para alguns nutrientes foram preferíveis aos modelos provenientes do método *forward*, por apresentarem variáveis mais correlacionadas e pouca diferença nas estatísticas de ajuste e precisão, assim como na dispersão dos resíduos. Em ordem decrescente os valores de macronutrientes encontrados na parte aérea dos bracatingais seguiram a sequência de $N > Ca > K > Mg > P$. Já os micronutrientes seguiram a sequência de $Fe > Mn > Cu > Zn$. Após a exploração da lenha nos povoamentos de bracatinga, restaram como remanescentes na área os resíduos (galhos finos e copa) contendo 25% de Ca, 32% de Mg, 37 % de N, 45% de P, 18% de K, 29,2% de Cu, 13,9% de Fe, 33,9% de Zn e 36,1% de Mn. Os resultados da valoração econômica dos macronutrientes indicaram que caso a colheita da árvore seja completa, o produtor deverá desembolsar valores monetários entre R\$873,00 a R\$3.345,00 por hectare dependendo do local da propriedade e da classificação de sítio, para repor os nutrientes exportados.

Palavras-chave: área basal; modelos matemáticos; povoamento florestal.

ABSTRACT

The quantification of nutrients in forest ecosystems is fundamental for verification of maintenance of continuous flow between what is deposited in the soil and what is re-assimilated by the plants. Using basal area as a practical tool in the measurement of forest stands makes modeling easy at stand level for nutrients quantification. Thus, the present work had as objective to quantify and fit the weight of macronutrients per hectare in different compartments of above ground biomass and economical valuation of the macronutrients on forest residuals and fire wood biomass. The data used in this research came from 307 temporary plots with different ages of *Mimosa scabrella* Bentham. (bracatinga) stands located in the metropolitan region of Curitiba. Twenty three mathematical models were evaluated, as well as arithmetic and logarithmic ones provided by forward technique. The selected models were validated and showed to be appropriate for estimation of macronutrient quantities per hectare found in above ground of bracatinga biomass, but for micronutrient the selected models showed inappropriate. For some nutrients, traditional models were preferred over the forward models since they presented more correlated variables and little difference in the statistics of goodness of fit and accuracy, as well as the residual dispersion. All selected models for the estimation of macronutrients content had values of adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}) exceeding 84% and values of standard error of estimate (S_{yx}) lower than 19%. As for the models selected for estimating content of micronutrients, the values of R^2_{aj} were lower than 44% and the values of S_{yx} exceeded 30%, with the exception of the models developed for the estimation of iron that had values of R^2_{aj} exceeding 79% and S_{yx} lower than 23%. In decreasing order, the estimated values of macronutrients found in the aerial parts of bracatinga stands followed the sequence of $N > Ca > K > Mg > P$. The micronutrients followed the sequence of $Fe > Mn > Cu > Zn$. After the exploration of fire wood in bracatinga stands, they were left as remnants (twigs and crown) in the area 25% of Ca, 32% of Mg, 37% of N, 45% of P, 18% of K, 29,2% of Cu, 13,9% of Fe, 33,9% of Zn and 36,1% of Mn. The results of the economical valuation of macronutrients indicated that if the tree is completely harvested, the farmer will pay values from R\$873,00 to R\$3.345,00 per hectare to replace the nutrients exported, depending on the location and site of the propriety.

Key-words: basal area; mathematical models; forest stands.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA COM DESTAQUE (*) PARA OS MUNICÍPIOS ONDE OS DADOS FORAM COLETADOS...	41
FIGURA 2 - DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM O CONTEÚDO DE NITROGÊNIO (KG.HA ⁻¹) PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA TOTAL DAS 307 PARCELAS AVALIADAS.	54
FIGURA 3 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS AO LONGO DOS ANOS.	55
FIGURA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COMBINADAS COM O CONTEÚDO DE NITROGÊNIO (KG.HA ⁻¹) PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA TOTAL DAS 307 PARCELAS AVALIADAS.	56
FIGURA 5 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS.	61
FIGURA 6 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE IDADE.	62
FIGURA 7 - DIAGRAMAS DE CAIXA PARA DETECÇÃO DE PONTOS DISCREPANTES NAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES.	64
FIGURA 8 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DE ALGUNS MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DE MACRONUTRIENTES.	70
FIGURA 9 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES VALIDADAS PARA MACRONUTRIENTES.	74
FIGURA 10 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE IDADE DAS PARCELAS.	78
FIGURA 11 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO DAS PARCELAS.	80
FIGURA 12 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE ÍNDICE DE SÍTIO DAS PARCELAS.	81
FIGURA 13 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DE ALGUNS MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DE MICRONUTRIENTES.	86
FIGURA 14 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES VALIDADAS PARA MICRONUTRIENTES.	90
FIGURA 15 - CONTEÚDO MÉDIO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE IDADE DAS PARCELAS.	93

FIGURA 16 - CONTEÚDO MÉDIO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO DAS PARCELAS.....	95
FIGURA 17 - CONTEÚDO MÉDIO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE ÍNDICE DE SÍTIO DAS PARCELAS.	96
FIGURA 18 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA COPA NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO EM CINCO MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	100
FIGURA 19 - MAPEAMENTO DOS SOLOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (FONTE: BHERING, 2007).	102
FIGURA 20 - CONTEÚDO TOTAL MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS NOS DIFERENTES MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RELAÇÃO DOS ELEMENTOS ESSENCIAIS ÀS PLANTAS SUPERIORES, COM AS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS NA MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA DE PLANTAS E OS RESPECTIVOS AUTORES QUE DEMONSTRARAM A SUA ESSENCIABILIDADE E O ANO QUE OCORREU A DESCOBERTA..	36
TABELA 2 - VALORES MÉDIOS DE NUTRIENTES QUANTIFICADOS POR DIFERENTES PESQUISADORES AO LONGO DOS ANOS.....	39
TABELA 3 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE BRENAC, CONFORME TÉO (2009), PARA OS COMPARTIMENTOS: TOTAL E LENHA	44
TABELA 4 - MODELOS MATEMÁTICOS TRADICIONAIS AVALIADOS.....	47
TABELA 5 - ACURÁCIA E PRECISÃO PARA VALIDAÇÃO DOS MODELOS SELECIONADOS.....	52
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS E PREÇOS DOS FERTILIZANTES ADOTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE EQUIVALÊNCIA DOS NUTRIENTES	53
TABELA 7 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS ANALISADAS (N=307 PARCELAS AMOSTRAIS)	58
TABELA 8 - INTENSIDADE AMOSTRAL POR CLASSES DE IDADE - CLI (ANOS) E DIÂMETRO - CLD (CM).....	60
TABELA 9 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE ALGUMAS VARIÁVEIS DEPENDENTES E INDEPENDENTES.....	65
TABELA 10 - EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DOS MACRONUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA (MODELO: F=FORWARD E T=TRADICIONAL).....	71
TABELA 11 - VALORES DE ACURÁCIA E PRECISÃO DOS MODELOS SELECIONADOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NA BIOMASSA AÉREA EM POVOAMENTOS DE <i>MIMOSA SCABRELLA</i>	73
TABELA 12 - CONTEÚDO MÉDIO ESTIMADO (KG.HA ⁻¹) DE MACRONUTRIENTES.....	76
TABELA 13 - EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DOS MICRONUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA (F=FORWARD E T=TRADICIONAL)	87
TABELA 14 - VALORES DE ACURÁCIA E PRECISÃO DOS MODELOS SELECIONADOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE MICRONUTRIENTES NA BIOMASSA AÉREA EM POVOAMENTOS DE <i>MIMOSA SCABRELLA</i>	89
TABELA 15 - CONTEÚDO MÉDIO ESTIMADO (KG.HA ⁻¹) DE MICRONUTRIENTES	91

TABELA 16 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES NA BIOMASSA TOTAL(T) E COPA(C), SEPARADOS POR ÍNDICE DE SÍTIO E LOCAIS DE INSTALAÇÃO DAS PARCELAS.....	98
TABELA 17 - VALORAÇÃO ECONÔMICA (R\$.HA ⁻¹) DOS MACRONUTRIENTES CONTIDOS NA BIOMASSA DA LENHA EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA EM DIFERENTES LOCAIS E ÍNDICES DE SÍTIO	104
TABELA 18 - VALORAÇÃO ECONÔMICA (R\$.HA ⁻¹) DOS MACRONUTRIENTES CONTIDOS NOS RESÍDUOS FLORESTAIS EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA EM DIFERENTES LOCAIS E ÍNDICES DE SÍTIO	105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE.....	18
2.1.1 Área de ocorrência da espécie.....	20
2.1.2 Utilizações e análise econômica da espécie.....	21
2.2 USO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA CIÊNCIA FLORESTAL.....	24
2.2.1 Modelos ao nível do povoamento.....	26
2.3 MANEJO FLORESTAL DA BRACATINGA.....	30
2.4 NUTRIENTES MINERAIS E A IMPORTÂNCIA DA CICLAGEM.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BASE DE DADOS.....	42
3.3 MODELAGEM INDIVIDUAL DOS NUTRIENTES.....	43
3.4 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS.....	44
3.4.1 Matriz de correlação linear.....	45
3.5 MODELAGEM DOS NUTRIENTES POR UNIDADE DE ÁREA.....	46
3.5.1 Discrepância logarítmica.....	47
3.6 MODELAGEM DOS NUTRIENTES PELO MÉTODO <i>FORWARD</i>	48
3.7 SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES.....	49
3.7.1 Coeficiente de determinação ajustado.....	49
3.7.2 Erro padrão da estimativa.....	50
3.7.3 Análise de dispersão dos resíduos.....	51
3.8 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS.....	51
3.9 VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS MACRONUTRIENTES.....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS.....	54
4.1.1 Identificação de parcelas discrepantes.....	64
4.1.2 Matriz de correlação linear simples.....	65
4.2 MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES.....	66
4.2.1 Validação das equações selecionadas para estimativa dos macronutrientes ..	72
4.2.2 Quantificação dos macronutrientes.....	75
4.2.3 Quantificação dos macronutrientes por classe de idade.....	78

4.2.4	Quantificação dos macronutrientes por classe de diâmetro.....	79
4.2.5	Quantificação dos macronutrientes por classe de sítio.....	81
4.3	MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DOS MICRONUTRIENTES.....	82
4.3.1	Validação das equações selecionadas para estimativa dos micronutrientes ...	88
4.3.2	Quantificação dos micronutrientes.....	91
4.3.3	Quantificação dos micronutrientes por classe de idade.....	93
4.3.4	Quantificação dos micronutrientes por classe de diâmetro.....	94
4.3.5	Quantificação dos micronutrientes por classe de sítio.....	96
4.4	VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS MACRONUTRIENTES.....	97
5	CONCLUSÃO	108
	REFERÊNCIAS	110
	APÊNDICE I	122
	APÊNDICE II	123
	APÊNDICE III	125
	APÊNDICE IV	135

1 INTRODUÇÃO

A importância da bracatinga, como fonte de matéria prima energética e para a preservação das florestas naturais, remonta ao início do século 20, quando se desencadeou um esforço para o fomento da espécie como produtora de lenha, estimulando um aumento gradativo da superfície ocupada pelos bracatingais na região metropolitana de Curitiba e demais locais da região Sul do país. As áreas com bracatinga ultrapassam 120 mil hectares, concentrando-se em pouco mais de 60 municípios paranaenses, em escala comercial, envolvendo mais de 15.000 pequenas propriedades rurais (média de 250 famílias por município), formando um eixo principal de produção desde o Alto Vale do Ribeira até União da Vitória (PORFÍRIO DA SILVA *et al.*, 2006).

O manejo tradicional da bracatinga é bastante simplificado. Aproximadamente a cada sete anos corta-se o povoamento e, após a queima dos resíduos da exploração, este se regenera pela germinação das sementes armazenadas no solo (GRAÇA *et al.*, 1986). O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) descreve o manejo de bracatinga, como sendo uma atividade silvicultural tradicional na qual é efetuado o corte raso das árvores de bracatinga em uma determinada área e posterior condução da floresta por meio da regeneração natural, para a formação de um novo ciclo da espécie, mantendo assim a sua perpetuidade.

A eficiência do manejo em povoamentos florestais está ligada à ciclagem de nutrientes, para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo e o que é assimilado novamente pelas raízes. Schumacher (1996) ressaltou que para a manutenção da capacidade produtiva de um determinado sítio, a mesma só será mantida em longo prazo, quando as perdas de nutrientes, pela erosão e utilização da biomassa, forem repostas na quantidade exigida. Vieira *et al.* (2011) afirmaram que para avaliar práticas de manejo, tanto em ecossistemas de florestas plantadas, quanto naturais, o estudo da biomassa e de nutrientes removidos com a colheita florestal configura-se como um fator essencial em favor do uso sustentado desses ecossistemas.

Assim, é de fundamental importância o conhecimento da quantidade de nutrientes presentes nos diferentes compartimentos da bracatinga, a fim de inferir sobre a conveniência do manejo da bracatinga sobre o ponto de vista nutricional.

A modelagem matemática para estimar os nutrientes em um povoamento florestal é uma ferramenta valiosa. Em geral, podem ser desenvolvidos modelos que estimam os nutrientes para árvores individuais, mas neste particular, os modelos que estimam os nutrientes por unidade de área são vantajosos, pois reduzem significativamente o número de variáveis a serem coletadas em campo, uma vez que as equações formuladas geralmente incluem variáveis de densidade de um povoamento, tais como área basal, número de indivíduos, altura dominante e altura média, idade, índice de sítio, diâmetro médio e diâmetro médio quadrático.

Muitas vezes, a área basal se constitui na principal variável desse tipo de modelagem e nesse contexto, a amostragem por pontos de Bitterlich é capaz de estimar a área basal de forma simples, rápida e acurada, tendo como base uma teoria bastante sólida, utilizada com sucesso em diversos trabalhos (COUTO *et al.*, 1993).

Deste modo, o presente trabalho propõe uma abordagem distinta para modelar e quantificar os nutrientes presentes na biomassa aérea total da árvore e nos compartimentos lenha e copa, a fim de estimar a quantidade de macro e micronutrientes por unidade de área, tendo em vista que a maioria dos estudos realizados sobre quantificação de nutrientes é feita para árvores individuais e posteriormente extrapoladas para o povoamento.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estimar a quantidade de macro e micronutrientes por unidade de área, em povoamentos de diferentes classes de idade, diâmetro e sítio, para a biomassa aérea total, e para os compartimentos lenha e copa em bracingais nativos e manejados tradicionalmente na região metropolitana de Curitiba, por meio de modelos matemáticos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Validar os modelos selecionados;
- b) Determinar a quantidade de nutrientes remanescentes após a exploração da lenha, baseado nas equações desenvolvidas;
- c) Avaliar economicamente a quantidade de macronutrientes presentes na copa que permanece em campo após a exploração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) é uma espécie arbórea do grupo ecológico das pioneiras, estritamente heliófila, pertencente à família Leguminosae, subfamília Mimosoideae. Segundo Carpanezzi (2006) possui duas variedades botânicas, sendo a variedade *scabrella* (bracatinga comum) e variedade *aspericarpa* (bracatinga argentina). A primeira engloba as duas variedades popularmente conhecidas como bracatinga vermelha e bracatinga branca, diferenciadas principalmente pela tonalidade da madeira. A designação *scabrella* significa “asperazinha”, pois as folhas são ásperas ao tato, devido aos pelos curtos e estrelados, enquanto *aspericarpa* provém do fato de seu fruto apresentar superfície áspera e com rugosidades (CARVALHO, 2003).

A espécie possui folhas compostas, bipinadas e paripinadas, contendo 5 a 7 pares de folíolos de forma alternada e espiralada; tamanho médio das folhas de aproximadamente 6 cm e dos folíolos de 5 mm de comprimento por 4,5 mm de largura, pecíolo piloso, com a base reforçada; folíolos pilosos, duas estípulas grandes, caducas; tom verde mais escuro na face superior. A copa, em seu conjunto, tem tonalidade clara até acinzentada, contrastando com o verde mais escuro predominante em outras árvores (CARPANEZZI *et al.*, 1988).

As flores são amarelas e pequenas, agrupadas em capítulos pedunculados, axilares ou terminais. Rotta e Mendes (1990) concluíram que apenas 10% das flores produzidas formam frutos, sendo esses sésseis, deiscentes, com até 48 mm de comprimento por 9 mm de largura, alojando de 2 a 4 sementes. As sementes são irregulares, escuras e brilhantes, apresentando dimensões de 6 mm de comprimento por 3 mm de largura (CARVALHO *et al.*, 2003).

A bracatinga é uma planta hermafrodita, porém a fecundação é preferencialmente cruzada, sendo a polinização feita principalmente por abelhas do gênero *Apis* spp. e *Trigona* spp. (CATHARINO *et al.*, 1982). Os frutos, bem como as sementes, dispersam-se, sobretudo, pela ação da gravidade. Ao caírem no solo, as sementes formam bancos permanentes e sua viabilidade pode perdurar por 4 anos ou mais (CARPANEZZI *et al.*, 1997). A floração e a frutificação, que se iniciam dois

anos após o plantio, ocorrem em períodos distintos nos Estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina. De junho a setembro ocorre floração no Paraná e Santa Catarina e, nesses, a frutificação se dá entre dezembro e março. Em São Paulo, a floração acontece em julho e a frutificação em dezembro. No Rio Grande do Sul, a floração ocorre de julho a outubro e a frutificação de novembro a fevereiro.

Como espécie pioneira, desenvolve-se bem a céu aberto, resistindo às geadas. Propicia com sua cobertura condições para o aparecimento de espécies que necessitam de maior umidade e ambiente mais sombreado, para o seu desenvolvimento. Tal comportamento caracteriza diferentes fases de sucessão na recomposição da mata, apresentando-se inicialmente como formações praticamente puras, misturando-se com o passar do tempo com espécies secundárias e que, originalmente, formavam os diferentes estratos da mata local. Cessa a partir de um certo estágio sua atividade como árvore pioneira, terminando seu ciclo de vida, que corresponde ao curto período de dez a vinte anos, apresentando, a partir daí, sinais de declínio vital (ROTTA e OLIVEIRA, 1981).

A madeira de bracatinga possui massa específica aparente entre 0,65 e 0,81 g.cm⁻³, a 15% de umidade; a densidade básica varia de 0,51 a 0,61 g.cm⁻³; tratando-se, portanto, de uma madeira moderadamente densa (JANKOWSKY *et al.*, 1990). O cerne, de coloração bege-rosada, é irregular, com nuances mais escuras, textura grosseira, superfície um pouco áspera e de grã direita. A durabilidade natural dessa madeira, em condições adversas, é muito baixa. Contudo, é permeável aos tratamentos preservantes em autoclave (ANGELI e STAPE, 2003).

A bracatinga possui baixa exigência edáfica, ocorrendo em solos de textura franca ou argilosa e bem drenados, em terrenos rasos com pH variando de 3,5 a 5,5 (CARPANEZZI, 2006). É uma árvore perenifólia, atingindo até 20 metros de altura, já tendo sido listadas árvores de 29 metros na literatura. O diâmetro a 1,30 metros do solo (DAP) pode atingir cerca de 50 centímetros. Em bracatingais tradicionais nas idades mais comuns de corte, entre 6 e 8 anos, as maiores árvores tem 14 a 18 metros de altura e 12 a 18 centímetros de DAP (CARVALHO, 1994). Seu tronco é esbelto quando encontrado em maciços florestais, ou curto e ramificado quando em árvores isoladas.

Graça (1987) e Graça e Mendes (1987) ao analisarem parâmetros de produtividade, custos e receitas, concluíram que a idade ótima de corte para a

bracatinga é aos sete anos, corroborando a intuição econômica observada pelos produtores dessa essência florestal. Profumo Aguiar (2006) ao estudar bracatingais manejados tradicionalmente na região metropolitana de Curitiba encontrou valores de produção volumétrica máxima de $107,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ aos nove anos de idade.

Campos *et al.* (1986) estudaram dez bracatingais manejados de forma tradicional no município de Colombo, PR. Esses autores concluíram que a produtividade do bracatingal tradicional através do tempo apresentou uma fase crescente e outra decrescente, atingindo seu máximo no sétimo ano de idade. Nessa idade, a produção encontrada foi de $135,8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, correspondente a $236,5 \text{ st} \cdot \text{ha}^{-1}$. O número de plantas de povoamentos de bracatingais tradicionais decresce através do tempo, sendo este decréscimo bastante acentuado até o povoamento atingir a idade de cinco anos. A partir dessa idade, a redução do número de plantas tendeu a uma estabilização.

2.1.1 Área de ocorrência da espécie

Segundo Rotta e Oliveira (1981) a primeira citação sobre a área de distribuição geográfica da bracatinga foi realizada por Romário Martins no ano de 1900. Este pesquisador, entusiasmado com a espécie e suas características silviculturais, promoveu uma intensa propaganda incentivando seu plantio, alegando que a espécie apresentava um rápido crescimento e alto potencial energético.

No Brasil, a bracatinga ocorre naturalmente nos Estados de Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo, compreendendo latitude de $21^\circ 30' \text{ S}$ (Minas Gerais) a $29^\circ 50' \text{ S}$ (Rio Grande do Sul), ocorrendo em altitudes de 700 a 2000 metros (ANGELI e STAPE, 2003). De maneira geral, a literatura menciona a bracatinga como associada às matas mistas de araucária, ocorrendo nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo que alguns autores estendem a área de dispersão da espécie para os estados de Goiás, sul de Minas Gerais e São Paulo (ROTTA e OLIVEIRA, 1981).

Carpanezi *et al.* (1988) citaram que a área de ocorrência mais expressiva e contínua da espécie, situa-se abaixo da latitude de $23^\circ 40' \text{ S}$ e compreende terras altas da região Sul ao sul do estado de São Paulo. O limite oeste é similar nos

estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, aproximadamente 52°40'W.

A superfície total da bracatinga, entre o Vale do Ribeira e União da Vitória, região Sul do Estado, é estimada em 50 mil hectares, e nos últimos anos tem apresentado redução da área explorada. Essa redução da área manejada é decorrente das restrições para a exploração, aliado à substituição por plantios de pinus e eucalipto, que devido ao manejo não possuem restrições ambientais (DOSSA *et al.*, 2006). Esses autores ainda acrescentaram que na exploração da bracatinga, estão envolvidos cerca de 2.500 produtores rurais, representando quase 20% do total de produtores da região metropolitana de Curitiba, sendo a maior parte da produção situada a uma distância média de 50 quilômetros do maior mercado consumidor (Curitiba).

Mazza *et al.* (2000), ao mapearem os bracatingais da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) por imagem de satélite, estimaram um acréscimo 62,14% na área ocupada pelos bracatingais quando comparadas com dados provenientes da COPEL. Segundo os autores, em 1980, a área total com bracatinga na RMC era de 41.180 ha e no ano de 2000 a área ocupada totalizou 66.768,2 ha.

2.1.2 Utilizações e análise econômica da espécie

Os bracatingais constituem uma ótima opção econômica na utilização de terrenos declivosos, visto que nesses a agricultura e a pecuária apresentam baixa rentabilidade e requerem do proprietário rural um gasto maior de tempo. Um dos principais usos econômicos da bracatinga é a lenha para geração de energia em estabelecimentos comerciais e domésticos, porém a espécie permite uma renda diversificada ao proprietário por contemplar usos múltiplos, entre os quais se destacam: medicinais, apícolas, alimentação animal e a utilização da madeira em várias aplicações (carvão, cabos de ferramentas, móveis, pontalotes e outros usos na construção civil), além de acobertar a produção de cogumelos comestíveis (CARVALHO *et al.*, 2003).

A bracatinga também é uma excelente espécie para a recuperação de áreas degradadas, tendo a capacidade de depositar até 8 toneladas de material orgânico e 200 kg de nitrogênio por hectare, possibilitando o início do processo sucessional

arbóreo no qual podem-se instalar cerca de outras 60 espécies vegetais. A bracatinga constitui-se em espécie de grande qualidade para esta finalidade, principalmente por associar-se com rizóbium e micorrizas arbusculares responsáveis pela absorção de nutrientes, especialmente o fósforo. Pelas suas características, já tem sido utilizada em recuperação de áreas submetidas à extração de bauxita, com excelentes resultados na sua recuperação (CARVALHO *et al.*, 2003).

A madeira de bracatinga pode ser usada, principalmente, em vigamentos, escoras em construção civil, partes não aparentes de móveis, em caixotaria, embalagens leves, compensados, laminados e aglomerados. O sub-bosque dos bracatingais tradicionais tem potencial para produzir madeira para cabos de ferramentas e utensílios domésticos, além de peças para artesanato e marcenaria em geral (BAGGIO *et al.*, 1986). Diversos usos econômicos estão ligados a espécie, além dos citados ela pode ser empregada na produção de celulose e papel, gomas (galactomanana nas sementes), extração de taninos da casca e usos paisagísticos.

A produção da bracatinga, apesar de demandar tarefas pesadas e trabalho concentrado em períodos específicos do ano, é um sistema produtivo pouco complexo que emprega baixa tecnologia. A mão de obra utilizada geralmente é familiar ou através da contratação de terceiros, variando conforme a disponibilidade e renda da família para efetuar tais contratações. O pagamento de terceiros pode ocorrer por moeda ou na forma do produto extraído (ROCHADELLI, 1997). Clavisso e Rodrigues¹ (1983, citados por ROCHADELLI, 1997), afirmaram que pelo menos 33,2% da renda bruta familiar é obtida no cultivo da bracatinga associada às atividades de exploração da espécie.

Na apicultura, o preço de venda do mel de bracatinga, nos arredores de Curitiba, varia entre 30% e 70% do valor de outros tipos de mel. O preço é menor nos locais menos acessíveis e nos meses logo após sua produção, concentrada em setembro. Em virtude de seu baixo preço, o mel de bracatinga tem grande potencial para ser utilizado em panificação e na indústria de sabonetes e xampus (CARPANEZZI *et al.*, 1988).

Graça *et al.* (1986) avaliaram a rentabilidade econômica da bracatinga no estado do Paraná, concluindo que cultivos consorciados com culturas agrícolas e

¹ CLAVISSO, G. Z. e RODRIGUES, H. A. Custo da exploração da bracatinga na região de Campina Grande do Sul e Quatro Barras. In: I Seminário Regional de Administração Rural. **Anais...** EMATER – Paraná ACARPA, p. 67 – 78. Curitiba, 1983.

apicultura são mais rentáveis que o cultivo solteiro, e quando comparado à cultura de eucalipto e pinus, o cultivo de bracatinga se mostrou mais vantajoso por ter um menor custo de implantação.

Lisbão Junior (1981), comparando as potencialidades energéticas das espécies bracatinga e eucalipto, concluiu que os teores de lignina, carbono fixo e densidade básica, fatores essenciais para a boa qualidade do carvão vegetal produzido da bracatinga, foram superiores aos da espécie de eucalipto estudada.

A silvicultura e a mineração estão relacionadas como principal atividade econômica em 13% dos municípios da região metropolitana de Curitiba, ocupando o terceiro lugar dentre as principais atividades econômicas da região. A silvicultura compreende o reflorestamento e extração de pinus, bracatinga e, mais restritamente, eucalipto e erva-mate. Somente o manejo da bracatinga é desenvolvido em 9 dos 24 municípios da região metropolitana de Curitiba (THEODOROVICZ *et al.*, 1999).

A silvicultura da bracatinga ainda é pouco desenvolvida, muitas pesquisas a respeito de melhoramento genético, técnicas silviculturais e o manejo em si são passíveis de melhoria. Sendo o enfoque principal dos pequenos produtores a exploração da lenha para comércio na RMC, Dossa *et al.* (2006) afirmaram que o valor pago no mercado no primeiro semestre de 2003 para árvore em pé ficava em torno de R\$ 4,00 por m³ e caso fosse cortada e entregue no carreador, o valor dobrava para R\$ 8,00 por m³; e os intermediários, quando a buscam no carreador, ganham R\$ 4,00 por m³ para levá-la até a empresa consumidora, logo, se o produtor possuía caminhão, cortava a árvore e a transportava, ele podia obter R\$ 12,00 por m³ da bracatinga.

No Brasil, em 2007 foram produzidos cerca de 39,1 milhões de m³ de lenha da silvicultura e 43,9 milhões de m³ de lenha oriunda do extrativismo vegetal. No total, o país produziu 82,9 milhões de m³ de lenha, representando 2,1% mais que em 2006 (IBGE, 2007). A lenha dos bracatingais se enquadra como sendo oriunda de atividade silvicultural, pois as áreas são manejadas visando o retorno da espécie no local de extração. Os principais estados produtores de lenha da silvicultura, segundo dados do IBGE, foram: Rio Grande do Sul, que concentrou 34,8% dos 39,1 milhões de m³ produzidos no país; São Paulo (18,9%); Paraná (15,7%); Santa Catarina (13,4%); Minas Gerais (8,5%); e Bahia (2,5%). Segundo dados do IBGE (2007), a região Sul foi responsável, em 2008, pela produção de 5.484.530 m³ de lenha com

renda bruta de R\$134.602.000, participando o estado do Paraná com a produção de 2.246.205 m³ e uma renda de R\$ 41.972.000.

Um estudo realizado pelo Centro Brasileiro de Infra-Estrutura, entre os anos 2000 e 2005, mostra que a participação do gás liquefeito de cozinha (GLP) na energia consumida nos lares brasileiros caiu de 31% para 27%, enquanto o consumo de lenha subiu de 32% para 38%. Setores especializados apontam o preço de um pacote de 20 kg de lenha de bracatinga entre R\$ 6,00 e R\$ 7,00 na região metropolitana de Curitiba.

As demandas da madeira de bracatinga estão voltadas para a finalidade industrial mais nobre, seja como carvão vegetal para a exportação ou usos em serraria, laminação e movelaria. Mas a retomada da produção de bracatinga necessita de ações de manejo sustentado nas propriedades rurais, visando viabilizar iniciativas de instalações de novas indústrias preconizadas na região (PORFÍRIO DA SILVA *et al.*, 2006).

2.2 USO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA CIÊNCIA FLORESTAL

Modelos matemáticos são altamente empregados no meio florestal e estudos sobre o assunto são realizados há mais de 200 anos, atingindo grandes progressos referentes à análise quantitativa do crescimento florestal desde meados do século passado, principalmente nas últimas décadas.

Os modelos podem ser definidos como sendo a representação simplificada de algum aspecto real, e no contexto estatístico o modelo nada mais é que uma demonstração formal da teoria que envolve uma expressão matemática envolvendo variáveis a fim de gerar uma equação preditiva acurada (BARRETT e FRIED, 2004).

Os modelos empregados podem ser diferenciados em modelos descritivos, empíricos ou biométricos e em modelos baseados em processos ou mecanicísticos. Os primeiros se caracterizam por representar muito bem as situações reais da floresta, porém se ajustam eficientemente apenas dentro da base de dados em que os modelos foram gerados. Eles são classificados em modelos para o povoamento, por classe diamétrica ou para árvores individuais, podendo esses ser aplicados em florestas naturais ou plantadas, a fim de predizer a produção. Já os modelos processuais tem como base a fisiologia vegetal, conferindo uma visão mais

generalista e fisiologicamente embasada para estimativa do crescimento, ou seja, predizem a produção através do funcionamento da planta. Dentre esses, estão os modelos ecofisiológicos, modelos baseados no clima e modelos baseados na arquitetura das árvores (SCOLFORO, 2005).

Deste modo, para o profissional florestal uma das fontes de informação mais importantes é a existência de relações quantitativas e modelos matemáticos que sejam consistentes e numericamente compatíveis para a predição do desenvolvimento do povoamento em qualquer idade. No estudo da modelagem florestal, a característica dendrométrica de maior impacto geralmente é o volume, portanto os maiores esforços foram voltados para elaboração de modelos e tabelas de produção volumétrica.

Skovsgaard e Vanclay (2008) em uma ampla revisão bibliográfica sobre a produtividade de sítios florestais alegaram que com a introdução de métodos científicos na área florestal na Europa, a cerca de duzentos a trezentos anos atrás, as primeiras tentativas de classificar a produção potencial de um sítio florestal utilizou uma abordagem geocêntrica, ou seja, identificando características do local em que o plantio estava localizado. Inicialmente, era comum o uso de classificações amplas como “solo argiloso de baixa altitude e capacidade mediana de produção de madeira”. A produção em madeira era estimada usando “tabelas de experiência”, precursoras das tabelas de produção e modelos de crescimento. As tabelas de experiência eram construídas com base em um talhão índice, ou seja, um talhão que refletia o desenvolvimento florestal típico de um determinado sítio florestal.

A popularização da regressão linear no meio florestal se deu a partir de estudos relevantes, tais como os de Trorey (1932) que utilizou um modelo linear de relação hipsométrica; Schumacher e Hall (1933) com modelo volumétrico a partir de uma regressão linear múltipla; Schumacher (1939), utilizando variáveis do povoamento para o primeiro modelo volumétrico global; Reinecke (1933), aplicando uma regressão para determinar a densidade máxima de um talhão a partir de um determinado diâmetro quadrático médio. O modelo de crescimento (regressão não linear), inicialmente introduzido por Richards em 1959 que, estudando o crescimento de plantas, utilizou uma função de crescimento de animais desenvolvida por Bertalanffy no ano de 1951 e desenvolveu uma série de considerações que possibilitaram a generalização dessa função de crescimento. Posteriormente, Chapman em 1961, estudando o crescimento de peixes chegou às mesmas

conclusões de Richards. Essa função altamente difundida e popularmente conhecida como Chapman-Richards, foi introduzida no meio florestal por Turnbull (1963) que, com seus estudos, mudou o rumo da modelagem da produção florestal.

Segundo Draper e Smith (1968), para se ter uma equação robusta em predições necessita-se de um modelo que inclua um maior número possível de variáveis independentes (X), porém o custo envolvido na obtenção de tais dados inviabiliza um número alto de variáveis e, conseqüentemente, seu monitoramento, portanto a equação deve envolver o menor número de X 's possível. Assim, para contornar o problema de seleção de variáveis para compor o modelo o procedimento *Stepwise* foi sugerido por esses autores. Esses autores definem o processo *Stepwise* como uma versão semelhante ao *Forward*, em que o primeiro se diferencia por reexaminar em cada estágio da regressão as variáveis incluídas no modelo na etapa anterior, ou seja, em cada passo todas as variáveis do modelo são previamente verificadas pelas suas estatísticas F parciais e, sendo assim, uma variável adicionada no modelo no passo anterior pode ser redundante para o modelo por causa do seu relacionamento com as outras variáveis e, se sua estatística F parcial for menor que a anterior, essa é então removida do modelo.

O uso indiscriminado de modelos provenientes do procedimento de regressão *Stepwise* pode acarretar em modelos com estatísticas de ajuste satisfatórias, porém, sem resposta na interpretação dos coeficientes e heterocedasticidade nos resíduos. Portanto, a necessidade de um julgamento sensível na seleção de variáveis a compor o modelo, além de um exame criterioso dos resíduos do ajuste é indispensável (DRAPER e SMITH, 1968).

2.2.1 Modelos ao nível do povoamento

Estudos sobre a modelagem por unidade de área, os chamados modelos do povoamento, são realizados em sua grande maioria para estimativas volumétricas de um povoamento. As equações formuladas geralmente incluem variáveis referentes à densidade de um povoamento, tais como área basal, número de indivíduos, além da altura dominante e altura média que também são utilizadas com sucesso, tendo em vista serem variáveis de fácil obtenção em campo.

A área basal (G) é definida como o grau de ocupação do terreno pelos fustes das árvores na altura de 1,30 metros do solo, sendo a área basal do povoamento uma importante informação florestal. A área basal pode ser determinada por três métodos: à partir da medição dos diâmetros e posterior cálculo; relação entre o diâmetro da copa e o diâmetro a 1,30 metros do solo e conceitos, e teoria relascópica para obter diretamente a área basal por hectare.

Philip (1994) descreveu a área basal como sendo a soma das seções transversais das árvores, medidas na altura do peito, internacionalmente conhecida pela simbologia g , tendo como unidade m^2 . Sendo a área basal uma medida útil para comparação de estoques entre duas ou mais florestas de mesma composição, pode ser determinada por duas maneiras: enumeração dos diâmetros coletados em unidades amostrais ou contagem do número de árvores que são maiores ou iguais às bandas numéricas do relascópio.

Machado e Figueiredo Filho (2009) descreveram que o postulado de Bitterlich baseia-se no pressuposto que a área basal por unidade de área pode ser expressa em função dos diâmetros das árvores, suas distâncias em relação ao centro da amostra e os correspondentes ângulos proporcionados por qualquer bitola angular.

O grande mérito do desenvolvimento dos conceitos e bases teóricas da relascopia é dado a Bitterlich, que iniciou pesquisas nesse âmbito no ano de 1947 com a introdução da amostragem com raio variável utilizando a conhecida barra de Bitterlich (bitola angular). Em 1949 esse estudioso lançou o termo relascopia que do latim *rela* significa contagem e *skopein* do grego significa olhar, portanto o método desenvolvido avalia a área basal simplesmente olhando e contando. Em 1950 Bitterlich a fim de corrigir erros na determinação da G quanto à declividade do terreno patenteou o relascópio de espelho, desenvolvendo posteriormente o relascópio de banda larga e o telerelascópio na década de 70 (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009). Portanto, a medição direta da área basal, que é uma importante variável em modelos por unidade de área, é altamente correlacionada com diversas variáveis resposta, podendo ser determinada de uma maneira eficiente pela relascopia, que tem por finalidade principal estimar a área basal por hectare.

A amostragem por pontos, utilizando o princípio de Bitterlich, para estimativa de área basal de povoamentos florestais é um método simples de ser aplicado em campo e baseado em uma teoria bastante sólida, tendo sido usada por algumas

instituições de ensino e empresas da área florestal (COUTO *et al.*, 1993). Diversos autores tais como Sullivan e Clutter (1972), Moscovich *et al.* (1999) e Nascimento *et al.* (2004) afirmaram que a estimativa da área basal de um povoamento florestal, com o princípio de Bitterlich, é particularmente útil quando se utilizam métodos adequados.

Segundo Clutter *et al.* (1983) os primeiros trabalhos publicados envolvendo variáveis do povoamento foram os de MacKinney *et al.* (1937), Schumacher (1939) e MacKinney e Chaiken (1939) que utilizaram uma variável de densidade para predição da produção volumétrica, e a partir desses trabalhos diversos outros foram desenvolvidos.

As equações de volume do povoamento são funcionalmente similares às equações de volume para árvores individuais, porém fornecem a estimativa da produção por unidade de área em função da área basal e da altura média ou dominante do povoamento como variáveis independentes (CLUTTER *et al.*, 1983). Burkhart *et al.* (1981) discorre que enquanto modelos globais são adequados quando a floresta em questão tem o objetivo de produzir madeira para celulose ou energia, respostas mais detalhadas são desejadas quando o objetivo da floresta é produzir produtos mais nobres, como madeira para serraria, em que nesses casos, os modelos formulados para produzir respostas por classes diamétricas são mais indicados.

Neste sentido, diversos modelos matemáticos foram propostos e testados para o ajuste de equações de volume do povoamento. Mas, mesmo os modelos já consagrados na literatura, não garantem sempre os de melhor desempenho para todas as espécies e condições testadas. Portanto, é recomendável utilizar vários modelos distintos e por meio de análises estatísticas identificar o melhor para cada caso (MACHADO *et al.*, 2002).

Profumo Aguiar (2006) listou diversos autores, tais como Spurr (1952), Takata (1959), Silva (1979), Figueiredo Filho (1983), Rosot (1989) e Ung e Ouellet (1991) com trabalhos específicos para seleção de modelos acurados para a estimativa de volume por unidade de área. Spurr (1952) afirmou que o uso de equações para povoamento é bastante eficiente quando comparadas às equações individuais.

Silva (1979) ao estudar estimativas de volume por hectare em povoamentos de eucalipto testou diversos modelos matemáticos com diferentes combinações

entre as variáveis independentes. Esse autor afirmou que os volumes poderiam ser estimados apenas em função das variáveis área basal e da altura dominante, cuja medição de ambas variáveis é de fácil obtenção em campo, reduzindo, desta forma, o tempo de coleta de dados e garantindo a obtenção direta do volume por hectare.

Rosot (1989) ao realizar um estudo comparativo de métodos para estimativa do volume por unidade de área em um povoamento de *Pinus taeda*, verificou que não há diferença estatística nas estimativas volumétricas quando as equações fossem ajustadas para volumes individuais, afilamento e genéricas. Essa autora selecionou modelos que possuíam como variáveis independentes a área basal e a altura dominante, tanto na forma simples quanto na forma combinada e transformada. A inclusão das variáveis independentes número de indivíduos e idade nos modelos aritméticos gerou resultados insatisfatórios. Dessa forma, as equações selecionadas em todas as situações testadas proporcionaram erros padrões da estimativa inferiores a 3% e coeficientes de determinação sempre superiores a 90%.

Profumo Aguiar (2006), ao modelar o volume do povoamento para bracatingais nativos, afirmou também que as variáveis mais altamente correlacionadas com o volume por hectare foram as combinadas \bar{Gh} e Gh_{dom} , com correlações de 0,99 e 0,98 respectivamente. Essa autora ainda ressaltou que a variável área basal apresentou forte correlação com o volume total, apresentando uma correlação de 0,84. Selecionando a melhor equação aquela advinda do procedimento *Stepwise* ($V = \beta_0 + \beta_1.\bar{Gh} + \beta_2.Gh_{dom}$).

Souza (2011), ao utilizar modelos por unidade de área a fim de estimar a biomassa e o carbono no compartimento lenha e na biomassa total na parte aérea de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba, obteve as maiores correlações entre as variáveis combinadas com a área basal, sendo a combinação \bar{Gh} a mais correlacionada com a biomassa da lenha ($r=0,97$) e para biomassa total a combinação logaritmizada de G^2Dg ($r=0,96$). Resultados semelhantes foram encontrados nas correlações de carbono para lenha e total. O autor obteve resultados satisfatórios com a aplicação de modelos pelo processo *Forward*, selecionando modelos oriundos desse processo com R^2 superior a 94% e S_{yx} inferior a 3,5%.

Em levantamento bibliográfico realizado para nutrientes minerais, não foi encontrado nenhum trabalho utilizando modelos do povoamento para a

quantificação de macro e micronutrientes. A maioria das pesquisas sobre o tema feitas para a modelagem individual dos nutrientes utiliza variáveis como diâmetro a altura do peito e altura total, para uma posterior extrapolação dos resultados para unidade de área, mais comumente para hectare.

2.3 MANEJO FLORESTAL DA BRACATINGA

O manejo florestal contribui para a manutenção e utilização de maneira adequada da cobertura florestal e favorece o desenvolvimento de técnicas de análises quantitativas nas decisões sobre composição, estrutura e localização de uma floresta, de maneira que ela forneça benefícios ambientais, econômicos e sociais, na quantidade e na qualidade necessária, mantendo a diversidade e garantindo a sustentabilidade da floresta (PINTO, 2000).

Schanz (2004) em uma ampla revisão sobre o manejo florestal sustentável relatou que o próprio conceito pode incluir uma série de diferentes dimensões, incluindo, por exemplo, a manutenção das características ecológicas da floresta, manutenção dos rendimentos de produtos e serviços florestais, assim como o sustento do homem que depende da floresta para sobreviver. Esse autor ainda ressaltou que existe uma grande dificuldade em implementar e discutir conceitos em torno do manejo florestal sustentável, e que ele varia de uma cultura para outra, divergindo quanto a visões e valores nas diferentes perspectivas sociais, tornando-se difícil atingir um senso comum.

Poggiani *et al.* (1998) afirmaram que a sustentabilidade de uma floresta manejada ou de uma plantação florestal está fundamentada nas seguintes premissas básicas: manutenção e até aumento da produção de madeira, perpetuidade do equilíbrio dinâmico entre a entrada e saída de energia e nutrientes, conservação da capacidade de regeneração do ecossistema.

O sistema de manejo da bracatinga é simplificado, realizado pela maioria dos produtores de forma empírica. Conforme Carneiro *et al.* (1982) no manejo é feito uma roçada para limpeza da área, visando facilitar o corte da bracatinga, que geralmente ocorre entre cinco a dez anos de idade, na forma de corte raso. Após o corte, é prática usual a queima dos resíduos da exploração, sendo realizada em meados de setembro, para que ocorra a quebra de dormência das sementes

acumuladas em diferentes camadas do solo e a conseqüente regeneração natural da floresta. Os proprietários executam, após a queima, o plantio de culturas agrícolas, principalmente milho e feijão. Normalmente aos 30 e 60 dias após o fogo, são realizadas capinas das culturas de ciclo curto que servem também para raleiar o excesso de plântulas de bracatinga. Segundo Carpanezzi *et al.* (1988), após o cultivo agrícola inicial, os agricultores, como regra, não fazem raleios. Assim, estabelece-se forte competição e há mortalidade acentuada até a idade de 4 a 5 anos, quando a densidade torna-se mais estável. O número de plantas por hectare, na idade de exploração mais frequente (6 a 8 anos), é relativamente constante, podendo-se considerar que a lotação de bracatinga é de 1.400 a 3.000 plantas por hectare, para DAP a partir de 5 cm.

Dossa *et al.* (2006), estudando a produção dos bracatingais, afirmaram que após a colheita dos grãos consorciados com a bracatinga, o produtor espera a época de corte que vai ocorrer entre os sete e oito anos de idade da planta, quando ela tem um diâmetro médio em torno de 9 cm. O sistema de corte é efetuado pelo uso da motosserra, em que o produtor derruba a árvore seccionando o fuste e os galhos em peças de aproximadamente um metro de comprimento. Em seguida, com o uso de um animal (cavalo ou boi) e uma "carreta", transporta o produto até o carreador. Lá ele empilha a sua produção e espera a venda e o transporte.

Este sistema utilizado gera divergências quanto ao uso do fogo e a consorciação com culturas agrícolas no que tange a disponibilidade de nutrientes. A preocupação com a exaustão de nutrientes dos sítios florestais já existia no século XIX, quando silvicultores alemães recomendavam que a reposição dos nutrientes extraídos pela madeira e outros produtos florestais deveria ser no mínimo igual às retiradas, caso contrário, a produtividade seria prejudicada (FERREIRA *et al.*, 2001).

Pomianoski *et al.* (2006), ao estudarem o efeito do fogo nas características químicas e biológicas no sistema agroflorestal tradicional da bracatinga, concluíram que a queima dos resíduos da colheita da bracatinga aumenta inicialmente a concentração de nutrientes. Porém, a manutenção da cobertura vegetal, sem o uso do fogo, controla a erosão, mantém os nutrientes no solo, além de proporcionar um aumento na atividade microbiana do solo, melhorando, assim, a sustentabilidade da atividade florestal.

Além do sistema de manejo tradicional da bracatinga, Baggio (1994) e Carpanezzi *et al.* (1988) citaram outros sistemas, tais como o Biguaçu, o sistema de

San Ramón e o sistema silvipastoril. O sistema Biguaçu foi desenvolvido por agricultores do município de Biguaçu, no Estado de Santa Catarina. Ele consiste na indução da regeneração com o fogo, no entanto se diferencia do sistema tradicional pela densidade de árvores, que varia entre 600 a 1.000 árvores no final do primeiro ano. Adicionalmente, são realizadas diversas podas ao longo de sua rotação, a fim de manter uma boa iluminação para o crescimento da mandioca, que é produzida em consórcio com a bracatinga. Sua idade de rotação neste sistema é de 6 a 7 anos e a madeira é utilizada para estacas de construção e lenha.

O sistema de San Ramón, desenvolvido na Costa Rica, é praticado em consórcio com o cultivo do café. A principal função das árvores de bracatinga neste sistema não é a produção de madeira, mas sim fornecer sombra aos cafezais. As bracatingas são plantadas em espaçamentos de 4,0 m x 4,0 m ou de 5,0 m x 5,0 m, e podas freqüentes são realizadas a partir do primeiro ano. Devido às grandes doses de fertilizantes que são aplicados nos cafezais, o diâmetro médio das árvores aos 16 meses varia entre 8 a 11 cm, sendo que a partir dos 3 anos a madeira já é aproveitada para lenha e postes para cerca (ARCE e BAUER, 1985).

O sistema silvipastoril, que está sendo praticado na Região Metropolitana de Curitiba, consiste em consorciar a produção de animais com a bracatinga, sendo que esta não tem finalidade comercial. No inverno, quando os pastos são escassos, os animais se alimentam dos ramos baixos das bracatingas, que são ricas em proteínas e apreciadas pelos animais. Adicionalmente, no verão as árvores fornecem sombra aos animais e contribui com a estética da paisagem (BAGGIO *et al.*, 1986).

Fox (2000) definiu o sistema de manejo intensivo de florestas como aqueles que envolvem a manipulação dos solos visando a melhoria nos fatores limitantes para o crescimento das árvores. Já no sistema de manejo extensivo, a madeira é simplesmente colhida e em seguida a regeneração natural avança na área, onde o desenvolvimento dessas ocorre sem nenhuma intervenção, como na maioria dos casos dos bracatingais da região.

O impacto do manejo intensivo na qualidade do solo e, conseqüentemente, no crescimento das árvores pode ser positivo, neutro ou negativo. A direção e a magnitude desses impactos dependem especificadamente do manejo aplicado relativo às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Práticas de preparação do local de plantio, que removem grandes quantidades de matéria

orgânica da superfície do solo, podem trazer prejuízos na qualidade do sítio, principalmente em solos arenosos (FOX, 2000).

Um outro fator a ser considerado é a manutenção da produtividade dos sítios, principalmente em condições de baixo suprimento de elementos essenciais às árvores pelo solo. As explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, são apontadas como as maiores responsáveis pela exaustão do solo (FERREIRA *et al.*, 2001). Esses autores ainda apontam a inconveniência da exploração total da árvore e da importância da manutenção das galhadas e folhas no campo, e recomendam o descascamento das toras no local de exploração. Uma alternativa adotada e que pode, pelo menos em parte, compensar as perdas de nutrientes, é a reposição destes através do retorno da cinza proveniente da queima dos resíduos florestais e de outros componentes das árvores (GONÇALVES e MORO, 1995).

Mälkönem² (1976, citado por Moro *et al.*, 2008), estudando a exploração de *Pinus taeda*, concluiu que a retirada tradicional da madeira não empobrece o solo, uma vez que o teor de nutrientes contidos na madeira é muito baixo, entretanto, sugere que os resíduos dos desbastes (galhos finos e copa) permaneçam no talhão, com a função de manter os nutrientes contidos nesse material e garantir a ciclagem.

Baggio e Carpanezzi (1997c) estimaram os resíduos de bracatinga após a exploração florestal e com galhadas no solo, encontrando valores médios de 40,85 t.ha⁻¹ de matéria seca, sendo 9,81 de lenha, 15,13 de galhos e 15,29 de serapilheira. Dois anos após os mesmos autores estimaram a biomassa média de 69,99 t.ha⁻¹ de matéria seca, sendo que a lenha correspondeu a 85,4% do total, os galhos 9,2% e a biomassa verde 5,4%.

Grodzki (2000), ao estudar o efeito do fogo em um bracatingal constatou que não houve nenhuma volatilização expressiva dos nutrientes, permanecendo eles à disposição das plantas. Esse autor relatou que houve um acréscimo de nutrientes disponíveis no solo após a queima, exceto para K, que provavelmente foi lixiviado pela alta precipitação ocorrida pós queima, porém com regresso aos valores encontrados anteriormente decorridos três meses após a queima.

² MÄLKÖNEM, E. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 10, n. 3, p. 157-64. 1976.

O sistema agroflorestal tradicional da bracatinga (SAFT) precisa mudar para não desaparecer. Hoje, decorridos cerca de 100 anos de história dos bracatingais do SAFT da Região Metropolitana de Curitiba, a situação geral dos seus talhões de cultivo permanece muito parecida; corte a cada 7 anos e regeneração pela ação do fogo, com plantio intercalar de culturas de ciclo curto (principalmente milho e feijão) entre tocos, nos seis meses iniciais. Os tratos culturais continuam poucos, a reposição de nutrientes por adubação é ínfima e nenhum material genético apropriado para o sistema foi desenvolvido. A motosserra substituiu parcialmente o machado; quando feita, a adubação é restrita às culturas agrícolas, sem calagem ou orientação técnica. A mudança do SAFT deve, entre outros aspectos, visar ao aumento da produtividade do bracatingal e aumento do número de toras mais grossas, adequadas para serraria e que trazem maior remuneração ao produtor (CARPANEZZI, 2006).

2.4 NUTRIENTES MINERAIS E A IMPORTÂNCIA DA CICLAGEM

Dechen e Nachtigall (2006) relataram que pesquisas advindas dos anos de 1840 a 1855 mencionaram a importância de elementos minerais para as plantas, classificando como elementos minerais essenciais o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), silício (Si), sódio (Na) e ferro (Fe), todos retirados do solo, além de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), retirados da água e do ar.

No Brasil os primeiros trabalhos desenvolvidos a respeito da quantificação e exportação de nutrientes em plantios florestais ocorreram no estado de São Paulo, através de estudos realizados por pesquisadores da ESALQ/USP. Dentre esses se destacaram os trabalhos de Haag *et al.* (1978), Castro e Poggiani (1979), Poggiani *et al.* (1979), Brito *et al.* (1979), Castro *et al.* (1980), Poggiani (1980), Poggiani *et al.* (1983), entre outros.

Epstein (1975) classificou os elementos químicos ligados à nutrição mineral de plantas em dois grupos, os elementos benéficos e os elementos essenciais, podendo ambos se tornarem tóxicos quando presentes em altas concentrações. Os elementos benéficos são aqueles que melhoram o desenvolvimento de algumas espécies vegetais (silício, sódio e selênio). Já os elementos essenciais são aqueles

que participam de algum composto ou reação sem o qual a planta não exerce seu ciclo vital (MALAVOLTA, 2006).

Arnon e Stout (1939) estabeleceram três critérios que devem ser atendidos para que um elemento possa ser considerado essencial:

- Critério 1: um elemento é essencial se sua deficiência impede que a planta complete seu estágio vegetativo ou reprodutivo em seu ciclo de vida.
- Critério 2: para que um elemento seja essencial, ele não pode ser substituído por outro com propriedades similares. Por exemplo, o Na possui propriedades semelhantes às do K, porém não pode substituí-lo completamente.
- Critério 3: o último critério a ser cumprido é de que o elemento deve participar diretamente no metabolismo da planta e que seu benefício não esteja relacionado ao fato de favorecer as características do solo, melhorando o crescimento da microflora ou algum efeito similar.

A presença de um elemento com alta concentração em uma planta não é um indicador seguro de sua essencialidade, já que as plantas apresentam capacidade de absorção seletiva limitada, de modo que podem absorver pelas raízes elementos minerais não essenciais e, ou, mesmo tóxicos. Assim, mesmo que um elemento possibilite melhorar o crescimento ou um processo fundamental de uma planta, ele não é considerado essencial se ele não atender os três critérios de essencialidade. Todos os 17 elementos que constam na Tabela 1, cumprem essas exigências e devem ser fornecidos às plantas para que essas germinem, cresçam, floresçam e produzam sementes (DECHEN e NACHTIGALL, 2006).

Em média, a matéria seca contém 45% de carbono, 45% de oxigênio e 6% de hidrogênio. Portanto, os elementos minerais em conjunto constituem em média 4% da matéria seca do vegetal. Convencionalmente, aqueles elementos requeridos em altas concentrações ($\geq 1 \text{ g.kg}^{-1}$ na matéria seca) são os chamados macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S), e os de baixas concentrações ($\leq 400 \text{ mg.kg}^{-1}$ na matéria seca), micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn, Cl, Mo, B, Ni).

Malavolta (2006) definiu as funções dos macronutrientes como metabólicas, armazenamento e transferência de energia, função estrutural, abertura e fechamento dos estômatos, atividades protéicas, relações osmóticas e síntese de carboidratos, atividades enzimáticas (estruturais e fotossintéticas), além de serem componentes de grupos ativos de enzimas e coenzimas. Já os micronutrientes desempenham as seguintes funções: transporte de carboidratos e coordenação com fenóis, atividades

fotossintéticas, processos enzimáticos e fotossintéticos, componente em grupos ativos em enzimas e em transportadores de elétrons, atividades metabólicas de ácidos orgânicos e fotossíntese, fixação do N₂ e redução de NO₃ e diversas atividades enzimáticas.

TABELA 1 - RELAÇÃO DOS ELEMENTOS ESSENCIAIS ÀS PLANTAS SUPERIORES, COM AS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS NA MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA DE PLANTAS E OS RESPECTIVOS AUTORES QUE DEMONSTRARAM A SUA ESSENCIABILIDADE E O ANO QUE OCORREU A DESCOBERTA.

Elemento	Concentração média	Demonstração da essencialidade	Ano
C	450 (g.kg ⁻¹)	Saussure	1804
O	450 (g.kg ⁻¹)	Saussure	1804
H	60 (g.kg ⁻¹)	Saussure	1804
N	15 (g.kg ⁻¹)	Saussure	1804
K	10 (g.kg ⁻¹)	Sachs e Knop	1860,1865
Ca	5 (g.kg ⁻¹)	Sachs e Knop	1860,1865
P	2 (g.kg ⁻¹)	Vill	1860
Mg	2 (g.kg ⁻¹)	Sachs e Knop	1860,1865
S	1 (g.kg ⁻¹)	Sachs e Knop	1865
Cl	100 (mg.kg ⁻¹)	Broyer <i>et al.</i>	1954
Mn	50 (mg.kg ⁻¹)	Mazé e McHargue	1915,1922
B	20 (mg.kg ⁻¹)	Warigton	1923
Zn	20 (mg.kg ⁻¹)	Sommer e Lipman	1926
Fe	10 (mg.kg ⁻¹)	Sachs e Knop	1860,1865
Cu	6 (mg.kg ⁻¹)	Lipman e McKinney	1931
Ni	3 (mg.kg ⁻¹)	Brown <i>et al.</i>	1987
Mo	0,1 (mg.kg ⁻¹)	Arnon e Stout	1938

Os elementos minerais essenciais são denominados nutrientes minerais e classificados, conforme as quantidades exigidas pelas plantas, em: macronutrientes, que constituem aproximadamente 99,5% da massa seca, e micronutrientes, que constituem cerca de 0,5% (EPSTEIN e BLOOM, 2006). Segundo Malavolta (2006) de um modo geral as necessidades de macronutrientes pelas plantas segue a seguinte ordem decrescente: N> K> Ca> P= Mg= S; e no caso dos micronutrientes tem-se: Fe> Mn> B> Cu> Mo> Co> Ni> Se.

Malavolta (2006) ainda discorre sobre as funções exercidas pelos macros e micronutrientes, onde apresenta uma função estrutural, na qual os elementos fazem parte da molécula de um ou mais compostos orgânicos (N, Ca e Mg); função de constituinte enzimático, a qual se refere aos elementos que fazem parte do grupo

prostético de enzimas e que são necessários para sua atividade, sendo exercida geralmente por metais (Cu, Fe, Mn, Mo, e Zn) e os ativadores enzimáticos, que são os elementos dissociáveis da fração protéica da enzima e necessário para sua ativação (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} , Mn^{+2} e Fe^{+2}).

A remoção dos nutrientes do solo pode ocorrer por meio do crescimento da vegetação existente. Entretanto, a ciclagem de nutrientes é responsável por repor os nutrientes ao solo como forma de devolução, a partir da morte da planta ou da liberação de suas estruturas no solo. Porém, quando o cultivo no solo é contínuo anos após anos sem nenhuma intervenção, ocorre o esgotamento dos nutrientes e esse ciclo não é seguido completamente, acarretando no decréscimo da produtividade.

Dessa forma, o conhecimento da ciclagem de nutrientes é extremamente importante para se avaliar o impacto e as implicações das ações de manejo na disponibilidade de nutrientes no solo e na produtividade futura dos povoamentos florestais, visando sempre à sustentabilidade da produção.

Andrade *et al.* (1999) descreveram a ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais como um processo de absorção dos minerais pelas plantas, translocação interna entre os tecidos vegetais e transferência desses elementos, acumulados na fitomassa, novamente para o solo, a atmosfera e a hidrosfera, tornando-se disponíveis para serem reabsorvidos. Dentre os mecanismos envolvidos neste ciclo, a queda de resíduos senescentes da parte aérea das plantas, que formam uma camada denominada de serapilheira na superfície dos solos florestais e sua gradativa decomposição, tem papel fundamental para a sustentabilidade desses ecossistemas, principalmente, em solos tropicais de baixa fertilidade natural.

De acordo com Switzer e Nelson³ (1972, citados por SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001) o processo de ciclagem de nutrientes, nos ecossistemas florestais, pode ser caracterizado em três tipos: ciclo geoquímico, que se refere a troca de elementos minerais entre os diversos ecossistemas; ciclo biogeoquímico, que é aquele que se estabelece nas relações entre o solo-planta-atmosfera e o ciclo bioquímico, que está relacionado com as transferências internas dos elementos dentro dos processos de metabolismo vegetal.

³ SWITZER, G. L e NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison. v. 36, p. 143-147, 1972.

A ausência de reposição dos nutrientes exportados associada às perdas por processos erosivos e de lixiviação, conduz invariavelmente a uma aceleração na exaustão dos níveis de fertilidade química do solo, afetando diretamente a produtividade dos sítios florestais (GONÇALVES *et al.*, 2008).

Segundo Poggiani e Schumacher (2000) a quantidade de nutrientes exportados com a madeira retirada depende da idade das árvores. No início da formação do cerne, parte dos nutrientes móveis, como N, P e K, são translocados para outras partes da árvore, através da ciclagem interna dos nutrientes, enquanto que o Ca acumula-se no caule. Dependendo das condições do sítio, alguns desses nutrientes podem ser limitantes para o crescimento das árvores nas rotações futuras.

Para avaliar práticas de manejo, tanto em ecossistemas de florestas plantadas quanto naturais, o estudo da biomassa e de nutrientes removidos com a colheita florestal configura-se como um fator essencial em favor do uso sustentado desses ecossistemas (VIEIRA *et al.*, 2011). Portanto, o estudo da estimativa da remoção de macros e micronutrientes em diferentes componentes da árvore é fundamental para existência de um manejo responsável.

Vieira e Schumacher (2010) afirmaram que a saída de nutrientes via exportação deve ser um componente levado em consideração por parte das empresas, na hora do planejamento florestal. Tal preocupação, evita que haja diminuição de produtividade com as rotações futuras e também contribui para o manejo sustentável, pois a exportação de nutrientes, principalmente do cálcio, é elevado devido à colheita da madeira com casca. Nesse sentido, deve-se evitar a remoção dos resíduos (folhas, cascas e galhos) durante a colheita florestal, contribuindo com a sustentabilidade ambiental, por meio do incremento da disponibilidade de nutrientes após a decomposição desse material e, conseqüentemente, diminuindo o uso de adubação, para reposição nutricional do sítio florestal

Desta forma, devido à crescente preocupação com a sustentabilidade do empreendimento florestal, diversos trabalhos foram realizados ao longo dos anos para diferentes espécies a fim de quantificar os nutrientes presentes na biomassa. Alguns valores de macronutrientes para diferentes espécies, em locais e idades distintas, podem ser verificados na Tabela 2, bem como seus respectivos pesquisadores.

TABELA 2 - VALORES MÉDIOS DE NUTRIENTES QUANTIFICADOS POR DIFERENTES PESQUISADORES AO LONGO DOS ANOS.

Espécie	Idade (anos)	Quantidade média (kg.ha ⁻¹)					Autor
		Ca	Mg	N	P	K	
<i>Eucalyptus grandis</i>	4	84,0	37,7	305,5	30,6	108,2	Poggiani <i>et al.</i> (1979)
<i>Eucalyptus grandis</i>	7	302,0	53,0	405,0	51,0	225,0	Gonçalves <i>et al.</i> (2008)
<i>Eucalyptus saligna</i>	8	186,2	41,9	218,2	28,5	176,3	Poggiani <i>et al.</i> (1983)
<i>Eucalyptus globulus</i>	4	506,1	67,2	235,6	18,0	230,0	Schumacher e Caldeira (2001)
<i>Pinus taeda</i>	8	42,4	12,2	148,4	16,8	39,5	Moro <i>et al.</i> (2008)
<i>Pinus taeda</i>	12	58,4	17,2	163,9	16,3	46,5	Moro <i>et al.</i> (2008)
<i>Pinus taeda</i>	16	79,0	23,8	184,0	16,4	55,1	Moro <i>et al.</i> (2008)
<i>Pinus taeda</i>	20	67,0	24,0	140,0	11,7	43,2	Moro <i>et al.</i> (2008)
<i>Pinus taeda</i>	9	61,1	14,4	115,8	11,9	33,1	Vieira <i>et al.</i> (2011)
<i>Pinus oocarpa</i>	8	77,3	24,9	270,6	18,5	133,8	Castro <i>et al.</i> (1980)
<i>Pinus oocarpa</i>	14	103,3	26,4	239,9	16,7	131,4	Castro <i>et al.</i> (1980)
<i>Pinus oocarpa</i>	18	123,2	37,2	330,7	19,8	151,6	Castro <i>et al.</i> (1980)
<i>Acacia mearnsii</i>	2,4	107,7	35,1	334,4	23,7	259,7	Caldeira <i>et al.</i> (2004)
<i>Acacia mangium</i>	5	281,7	47,0	544,9	35,2	242,9	Balheiro <i>et al.</i> (2010)
<i>Ilex paraguariensis</i>	10 a 12	201,6	142,2	384,2	37,1	318,6	Berger (2006)
<i>Hovenia dulcis</i>	18	1224,0	183,1	650,0	53,5	569,3	Schumacher <i>et al.</i> (2008)
<i>Mimosa scabrella</i>	7	128,7	49,6	483,4	13,0	268,7	Baggio e Carpanezzi (1997a)

Sabe-se que a quantidade de nutrientes removidos durante o processo de exploração florestal varia conforme o compartimento da planta, variando também conforme a idade das árvores, a densidade do povoamento, a biomassa produzida, as técnicas e intensidades de exploração aplicadas. Em diversos trabalhos encontrados na literatura um gradiente de concentração é encontrado obedecendo a sequência de concentração folha > casca > ramo > tronco, sendo que, dentro do mesmo compartimento podem existir variações significativas de concentração. Já para a quantidade de nutrientes presentes a sequência N > Ca > K > Mg > P é encontrada em grande parte dos trabalhos publicados, podendo haver alterações conforme as condições citadas anteriormente

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região metropolitana de Curitiba situa-se no primeiro planalto do estado do Paraná. As faces leste, norte e sul são fortemente influenciadas pela Serra do Mar, já a oeste, por ser mais interiorizada, apresenta influência da Escarpa Devoniana (SOUZA, 2011). A região norte é conhecida como Vale do Ribeira, local em que foi coletado o maior volume de dados para realização deste trabalho.

O clima do primeiro planalto do Paraná, de acordo com a classificação de Köppen, é o Cfb, com temperatura média anual de 16,5°C, temperatura do mês mais quente de 20,4°C e do mês mais frio de 12,7°C. O mês com maior precipitação é janeiro com 190,7 milímetros e o mais seco é o mês de agosto com 78,2 milímetros. A precipitação anual média fica em torno de 1.500 milímetros (MAACK, 2002).

Os bracingais estão inseridos em solos do tipo: Latossolo Roxo Álico e Distrófico, Latossolo Vermelho-Escuro Álico e Distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Álico pouco profundo, Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Cambissolo Álico e Distrófico e Solos Litólicos Álicos e Distróficos (EMBRAPA, 1984). Somarriba e Kass (2001) em pesquisa realizada em bracingais no sul do Brasil realizaram uma extensa revisão bibliográfica e reportaram que os solos dos bracingais quase invariavelmente são de baixa fertilidade, contendo de 6 a 8% de matéria orgânica (entre 0 a 20 cm de profundidade) em sua composição, com valores de pH frequentemente abaixo de 4; níveis de fósforo abaixo de 10 mg.kg⁻¹, soma de bases abaixo de 1 cmol_c.kg⁻¹ e níveis de alumínio trocável acima de 5 cmol_c.kg⁻¹.

No total, parcelas foram alocadas em 14 municípios pertencentes à Região Metropolitana de Curitiba (RMC), conforme ilustrado na Figura 1. Esses municípios abrangem uma área total de influência de 731.850 hectares dentro da RMC, nos quais se amostrou uma área total de 8,55 hectares. Profumo Aguiar (2006) destacou que a área de estudo está compreendida entre as coordenadas planas UTM de latitude (X: 716.745) e longitude (Y: 7.252.445) para o município de Tunas do Paraná. Em Agudos do Sul, no extremo meridional, tem-se as coordenadas X: 663.828 e Y: 7.109.037. Ao oeste tem-se a região de Campo Largo com as

coordenadas X: 614.668 e Y: 7.208.921; e ao leste tem-se o município de Campina Grande do Sul com as coordenadas X: 749.622 e Y: 7.221.759. A altitude varia de 850 metros em Agudos do Sul até 980 metros acima do nível do mar em Bocaiúva do Sul.

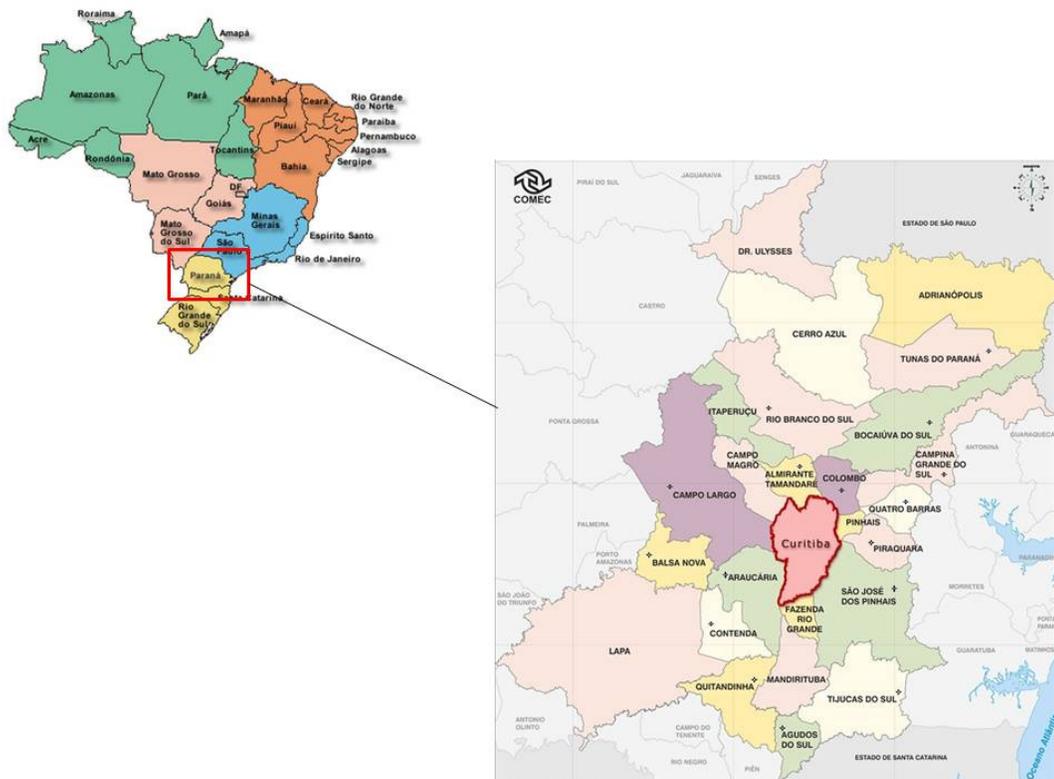


FIGURA 1 - REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA COM DESTAQUE (*) PARA OS MUNICÍPIOS ONDE OS DADOS FORAM COLETADOS.

A unidade fitogeográfica onde os bracingais estão localizados é caracterizada como faixas transicionais entre a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Ombrófila Mista, com dominância de *Araucaria angustifolia*. A geologia da região é de origem metamórfica, resultando numa topografia fortemente ondulada, com solos muito heterogêneos no que se refere à profundidade e fertilidade (SOUZA, 2011).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BASE DE DADOS

A base de dados inicial para realização deste estudo foi composta por parcelas temporárias instaladas pela EMBRAPA-FLORESTAS, Companhia de Energia Elétrica do Estado do Paraná – COPEL e por Rochadelli (1997), totalizando 167 parcelas temporárias com superfície amostral variando de 96 a 415 m².

Machado *et al.* (2008b) buscando ampliar a base de dados, realizaram a instalação de outras 100 parcelas temporárias com superfície amostral variando de 300 a 400m², como parte do projeto desenvolvido na Universidade Federal do Paraná com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), denominado “Desenvolvimento de um complexo dendrométrico, biométrico e silvimétrico para bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba como base para o manejo florestal”.

A fim de complementar a base de dados já existente, devido à baixa intensidade de parcelas nas idades avançadas, Souza (2011) instalou outras 40 parcelas temporárias em povoamentos com idades variando de 9 a 18 anos. As parcelas foram instaladas com superfície amostral de 300 a 400 m² (10 x 30m e 10 x 40m), variando de acordo com a densidade de indivíduos encontrados na área da parcela alocada.

Em todas as parcelas foram medidas as circunferências a altura do peito (CAP) e alturas total de todos os indivíduos. Em algumas parcelas também foram mensuradas a altura comercial, correspondente a altura até o ponto de inversão morfológica. Utilizou-se para a medição do CAP das árvores uma fita métrica, e para altura total e comercial um hipsômetro Blume-Leiss e uma vara métrica graduada. A idade foi determinada a partir de informações locais, ou na ausência dessas, leitura de anéis de crescimento foram realizadas.

Desta forma, 307 parcelas foram utilizadas no presente estudo, com idade variando de 3 a 18 anos, em três diferentes classes de sítio, com idade de referência de 7 anos (9, 13 e 17 metros), com diâmetro a 1,30 metros do solo (DAP) mínimo de 3,7 cm e máximo de 23,7 cm, e altura mínima de 6,9 m e máxima de 20,2 m.

As curvas de sítio foram construídas utilizando a equação selecionada por Machado *et al.* (2011) para classificação de sítio em povoamentos nativos de bracatinga.

3.3 MODELAGEM INDIVIDUAL DOS NUTRIENTES

As estimativas de nutrientes na biomassa aérea total e no compartimento lenha nas árvores individuais foram realizadas utilizando as equações selecionadas por Téo (2009), em que esse autor determinou a concentração dos nutrientes em árvores de bracatinga e posteriormente quantificou os nutrientes e realizou a modelagem dos mesmos a partir de 25 árvores coletadas em campo.

A biomassa aérea total foi considerada como a soma do peso seco dos compartimentos fuste, casca, galhos com diâmetro maior ou igual a 4 cm, galhos com diâmetro menor que 4 cm, galhos mortos e folhas. Já o compartimento lenha foi definido como sendo o peso seco dos componentes fuste, casca e galhos com diâmetro maior ou igual a 4 cm. A subtração entre a biomassa aérea total pela lenha resultou na copa (galhos < 4 cm, folhas e galhos mortos), os quais permanecem na área após a exploração do bracatingal.

Uma análise dos 15 modelos ajustados por Téo (2009) indicou que o modelo de Brenac ($\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(\text{DAP}) + \beta_2 \cdot 1/\text{DAP}$) foi um dos que mais se adequou aos dados do presente estudo para todos os macro e micronutrientes. Os resultados das equações ajustadas para cada um dos nutrientes e compartimentos são apresentadas na Tabela 3, contendo os respectivos coeficientes e estatísticas.

Embora o modelo de Brenac não tenha sido o de melhor ajuste e precisão para todos os casos, ele sempre esteve entre os melhores na pesquisa desenvolvida por Téo (2009). Além disso esse modelo tem a vantagem de ter apenas o DAP como variável independente e não apresenta tendenciosidade, com os resíduos bem distribuídos ao longo de toda a linha de estimativa da variável dependente para todos os nutrientes minerais.

Aos moldes do inventário volumétrico usual, em que se usa equações de volume, na presente pesquisa foram aplicados as equações individuais apresentadas na Tabela 3 a fim de processar o peso individual para cada nutriente por árvore. A soma dos pesos individuais de todas as árvores resultou no peso da parcela de área conhecida. Este peso por parcela foi extrapolado para hectare, obtendo-se assim a variável dependente para cada uma das 307 parcelas de amostragem, as quais continham um total de 14.357 árvores.

TABELA 3 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE BRENAC, CONFORME TEO (2009), PARA OS COMPARTIMENTOS: TOTAL E LENHA.

Nutriente	Compartmento	Coeficientes			Estatísticas	
		β_0	β_1	β_2	$R^2_{ai}(\%)$	$S_{yx}(\%)$
N	Total	8,394971	-0,08425	-26,8455	91,16	20,08
	Lenha	6,015035	0,512663	-22,1948	92,28	20,08
P	Total	5,538451	-0,2933	-27,521	80,31	29,90
	Lenha	3,560717	0,101886	-23,0934	77,58	32,56
K	Total	9,153108	-0,48628	-32,4935	58,28	58,69
	Lenha	8,026304	-0,20646	-29,9464	56,11	62,83
Ca	Total	10,71795	-0,96967	-36,0036	91,74	17,66
	Lenha	11,05354	-1,11159	-39,199	91,39	18,91
Mg	Total	-2,11787	2,123819	-2,12617	67,85	45,45
	Lenha	-4,55113	2,749372	2,849006	57,28	56,53
Fe	Total	12,15933	-0,58829	-29,7455	81,79	26,53
	Lenha	10,96044	-0,27226	-26,7302	80,97	28,40
Cu	Total	10,60431	-0,56252	-34,2979	92,08	18,70
	Lenha	9,349805	-0,25277	-32,8521	90,20	23,50
Zn	Total	7,19123	0,00878	-21,787	43,85	53,87
	Lenha	3,199925	1,026214	-10,1251	21,65	53,99
Mn	Total	-4,89198	4,190422	24,37111	64,68	64,49
	Lenha	-3,02762	3,599004	14,82807	66,70	59,90

3.4 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Para uma análise exploratória, a fim de se verificar padrões entre as variáveis presentes na base de dados, gráficos de dispersão entre as variáveis dependentes x independentes foram avaliados. A detecção de pontos discrepantes foi realizada pela interpretação gráfica de diagramas de caixa (*boxplot*), conforme Triola (1999), verificando os possíveis *outliers*.

Para cada uma das variáveis da base de dados, calculou-se as estatísticas descritivas tais como a média aritmética, o coeficiente de variação, o erro padrão, o erro de amostragem absoluto e relativo, o intervalo de confiança para a média e intensidade amostral. Adotou-se um limite de 10% e um nível de significância de

95% nas formulações listadas por Péllico e Brena (1997) para amostragem casual simples.

3.4.1 Matriz de correlação linear

Uma matriz de correlação linear foi construída com os dados das 307 parcelas amostradas, utilizando as variáveis dependentes (peso de nutrientes por hectare) em sua forma pura e logarítmica, contra as variáveis independentes em sua forma pura, inversa, combinada, quadrática e logaritmizada. Ao todo a matriz foi composta por 93 variáveis independentes contra cada variável dependente em sua forma pura, combinada e logaritmizada. A matriz de correlação linear foi ajustada em uma planilha do MS EXCEL 2007.

A matriz de correlação calcula os coeficientes de correlação das colunas de uma matriz, ou seja, é uma matriz quadrada, simétrica, cuja diagonal é formada pela correlação da variável com ela mesma, e em cada interseção linha (i) e coluna (j) tem-se a correlação das variáveis dependentes com as independentes. O coeficiente de correlação linear (r) mede o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados x e y em uma dada amostra (TRIOLA, 1999), sendo calculado da seguinte forma:

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x)^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y)^2 - (\sum y)^2}}$$

em que:

r = coeficiente de correlação linear;

n = número de pares de dados presentes na amostra;

x = variável independente;

y = variável dependente.

3.5 MODELAGEM DOS NUTRIENTES POR UNIDADE DE ÁREA

Após a quantificação individual de nutrientes, as estimativas por unidade de área foram geradas seguindo o processamento usual de um inventário florestal, o qual é mais comumente realizado para cálculo de volume por hectare, mas que neste estudo foi feito para estimar os nutrientes presentes na parte aérea dos bracatingais.

Com as estimativas advindas dos modelos individuais aplicados às árvores contidas nas 307 parcelas, os valores dos nutrientes presentes em cada árvore foram somados, obtendo-se assim valores em quilograma por parcela. Esse valor foi extrapolado para hectare conforme a área amostral de cada parcela; porém como elas possuem áreas variáveis, calculou-se um fator individual de conversão da quantidade de nutriente por hectare para cada uma delas. Por fim, a quantidade de nutriente por hectare com base nas 307 parcelas constituíram os valores da variável dependente para a modelagem por unidade de área. Apenas 261 parcelas foram utilizadas nos ajustes por unidade de área, sendo as demais reservadas para posterior validação do modelo selecionado, conforme explicado adiante.

De posse da variável dependente, o primeiro passo para a construção de um modelo matemático com o propósito de obtenção de estimativas foi a definição do problema, bem como das variáveis independentes e resposta. Neste trabalho, as variáveis resposta (dependentes) foram a quantidade de nutrientes em quilograma por hectare (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn) presentes na biomassa aérea total e nos compartimentos lenha e copa. As variáveis independentes utilizadas na modelagem foram o diâmetro médio à altura do peito (DAP), altura média total (h), altura dominante média (hd), área basal (G), número de indivíduos por hectare (N), diâmetro médio quadrático (dg), índice de sítio (IS) e idade (I), além de suas combinações e formas logarítmicas.

Os modelos testados foram selecionados na literatura, os quais foram tradicionalmente empregados para estimativa volumétrica por unidade de área. Esses consistiram em diversos modelos aritméticos, semi-logarítmicos e logarítmicos. Novamente os ajustes foram feitos numa planilha do MS EXCEL 2007, utilizando o método dos mínimos quadrados para todos os modelos, com exceção dos modelos 6 e 7 (não lineares) que tiveram seus parâmetros estimados pela função SOLVER com o algoritmo linear de gradiente reduzido generalizado (GRG),

afim de minimizar a soma de quadrado dos resíduos. A Tabela 4 apresenta a lista dos modelos que foram utilizados no ajuste de nutrientes por hectare.

TABELA 4 - MODELOS MATEMÁTICOS TRADICIONAIS AVALIADOS.

Modelo	Estrutura Matemática	Autor
1	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot G + \varepsilon$	Spurr (1952)
2	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot G \bar{h} + \varepsilon$	Spurr (1952)
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot G h_{dom} + \varepsilon$	Spurr (1952)
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot G^2 \bar{h} + \varepsilon$	Rosot (1989)
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot G^2 h_{dom} + \varepsilon$	Silva (1979)
6	$Y = \beta_0 + G^{\beta_1} + \bar{h}^{\beta_2} + \varepsilon$	Ung e Ouellet (1991)
7	$Y = \beta_0 + G^{\beta_1} + h_{dom}^{\beta_2} + \varepsilon$	Ung e Ouellet (1991)
8	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G \bar{h}) + \varepsilon$	Figueiredo Filho (1983)
9	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G h_{dom}) + \varepsilon$	Figueiredo Filho (1983)
10	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G^2 \bar{h}) + \varepsilon$	Figueiredo Filho (1983)
11	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G) + \varepsilon$	Spurr (1952)
12	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G \bar{h}) + \varepsilon$	Spurr (1952)
13	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G h_{dom}) + \varepsilon$	Spurr (1952)
14	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G^2 \bar{h}) + \varepsilon$	Figueiredo Filho (1983)
15	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G^2 h_{dom}) + \varepsilon$	Spurr (1952)
16	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G \bar{h}) + \beta_2 \cdot \ln(G h_{dom}) + \varepsilon$	Profumo Aguiar (2006)
17	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(GN) + \varepsilon$	Rosot (1989)
18	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G^2 N) + \varepsilon$	Scolforo (2005)
19	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(\overline{DAP^2 \bar{h}}) + \varepsilon$	Rosot (1989)
20	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(N \overline{DAP}) + \varepsilon$	Scolforo (2005)
21	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot S + \beta_2 \cdot I^{-1} + \beta_3 \cdot \ln(G) + \varepsilon$	Sullivan e Clutter (1972)
22	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G) + \beta_2 \cdot \ln(\bar{h}) + \varepsilon$	Ung e Ouellet log. (1991)
23	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(G) + \beta_2 \cdot \ln(h_{dom}) + \varepsilon$	Ung e Ouellet log. (1991)

Em que: ln=logaritmo natural, Y=variável dependente (conteúdo de nutrientes em kg.ha⁻¹), G=área basal (m².ha⁻¹), \bar{h} =altura média (m), h_{dom} =altura dominante média (m), \bar{d} =diâmetro médio (cm) e N=número de indivíduos por hectare.

Além de testar modelos tradicionais selecionados na literatura, também foram gerados modelos pelo procedimento estatístico *Stepwise* (método *Forward*), o qual será no item 3.6.

3.5.1 Discrepância logarítmica

Alguns modelos matemáticos avaliados apresentam a variável dependente transformada matematicamente (modelos logarítmizados). Para tais modelos as estatísticas de ajuste e precisão foram recalculadas, levando em consideração a variável de interesse, neste caso, o conteúdo de nutrientes. No entanto, para os modelos matemáticos logarítmicos, o simples cálculo do antilogaritmo não é suficiente para obter o conteúdo de nutrientes de maneira correta, pois quando tal

operação matemática é realizada, existe um erro embutido nesse artifício matemático denominado de discrepância logarítmica; a aplicação do antilogaritmo fornece a média geométrica da variável dependente e não a média aritmética, subestimando sistematicamente os valores estimados pelo modelo logarítmico.

Assim, em 1938, Meyer desenvolveu um índice que corrige a diferença entre as médias, denominado então como Fator de Meyer (FM). O valor do FM foi calculado da seguinte forma:

$$FM = e^{0,5 \cdot S_{yx}^2}$$

em que:

e = base do logaritmo natural (2,718281828);

S_{yx} = erro padrão da estimativa.

3.6 MODELAGEM DOS NUTRIENTES PELO MÉTODO *FORWARD*

Posteriormente à construção da matriz de correlação, as 93 variáveis independentes foram utilizadas nas regressões passo a passo, através do método *Forward* de inclusão de variáveis na análise de regressão.

O procedimento *stepwise* (regressão passo a passo) é uma tentativa de alcançar a melhor equação de regressão por meio da inserção de variáveis, sendo uma regressão passo a passo. A primeira variável independente a ser inserida no modelo matemático é a que apresenta o maior coeficiente de correlação com a variável dependente. A inserção das demais variáveis é determinada pelo coeficiente de correlação parcial como medida da importância das variáveis que ainda não participam do modelo.

Draper e Smith (1968) definem o método *Forward* como a inserção de variáveis no modelo através da avaliação dos coeficientes de correlação parciais, e a cada nova inclusão de variáveis os valores de coeficiente de determinação e o valor parcial do teste F são analisados. O procedimento é interrompido, resultando no modelo final, assim que o valor do F parcial da última variável inserida no modelo não for mais significativo.

Cada uma das variáveis independentes selecionadas foi avaliada pelo procedimento quanto à sua contribuição na estimativa dos nutrientes, e assim, acrescentadas ou eliminadas do modelo de regressão. Adotou-se um nível de significância de 5% para inserção ou eliminação de variáveis na regressão.

O procedimento foi realizado utilizando o programa estatístico denominado Statgraphics Centurion XV. Assim, equações aritméticas e logarítmicas para cada nutriente estudado foram construídas e avaliadas juntamente às demais equações tradicionais ajustadas a fim de selecionar a que melhor estimou o conteúdo de nutrientes em bracatingais.

3.7 SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES

A seleção da melhor equação para cada estimativa das variáveis dependentes foi feita comparando-se os modelos em relação às suas estatísticas de precisão do ajuste e a dispersão dos resíduos, além da validação do modelo selecionado. Para tal, os critérios utilizados foram o coeficiente de determinação ajustado em porcentagem (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa absoluto e percentual (S_{yx} e $S_{yx} \%$), significância dos coeficientes da equação (valor de $p < 0,05$) e análise visual dos gráficos de dispersão dos resíduos.

Como foi testado um número alto de modelos, foram selecionados inicialmente quatro modelos de melhor desempenho conforme critérios adotados descritos anteriormente, utilizando por fim a soma de quadrado dos resíduos como critério de desempate, caso ocorrido. Quanto menor for o valor da soma de quadrado dos resíduos melhor a estimativa do modelo (DRAPER e SMITH, 1968). O modelo só foi selecionado definitivamente após a validação e verificação de seu comportamento na base de dados independente.

3.7.1 Coeficiente de determinação ajustado

O coeficiente de determinação (R^2) expressa o quanto as variações da variável dependente são explicadas pelas variáveis independentes; este R^2 varia de 0 a 100%, sendo que, quanto mais próximo de 100% mais eficiente é a equação

ajustada. Este coeficiente deve ser corrigido ou ajustado em função do número de parâmetros envolvidos no modelo. O valor de $R^2_{aj.}$ é particularmente útil na comparação entre equações de regressão que envolvem diferentes números de variáveis independentes ou diferentes tamanhos de amostra, pois ele leva em consideração o número específico de variáveis independentes e o tamanho da amostra em que cada modelo é baseado. O $R^2_{aj.}$ foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$R^2_{aj.} = 1 - \left[\frac{(n - 1)}{n - p - 1} (1 - R^2) \right]$$

em que:

$R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado;

n = número de observações;

p = número de coeficientes do modelo matemático;

R^2 = coeficiente de determinação.

3.7.2 Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa expressa o quão, em termos médios, os valores estimados estão distantes de seus respectivos valores observados. É a partir deste valor que se consegue um intervalo de confiança. A unidade do S_{yx} é a mesma da variável dependente; e, quanto mais próximo de zero ele for, mais eficiente será a regressão. No caso da variável dependente sofrer algum tipo de transformação o S_{yx} deve ser retransformado, calculando-se a variável dependente estimada na unidade da variável observada. Assim, o valor de S_{yx} e o S_{yx} % foram calculados como:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{n - p - 1}} \quad e \quad S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}}$$

em que:

S_{yx} = erro padrão da estimativa;

Y = variável dependente observada;

\hat{Y} = variável dependente estimada;

\bar{Y} = média da variável dependente observada;

n = número de observações;

p = número de parâmetros do modelo matemático.

3.7.3 Análise de dispersão dos resíduos

A análise gráfica dos resíduos indica se o ajuste foi bom ao longo de toda a linha estimativa, se há ou não tendenciosidade no ajuste e se a variância é homogênea ao longo da linha de regressão. A análise gráfica dos resíduos tem sido considerada fundamental para o julgamento na análise de regressão e, embora seja subjetiva, é um teste indispensável para uma correta seleção de modelos.

Quando aplicada uma análise de regressão, espera-se que os resíduos sejam independentes, com a média igual a zero, com a variância constante e siga uma distribuição normal (DRAPER e SMITH, 1968). De acordo com esses autores, qualquer violação dos pré-requisitos necessários para a análise de regressão podem ser identificados por tendências específicas no gráfico de resíduos.

Os gráficos de resíduos foram plotados conforme Montgomery e Peck (1992), que sugeriram a utilização dos valores estimados contra os resíduos, devido ao fato dos valores estimados não possuírem correlação com os resíduos, ao contrário dos observados, que são usualmente correlacionados. Os valores de resíduos foram utilizados em porcentagem contra os valores estimados de cada nutriente.

3.8 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS

Quando se analisa a qualidade de um modelo por meio de gráficos de resíduos e erro padrão médio, apenas comparam-se os modelos com a base de dados que os gerou, portanto, apenas seu comportamento é verificado. Para validação dos modelos é necessário utilizar uma base de dados independente dos usados no ajuste; este teste é conhecido como benchmark (VANCLAY e SKOVSGAARD, 1997).

Para Soares *et al.* (1995) a avaliação de modelos pode ser dividida em duas categorias: a de verificação e a de validação. Durante a verificação testam-se os modelos contra a base de dados que os geraram, enquanto que na validação comparam-se os modelos com uma base de dados independente da que a gerou.

Portanto, para validação da equação selecionada, foi separada aleatoriamente uma base de dados independente contendo 46 parcelas distribuídas proporcionalmente nas classes diamétricas avaliadas para posterior validação do modelo escolhido, correspondendo a aproximadamente 15% do total de parcelas amostradas.

A validação foi feita inicialmente conforme sugerido por Soares *et al.* (1995) que fizeram o uso da acurácia e precisão para avaliar o comportamento dos modelos selecionados. As formulações para obtenção da acurácia e da precisão, nas quais a primeira é expressa pelo resíduo médio e a segunda pelo resíduo médio absoluto, estão apresentadas na Tabela 5.

TABELA 5 - ACURÁCIA E PRECISÃO PARA VALIDAÇÃO DOS MODELOS SELECIONADOS.

	Resíduo Médio	Resíduo Médio %
Acurácia	$\sum (y_i - \hat{y}_i) / n$	$100 \sum \left(\left[\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right] \right) / n$
	Resíduo Médio Absoluto	Resíduo Médio Absoluto %
Precisão	$\sum y_i - \hat{y}_i / n$	$100 \sum \left(\left \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right \right) / n$

Posteriormente, para garantia da correta seleção do modelo, avaliou-se a distribuição dos resíduos pela análise visual dos gráficos, esses também gerados conforme descrição anterior.

3.9 VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS MACRONUTRIENTES

A valoração econômica potencial dos macronutrientes foi feita através do seu peso equivalente em fertilizantes comerciais, seguindo a metodologia proposta por Baggio e Carpanezzi (1997a) e Baggio e Carpanezzi (1997b).

As concentrações dos nutrientes nas formulações foram fornecidas pelos fabricantes e os elementos que se repetiram na formulação química foram devidamente subtraídos dos totais.

Os valores dos fertilizantes foram baseados nas cotações do mês de novembro de 2011, realizadas pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná. Todos os dados para o cálculo do valor econômico dos nutrientes na porção da biomassa remanescente nos bracatingais após a exploração estão listados na Tabela 6.

TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS E PREÇOS DOS FERTILIZANTES ADOTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE EQUIVALÊNCIA DOS NUTRIENTES.

Nutriente	Fertilizante	% do nutriente	Preço do adubo (R\$.kg ⁻¹)	Preço do nutriente (R\$.kg ⁻¹)
N	Uréia	45	1,31	2,90
P	Superfosfato simples	18 (P ₂ O ₅)	0,77	4,28
K	Cloreto de potássio	60 (K ₂ O)	1,31	2,18
Ca	Calcário dolomítico	29 (CaO)	0,07	0,24
Mg	Calcário dolomítico	19 (MgO)	0,07	0,37

Os respectivos preços de nutrientes foram multiplicados pela média estimada para cada macronutriente, obtendo dessa forma o valor econômico da biomassa aérea de povoamentos de bracatinga nas diferentes classes de idade, sítio e diâmetro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

A análise exploratória dos dados consistiu na avaliação gráfica de todos os nutrientes versus as variáveis independentes. Na Figura 2 é ilustrado apenas o nitrogênio em quilogramas por hectare presente na biomassa área total (Nt) plotado contra as variáveis independentes: idade em anos (I), altura média dominante em metros (hdom), número de indivíduos por hectare (N), área basal em metros quadrados por hectare (G), diâmetro médio quadrático em centímetros (dg), diâmetro médio a 1,30 metros do solo em centímetros (DAP) e altura média em metros (H). Todos os demais nutrientes tiveram a mesma análise realizada, possuindo um padrão semelhante em todos os compartimentos da biomassa aérea.

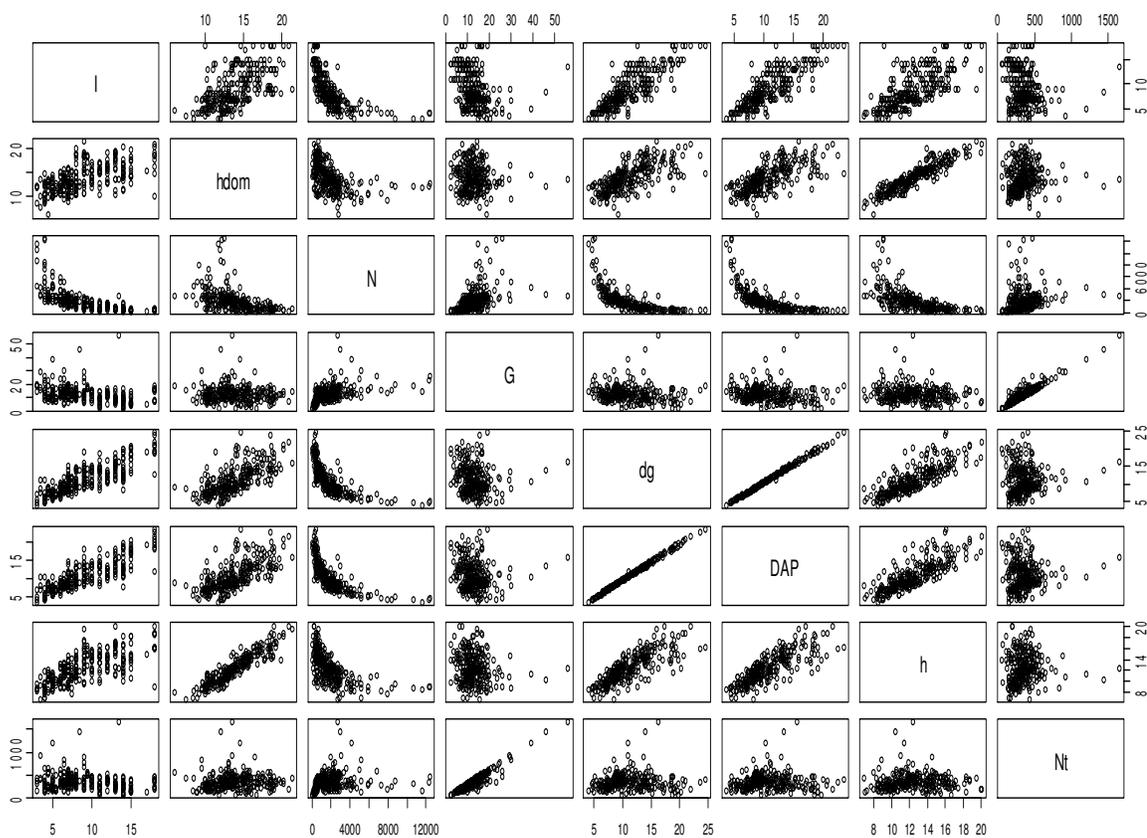


FIGURA 2 - DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM O CONTEÚDO DE NITROGÊNIO (KG.HA⁻¹) PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA TOTAL DAS 307 PARCELAS AVALIADAS.

Observa-se que a única interação existente entre as variáveis independentes com o conteúdo de nitrogênio é a relação linear da área basal com o mesmo, as demais interações não mostram nenhum padrão definido. O mesmo comportamento foi observado nos demais nutrientes, assim como nos compartimentos lenha e copa.

Ao observar o comportamento das variáveis nas diferentes idades nota-se valores crescentes ao longo dos anos para altura média, diâmetro médio, diâmetro médio quadrático e altura dominante (FIGURA 2). Já para número de indivíduos, área basal e conteúdo de nitrogênio, observam-se valores decrescentes (FIGURA 3). Tal comportamento é comum em bracatingais nativos, considerando-se que a bracinga é uma espécie pioneira que se desenvolve em Florestas Ombrófilas Mistas, onde a tendência sucessional de tal fitofisionomia é a supressão de espécies pioneiras por outras espécies secundárias ao passar dos anos, acarretando em alta mortalidade de bracatingas a partir dos seis anos de idade. Souza (2011) ao avaliar uma base de dados semelhante ao do presente trabalho, encontrou os mesmos comportamentos para as variáveis avaliadas. Profumo Aguiar (2006) após avaliar um comportamento semelhante entre as variáveis nas diferentes idades, afirmou que as árvores de bracinga a partir dos 5 a 6 anos de idade vão sendo substituídas por outras espécies, principalmente pioneiras e facultativas.

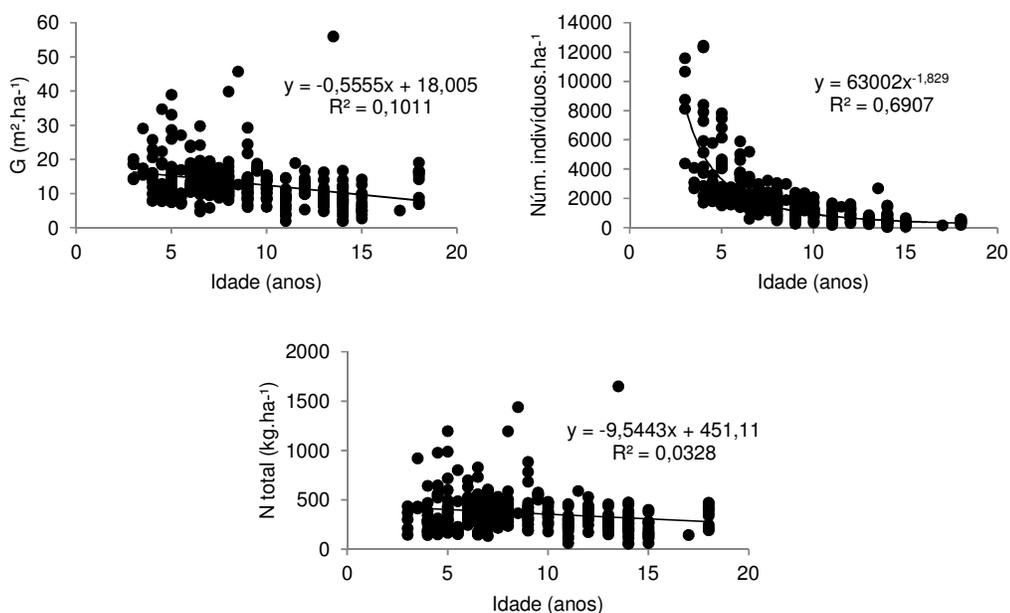


FIGURA 3 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS AO LONGO DOS ANOS.

Avaliando a tendência de decréscimo de tais variáveis ao longo dos anos, nota-se que a cada ano o número de indivíduos decresce exponencialmente a uma potência de valor próximo a dois; para área basal o decréscimo é linear e a cada ano há uma redução aproximada de $0,6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Para o conteúdo de nitrogênio também ocorreu um decréscimo de $9,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a cada ano; para fósforo tal redução foi de $0,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, $3,93 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para potássio, $5,88 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para cálcio, $0,12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para magnésio, $0,14 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para ferro e valores inferiores a $0,02 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para cobre, zinco e manganês.

Alguns modelos avaliados utilizaram a combinação entre área basal e altura média e/ou dominante; uma análise gráfica de tal combinação foi feita para todos os nutrientes. Na Figura 4 estão apresentadas as interações de tais combinações com o conteúdo médio em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio presente na biomassa aérea total. Nota-se que a combinação entre as variáveis resultou ainda num comportamento linear, porém mais definido; e quando inserido a forma quadrática da área basal tal comportamento se assemelhou a uma exponencial crescente. Os mesmos comportamentos ocorrem para os demais nutrientes nos outros dois componentes da biomassa aérea.

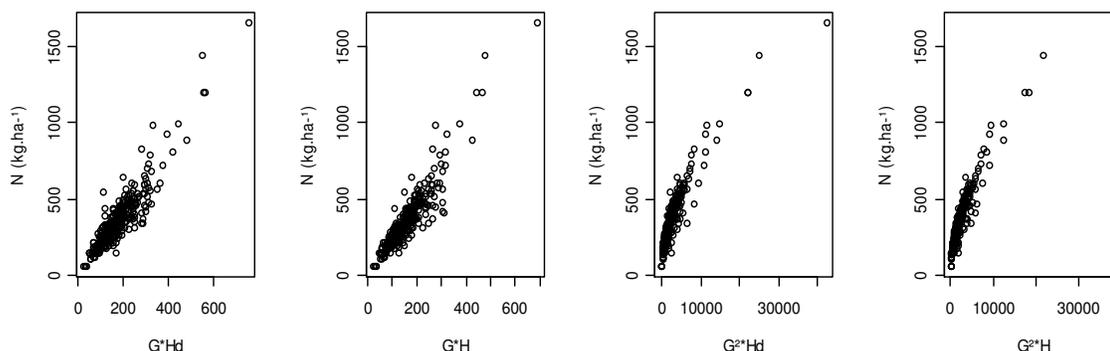


FIGURA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COMBINADAS COM O CONTEÚDO DE NITROGÊNIO ($\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1}$) PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA TOTAL DAS 307 PARCELAS AVALIADAS.

Foi realizada, uma análise estatística descritiva das variáveis nas 307 parcelas, independente da idade das parcelas, além do cálculo da intensidade amostral em função da variabilidade de cada uma. Adotou-se um limite de 10% e um nível de significância de 95% nas formulações listadas por Péllico e Brena (1997) para amostragem casual simples. Os resultados para as principais variáveis independentes e para as variáveis dependentes apenas na biomassa aérea total

constam na Tabela 7. As estatísticas descritivas dos demais compartimentos (lenha e copa) estão apresentadas no Apêndice I.

TABELA 7 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS ANALISADAS (N=307 PARCELAS AMOSTRAIS).

Estatísticas	hd (m)	N (N.ha ⁻¹)	G (m ² .ha ⁻¹)	Dg (cm)	DAP (cm)	h (m)	N (kg.ha ⁻¹)	P (kg.ha ⁻¹)	K (kg.ha ⁻¹)	Ca (kg.ha ⁻¹)	Mg (kg.ha ⁻¹)	Fe (kg.ha ⁻¹)	Cu (kg.ha ⁻¹)	Mn (kg.ha ⁻¹)	Zn (kg.ha ⁻¹)
Mínimo	6	67	2,04	3,99	3,67	6,91	57,99	1,72	27,93	26,37	2,58	0,48	0,05	0,25	0,03
Média	13,79	1.997	13,07	11,2	10,77	12,43	366,26	11,82	174,48	184,19	19,81	3,51	0,42	1,71	0,17
Máximo	21,33	12.439	56,01	24,65	23,45	20,18	1.650,65	50,34	798,39	784,36	84,34	14,32	1,2	5,14	0,52
Variância	8,01	3.724.488,83	40,43	15,84	14,85	7,03	3.6798,14	36,95	8.719,47	9.382,25	93,16	3,22	0,04	0,52	0,01
Desvio Padrão	2,83	1.929,89	6,36	3,98	3,85	2,65	191,83	6,08	93,38	96,86	9,65	1,79	0,19	0,72	0,07
CV (%)	20,52	96,62	48,67	35,54	35,77	21,32	52,38	51,44	53,52	52,59	48,73	51,14	45,96	42,2	41,98
Erro Padrão absoluto	0,16	110,14	0,36	0,23	0,22	0,15	10,95	0,35	5,33	5,53	0,55	0,1	0,01	0,04	0
Erro Padrão (%)	1,17	5,51	2,78	2,03	2,04	1,22	2,99	2,94	3,05	3	2,78	2,92	2,62	2,41	2,4
Erro de Amostragem absoluto	0,32	216,74	0,71	0,45	0,43	0,3	21,54	0,68	10,49	10,88	1,08	0,2	0,02	0,08	0,01
Erro de Amostragem (%)	2,3	10,85	5,47	3,99	4,02	2,39	5,88	5,78	6,01	5,91	5,47	5,74	5,16	4,74	4,71
Limite Inferior	13,48	1.780,67	12,35	10,75	10,34	12,13	344,71	11,14	163,99	173,31	18,72	3,31	0,39	1,63	0,16
Limite Superior	14,11	2.214,15	13,78	11,65	11,21	12,73	387,8	12,5	184,97	195,06	20,89	3,71	0,44	1,79	0,18
Intensidade Amostral	16	361	92	49	50	18	106	102	111	107	92	101	82	69	68

Percebe-se que a maior variação ocorreu no número de indivíduos e na área basal por hectare; tal fato é explicado pela variabilidade na idade das parcelas e a grande influência dessa variável no ciclo de vida do bracatingal. Sendo uma espécie pioneira e heliófila a tendência é diminuir o número de indivíduos e, conseqüentemente, a área basal à medida que o povoamento envelhece. Profumo Aguiar (2006) e Souza (2011) ao estudarem uma base de dados semelhante ao do presente trabalho, também encontraram grandes variações nas mesmas variáveis apontadas, sendo tal fato consequência da grande discrepância nas densidades iniciais que ocorreram nas diversas parcelas que compõe a base de dados.

Altas variações também foram encontradas nos conteúdos dos nutrientes presentes na biomassa aérea total, variando de 42 a 54% para zinco e potássio, respectivamente. A explicação é dada pelo fato da quantidade de nutrientes variarem conforme o compartimento da planta, idade e densidade do povoamento, biomassa produzida, e técnicas e intensidades de exploração aplicadas. Grandes variações também ocorreram nos compartimentos lenha e copa para todos os nutrientes, sendo os coeficientes de variação encontrados superiores a 40% e inferiores a 54%.

O valor mínimo da altura dominante foi inferior ao valor da altura média; tal fato é explicado pelo conceito de Assmann (altura média das 100 maiores árvores em DAP por hectare) ter sido aplicado à base de dados, e em algumas parcelas as árvores de maiores diâmetros não terem sido coincidentes com as árvores mais altas. Outra possível explicação está na alta competição das árvores nos povoamentos naturais de bracatinga, em que os indivíduos se desenvolvem primeiramente em altura para atingir o dossel superior e competir por luz e, posteriormente à conquista do dossel, a árvore passa a investir no crescimento em diâmetro.

A intensidade amostral foi atendida para todas as variáveis do estudo, com exceção do número de indivíduos por hectare, que devido à alta variabilidade ocorrida, o número de unidades amostrais do estudo não foi suficiente. Porém, essa elevada variabilidade observada teve forte influência da maneira como os dados foram organizados para essas análises, uma vez que nesta primeira caracterização, não foi realizada nenhuma estratificação, seja em classes de idade, sítio e densidade, que certamente resultaria em um menor coeficiente de variação e, conseqüentemente, um menor valor de intensidade amostral.

Os dados foram agrupados em oito classes diamétricas (CLD), com amplitude de 2,5 cm e em cinco classes de idade (CLI), com amplitude de 3 anos. Nas maiores classes o número de unidades amostrais foi inferior aos valores das classes centrais, devido à dificuldade em se encontrar povoamentos nativos de bracinga manejados tradicionalmente na região metropolitana de Curitiba com idades avançadas e, conseqüentemente, maiores diâmetros. Na Tabela 8 constam os valores das intensidades amostrais utilizadas no presente trabalho em cada classe específica.

TABELA 8 - INTENSIDADE AMOSTRAL POR CLASSES DE IDADE - CLI (ANOS) E DIÂMETRO - CLD (CM).

CLI/CLD	3,7 F 6,2	6,2 F 8,7	8,7 F 11,2	11,2 F 13,7	13,7 F 16,2	16,2 F 18,7	18,7 F 21,2	21,2 F 23,7	Total
3 F 6	21	33	10						64
6 F 9	2	43	39	14	4				102
9 F 12		2	24	23	12	2			63
12 F 15		1	8	21	12	10	3		55
15 F 18				3	1	8	8	3	23
Total	23	79	81	61	29	20	11	3	307

Para visualização do comportamento das variáveis nas diferentes classes de idade e diâmetro, valores médios por hectare de todas variáveis independentes foram plotados e estão ilustrados nas Figuras 5 e 6.

Analisando os gráficos feitos por classe diamétrica, nota-se que os valores de área basal por hectare decrescem acentuadamente na transição da terceira para quarta classe diamétrica (idade aproximada de 8,5 anos) e posteriormente na mudança da quinta para sexta classe (idade aproximada de 11,5 anos). Novamente a explicação é dada devido a alta mortalidade ocorrida nos bracingais nativos, em que, observando conjuntamente o gráfico do número de indivíduos por hectare, verifica-se uma redução brusca na transição das classes inferiores (< 10 anos), estabilizando-se a partir da classe cinco (> 12 anos) com densidade inferior a 1000 árvores por hectare. Tonon (1998) afirmou que a análise conjunta dos gráficos de evolução das variáveis DAP médio e número de indivíduos aclaram as observações feitas para área basal.

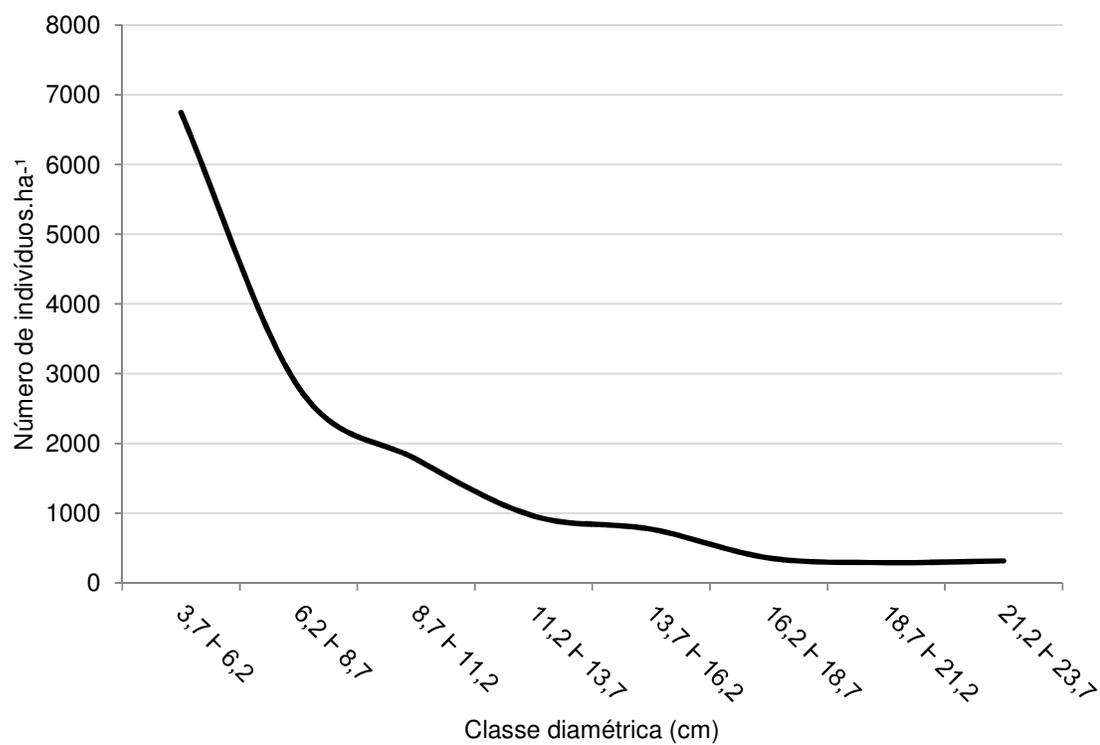
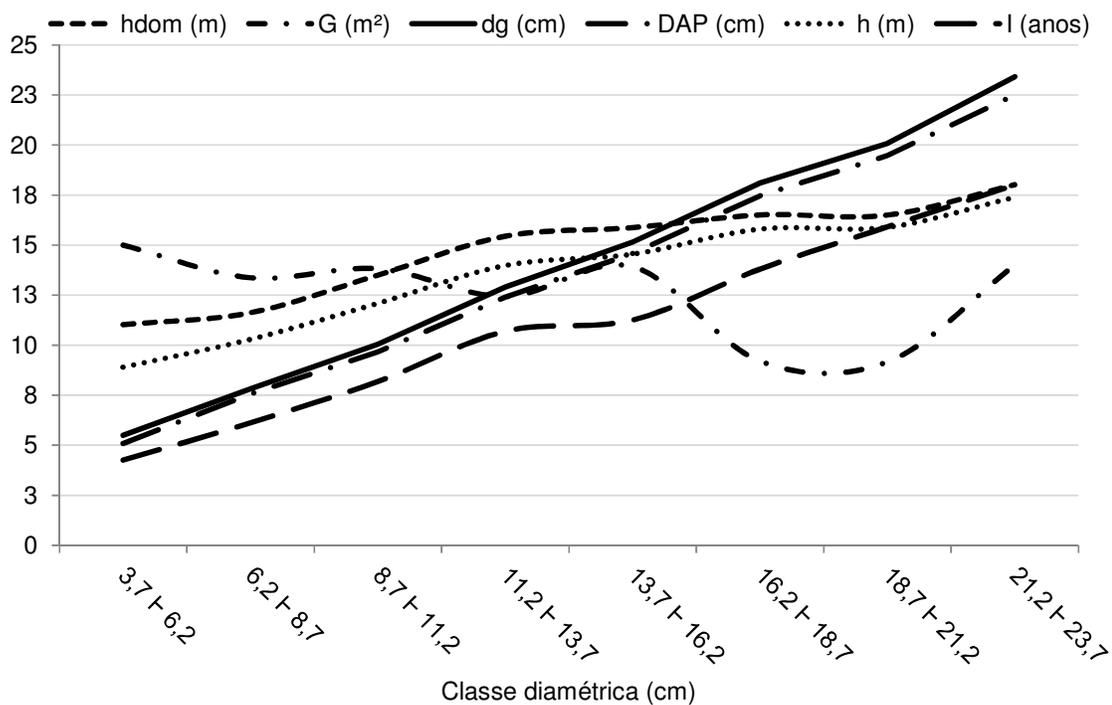


FIGURA 5 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS.

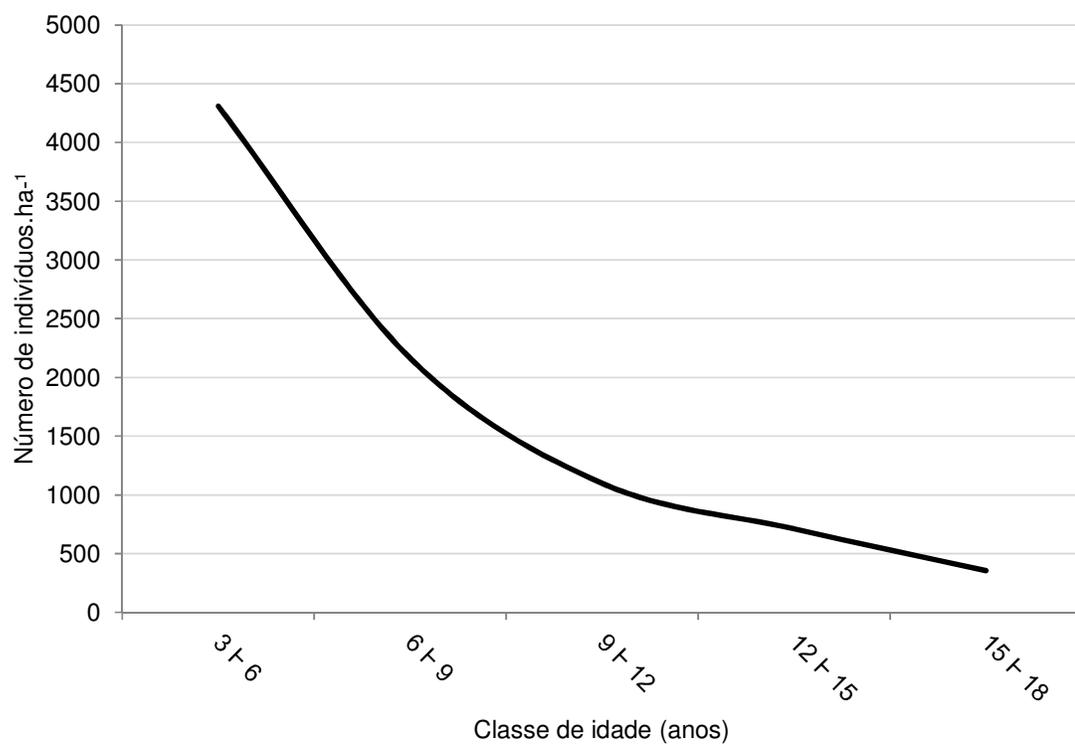
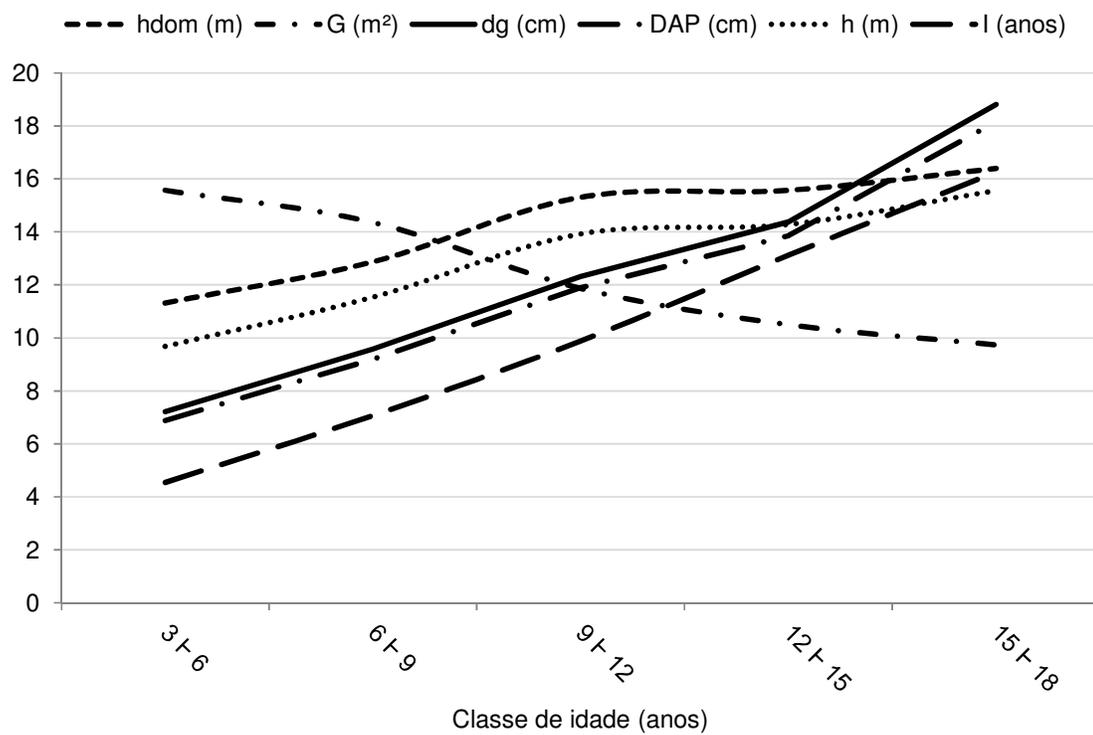


FIGURA 6 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE IDADE.

Machado *et al.* (2008a) ao analisarem a evolução das variáveis área basal e volume em bracatingais nativos submetidos à diferentes densidades iniciais e em diferentes sítios, concluíram que os valores de diâmetros médios de todos os tratamentos tiveram um acréscimo constante em todo o período de monitoramento e os valores de área basal foram fortemente influenciados pela alta mortalidade ocorrida, mantendo valores constantes em alguns tratamentos, devido a compensação da mortalidade pelo rápido crescimento das árvores remanescentes.

O comportamento da altura média e da altura dominante foi semelhante em ambas as divisões por classes, variando seus limites em apenas um metro para mais ou para menos. Ambas tiveram valores crescentes, em que a média da altura dominante foi sempre superior a altura média, ocorrendo um pequeno decréscimo nos valores nas idades de 10 e 14 anos quando analisado o gráfico por classe diamétrica, corroborando com sua estabilização na transição entre as classes três e quadro no gráfico de classes de idade.

Os valores de diâmetro médio (DAP) e diâmetro médio quadrático (Dg) também se comportaram semelhantemente nas duas classes ilustradas, tendo valores crescentes tanto nas classes de idade como em diâmetro, variando seus limites em apenas dois centímetros para mais ou para menos. O crescimento em DAP e Dg, quando observado em ambos os gráficos, tem caráter linear, porém, no gráfico por classe de idade ocorre uma ligeira interrupção no crescimento linear das variáveis na classe quatro (12 a 15 anos), aumentando os valores nas maiores classes. Esse fato é esperado tendo em vista que as árvores remanescentes já conquistaram o dossel superior, e a partir de então, investem no crescimento em diâmetro e não mais em altura, a qual se estabiliza nessa interrupção (classe quatro).

O número de indivíduos por hectare foi decrescente em ambos os gráficos, fato esse já comentado por Carpanezzi *et al.* (1988), Tonon (1998), Profumo Aguiar (2006), Machado *et al.* (2008a), Machado *et al.* (2008b), Téo *et al.* (2008) e Souza (2011) ao conduzirem estudos sobre a espécie.

4.1.1 Identificação de parcelas discrepantes

Para detecção de valores discrepantes (*outliers*) em relação aos demais valores presentes na base de dados foi realizada, uma análise gráfica de *boxplot* (diagrama de caixas) em todas as variáveis. O *boxplot* permite avaliar a simetria dos dados, sua dispersão e a existência ou não de outliers entre eles. Na Figura 7 estão ilustrados apenas os gráficos feitos para as variáveis independentes, os gráficos *boxplot* das variáveis dependentes nos diferentes compartimentos (total, lenha e copa) estão listados no (APÊNDICE II).

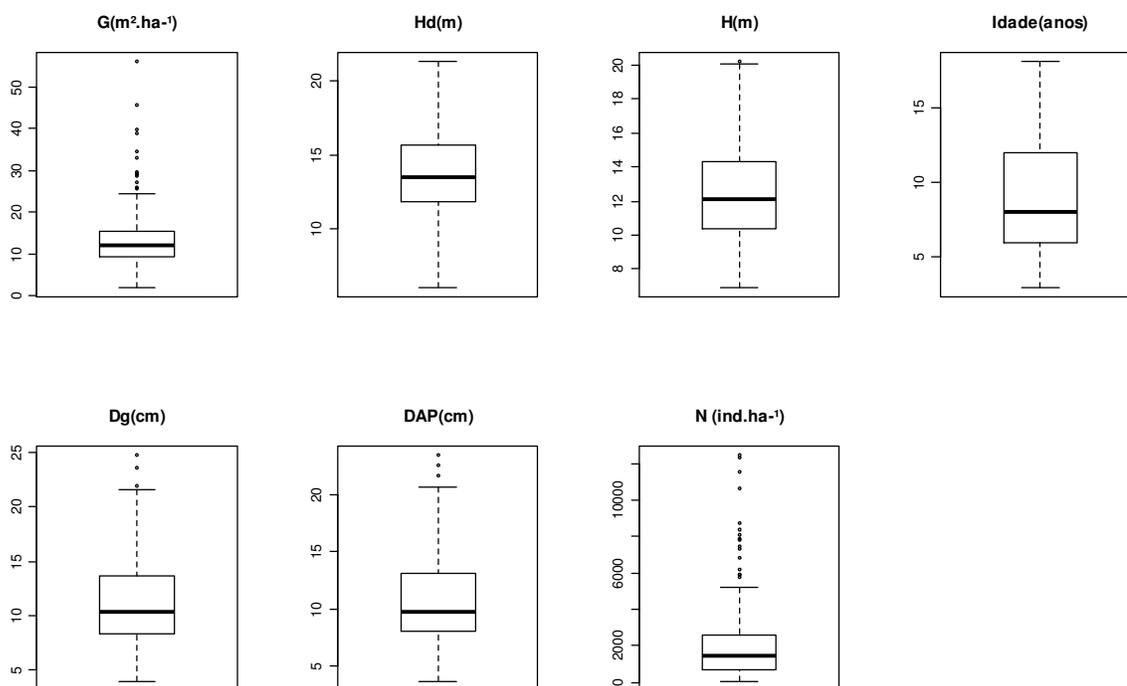


FIGURA 7 - DIAGRAMAS DE CAIXA PARA DETECÇÃO DE PONTOS DISCREPANTES NAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES.

Avaliando a Figura 7 observam-se alguns pontos discrepantes característicos de *outliers* extremos, principalmente para o número de indivíduos e área basal. Nas variáveis altura média, DAP e Dg alguns pontos discrepantes foram detectados, porém estes foram considerados *outliers* suaves, seguindo a proposta de TRIOLA (1999). Nas demais variáveis não ocorreu nenhum ponto discrepante.

Após detecção das parcelas apontadas pelos gráficos como discrepantes, elas foram avaliadas e retiradas da base de dados a fim de não prejudicar os ajustes das equações. No total foram retiradas nove unidades amostrais da base de dados; as demais, mesmo sendo consideradas *outliers* suaves, não influenciaram nos

ajustes das equações, foram então mantidas na base de dados, aumentaram assim a intensidade amostral e garantiram uma maior representatividade na massa de dados utilizada para os ajustes.

4.1.2 Matriz de correlação linear simples

Realizada a eliminação dos valores discrepantes da base de dados, uma matriz de correlação linear simples contendo 147 variáveis (54 dependentes e 93 independentes) foi gerada para determinar o grau de dependência entre as variáveis nos diferentes compartimentos da biomassa aérea. Optou-se por não apresentar tal matriz devido ao grande número de variáveis, dada a condição não apropriada na forma de tabela. Foram então apresentados na Tabela 9 os valores de correlação das variáveis independentes na forma pura versus as dependentes na forma pura e logaritmizada, porém apenas para os nutrientes presentes na biomassa aérea total.

TABELA 9 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE ALGUMAS VARIÁVEIS DEPENDENTES E INDEPENDENTES.

	I	G	DAP	H	Hd	Dg	IS	N
N	-0,18	0,95	-0,01	0,00	0,04	0,00	0,20	0,20
Ln(N)	-0,23	0,86	-0,07	0,03	0,08	-0,07	0,23	0,20
P	-0,24	0,96	-0,07	-0,06	-0,01	-0,07	0,19	0,25
Ln(P)	-0,30	0,86	-0,16	-0,04	0,02	-0,16	0,23	0,26
K	-0,15	0,94	0,02	0,02	0,07	0,03	0,19	0,16
Ln(K)	-0,18	0,84	-0,03	0,07	0,12	-0,02	0,23	0,15
Ca	-0,22	0,94	-0,06	-0,04	0,01	-0,05	0,19	0,21
Ln(Ca)	-0,27	0,84	-0,13	-0,01	0,05	-0,13	0,22	0,21
Mg	-0,04	0,91	0,14	0,23	0,29	0,15	0,37	0,21
Ln(Mg)	-0,10	0,82	0,08	0,26	0,33	0,09	0,43	0,23
Fe	-0,28	0,96	-0,12	-0,10	-0,04	-0,11	0,19	0,28
Ln(Fe)	-0,35	0,86	-0,22	-0,09	-0,02	-0,22	0,22	0,30
Cu	0,19	0,33	0,29	0,38	0,39	0,29	0,17	-0,25
Ln(Cu)	0,25	0,28	0,32	0,42	0,41	0,32	0,10	-0,36
Mn	-0,10	0,34	-0,06	0,15	0,21	-0,06	0,23	0,11
Ln(Mn)	-0,09	0,34	-0,08	0,18	0,23	-0,07	0,25	0,10
Zn	-0,01	0,36	0,04	0,18	0,21	0,04	0,13	-0,07
Ln(Zn)	0,01	0,34	0,05	0,20	0,22	0,05	0,10	-0,13

Analisando a matriz resultante, verificou-se que a área basal apresentou os maiores valores de correlação com os macronutrientes e com ferro, atingindo valores de coeficiente de correlação (r) superiores a 0,91. A logaritmização da variável área basal resultou em um decréscimo nos valores dos r para os macronutrientes; já para os micronutrientes, com exceção do ferro, tal transformação resultou no aumento do valor de r .

As combinações da variável área basal e altura média, área basal e altura dominante resultaram em altos valores de r para macronutrientes e melhoria nos valores de r para micronutrientes. Para magnésio a correlação com as variáveis combinadas G.h e G.hd resultou em valores de $r=0,99$ em todos os compartimentos da biomassa aérea. Machado *et al.* (2008b) testando diversos modelos para estimar o volume por unidade de área em bracingais da região metropolitana de Curitiba, encontraram resultados de alta correlação das variáveis combinadas G.h e G.hd com o volume por hectare, coeficientes de correlação simples de 0,998 e 0,987, respectivamente, ressaltando ainda que apenas a variável área basal apresentou uma forte correlação com o volume total ($r=0,837$), apontando ainda a ausência de melhoria nos valores de correlação quando comparadas às variáveis logaritmizadas.

A variável de menor correlação com todas as variáveis dependentes foi a idade, seguida das variáveis diâmetro e diâmetro médio quadrático, ambos na sua forma pura ou transformada. Com exceção do cobre, todos os valores de r foram negativos ou próximos de zero para tais variáveis. Profumo Aguiar (2006) também listou baixos valores de coeficientes de correlação (inferiores a 0,1) obtidos na matriz de correlação para variável idade contra volume por hectare na forma pura e logaritmizada.

4.2 MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES

Dos 23 modelos avaliados apresentados na Tabela 4, os de pior desempenho foram os que não utilizaram área basal como variável independente (modelo 19 e 20); para a maioria dos macronutrientes esses modelos não apresentaram significância estatística no valor de p para os coeficientes da regressão. Os melhores modelos foram aqueles que tiveram a combinação de área basal e altura média e/ou dominante (modelos 14 e 22), ou apenas a área basal

(modelo 11) no caso dos modelos para a copa. No (APÊNDICE III) estão listados os coeficientes e os valores das estatísticas de precisão e ajuste dos 23 modelos avaliados para os macronutrientes em todos os componentes da biomassa aérea total.

Nota-se que os valores de R^2_{aj} para o modelo 19 foram sempre abaixo de 5%, sendo esse igual a zero ou mesmo negativo para a maioria dos macronutrientes avaliados. Como dito anteriormente não ocorreu a significância estatística dos coeficientes deste modelo, acarretando na estimativa apenas da média dos nutrientes, tendo em vista que apenas o intercepto do modelo foi significativo. Soares *et al.* (1995), ao apresentarem uma estatística análoga ao R^2 denominada eficiência do modelo, afirmaram que valores iguais a zero indicam que o modelo não acrescenta qualquer melhora e se equivale à média aritmética da variável dependente, e valores negativos revelam um modelo inapropriado. Silva *et al.* (2008) ao estudarem os cuidados que se deve ter ao empregar o R^2 como estatística de precisão, também afirmaram que o coeficiente de determinação pode ser igual a zero ou até mesmo negativo caso o intercepto do modelo gerado pelo método dos mínimos quadrados não seja significativo, acarretando num modelo mal especificado.

Todos os modelos selecionados tiveram valor de R^2 superiores a 84% e S_{yx} inferiores a 21%, indicando bons ajustes e, conseqüentemente, uma estimativa acurada dos macronutrientes.

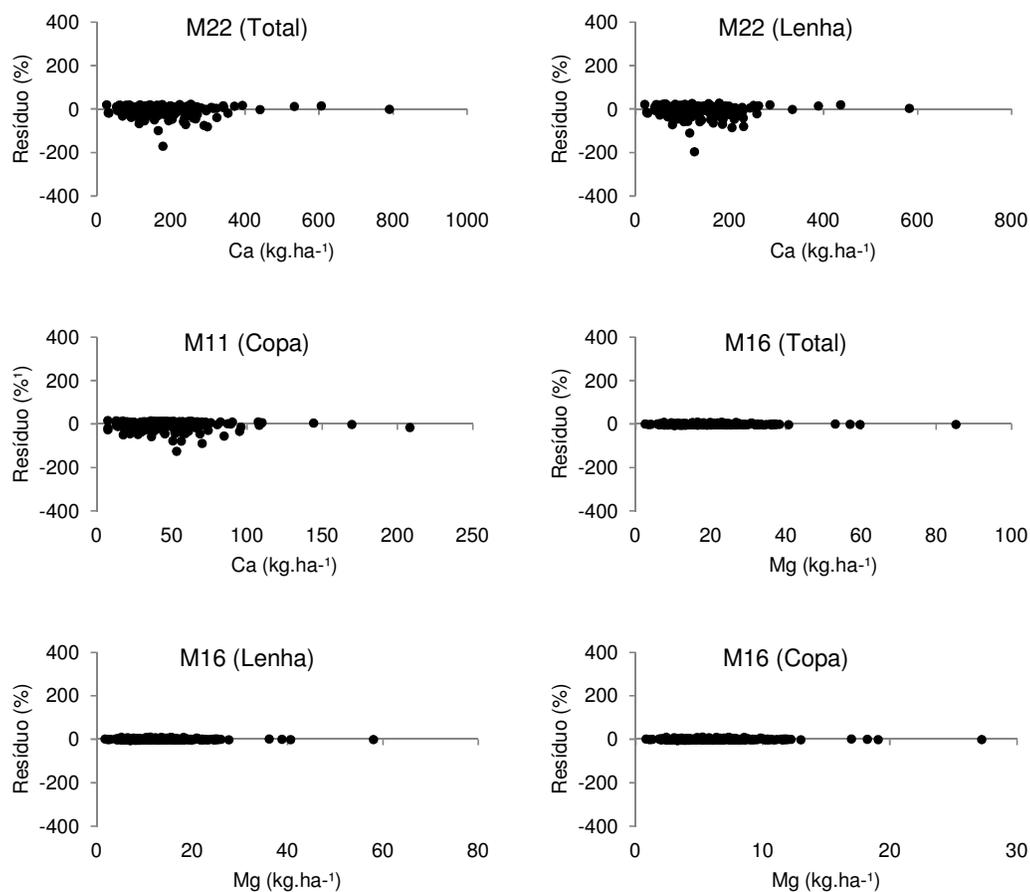
Para o desenvolvimento de equações pelo método *forward* as 93 variáveis independentes foram avaliadas a partir da inclusão de variáveis significativas no modelo final. Os modelos aritméticos e logarítmicos avaliados quanto a precisão de ajuste para estimativa dos macronutrientes, estão listados no (APÊNDICE III), juntamente com as estatísticas de ajuste e precisão.

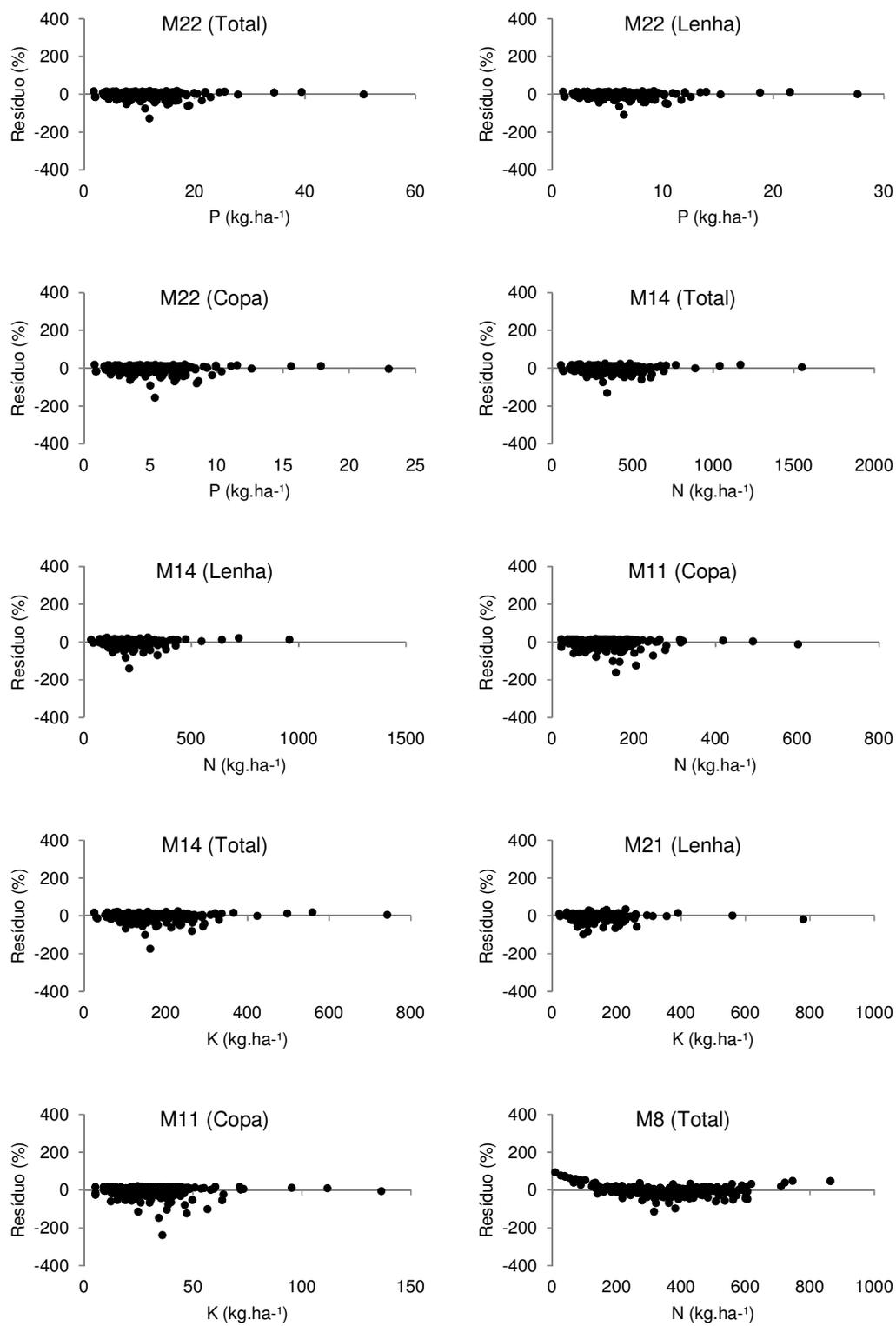
Nas equações desenvolvidas pelo método *forward* os valores de S_{yx} em porcentagem variaram de 2,55 a 20,95%. Já os valores dos coeficientes de determinação foram consideravelmente altos para a maioria dos modelos desenvolvidos, variando de 81,30 a 99,72%. Novamente, em todas as equações desenvolvidas a variável área basal foi incluída no modelo, ilustrando a forte correlação de tal variável com o conteúdo de macronutrientes. Outro ponto a ser destacado é que na maioria das equações envolvendo mais de duas variáveis independentes, o valor do intercepto não foi significativo a 95% de probabilidade,

não contribuindo para melhoria do modelo, mas contribuindo apenas para o aumento no valor de R^2 .

Nota-se que para a maioria dos nutrientes, os modelos logarítmicos resultaram em piores estatísticas de ajuste e precisão quando comparados aos modelos aritméticos, com exceção do cálcio, os demais macronutrientes não tiveram melhorias significativas quando realizada a transformação da variável dependente.

Na Figura 8 são apresentadas as distribuições dos resíduos apenas para alguns ajustes dos macronutrientes quantificados nos diferentes compartimentos da biomassa aérea da bracatinga. Destacando o modelo 19, no qual os resíduos estão distribuídos apenas ao redor da média (181 kg.ha^{-1}) para cálcio. Em que FA significa modelo aritmético proveniente do método *forward* e FL significa modelo logarítmico proveniente do método *forward*.





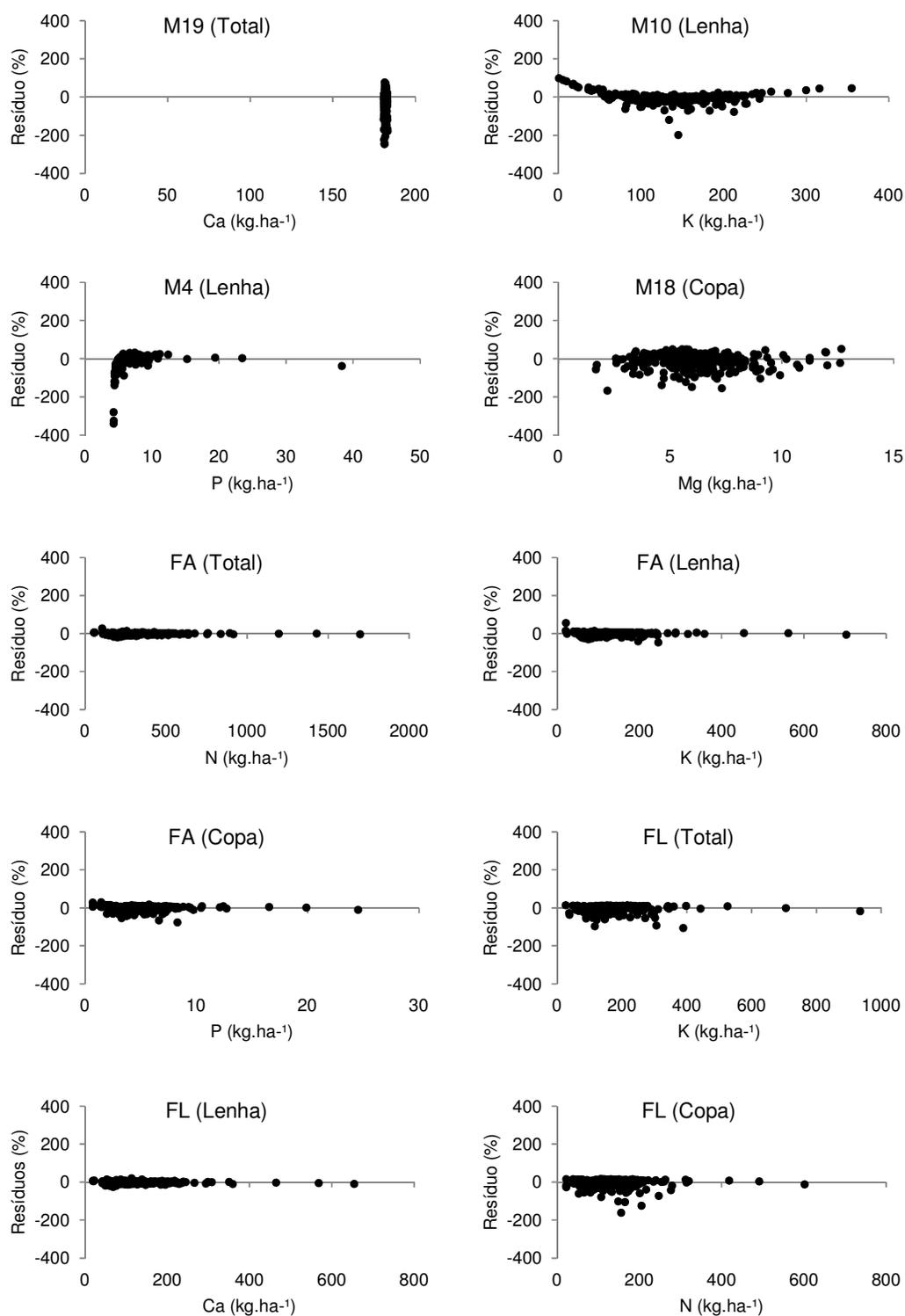


FIGURA 8 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DE ALGUNS MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DE MACRONUTRIENTES.

Os gráficos de resíduos, no geral, tiveram comportamento distinto para os modelos testados na biomassa aérea total, no compartimento lenha e copa, razão

pela qual eles não foram todos listados devido à elevada quantidade. Os resíduos dos ajustes se mostraram homogêneos ao longo da linha de regressão, sem grandes tendências para a maioria dos nutrientes, tanto na modelagem tradicional quanto na proveniente do método *forward*.

Deste modo, para uma síntese dos melhores modelos para macronutrientes, na Tabela 10 estão apresentadas as equações selecionadas para estimativa dos macronutrientes presentes nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba. Para alguns nutrientes foram selecionados tanto modelos tradicionais como modelos provenientes do procedimento *forward*, para posterior validação e decisão final quanto ao modelo selecionado. Em que (t) refere-se à equação desenvolvida para os nutrientes presentes na biomassa aérea total, (l) refere-se à equação desenvolvida para os nutrientes presentes na biomassa da lenha e (c) para os nutrientes presentes na biomassa aérea da copa. Os parâmetros em negrito não foram significativos a 95% de probabilidade, sendo então excluídos e os modelos reajustados .

TABELA 10 - EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DOS MACRONUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA (MODELO: F=FORWARD E T=TRADICIONAL).

Modelo		S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
Ln(Ca(t)) = 1,41233 + 0,49573*Ln(G ² .h)	F	5,65	99,33
Ln(Ca(l)) = 1,03497 + 0,99333*Ln(G) + 0,52348·Ln(h)	T(M22)	18,63	87,41
Ln(Ca(c)) = 1,25125 + 1,01221*Ln(G)	T(M1)	15,49	89,93
Ln(Mg(t)) = -2,11911 + 0,71729*Ln(G.h) + 0,28278*Ln(G.hd)	T(M16)	2,67	99,69
Mg(l) = 0,05719 + 0,0579052*(G.h) + 0,0233453*(G.hd)	F	2,55	99,72
Mg(c) = 0,0276019 + 0,0271591*(G.h) + 0,0109649*(G.hd)	F	2,56	99,72
N(t) = -1,90365 + 51,1136*G - 0,0386418*(G.Dg ²) - 0,0135136*(N.Dg)	F	3,91	99,41
Ln(N(t)) = 2,12010 + 0,49370*(G ² .h)	T(M14)	15,10	91,27
N(l) = -2,592 + 3,11486*(G.h) - 0,109282*(G.h ²) - 0,00212541*(N.h)	F	6,14	98,64
Ln(N(l)) = 1,63719 + 0,49368*(G ² .h)	T(M14)	15,27	91,60
Ln(N(c)) = 2,34832 + 1,00197*Ln(G)	T(M11)	17,69	87,54
P(t) = -0,471062 + 0,983226*G - 7,45189E-8*N ²	F	9,73	96,20
Ln(P(t)) = -0,83821 + 0,99626*Ln(G) + 0,29487*Ln(h)	T(M22)	14,43	91,68
P(l) = -0,035135 + 0,658038*G - 0,000441659*(G.Dg ²) - 0,000659406*N	F	4,08	99,33
Ln(P(l)) = -1,42724 + 0,99402*Ln(G) + 0,29293*Ln(h)	T(M22)	12,95	93,20
Ln(P(c)) = -1,64786 + 0,99893*Ln(G) + 0,29726*Ln(h)	T(M22)	16,22	89,69
K(t) = 0,608858 + 26,6987*G - 0,0219226*(G.Dg ²) - 0,00832135*(N.d)	F	4,51	99,26
Ln(K(t)) = 1,35817 + 0,49577*(G ² .h)	T(M14)	16,89	89,58
K(l) = -2,51719 + 13,2897*G - 0,0146124*N	F	8,12	97,63
Ln(K(l)) = 2,47532 + 0,00826*IS - 2,70034*I ⁻¹ + 1,05941*Ln(G)	T(M21)	16,47	90,23
K(c) = -1,3697 + 2,71558*G - 2,34319E-7*N ²	F(M11)	15,28	91,27
Ln(K(c)) = 0,91169 + 0,98866*Ln(G)	T	20,47	84,34

Observando as equações selecionadas pelo processo de inserção de variáveis no modelo (*forward*) nota-se que variáveis como número de indivíduos (N), diâmetro médio quadrático (Dg) e diâmetro médio aritmético (d) foram selecionadas para compor o modelo mesmo tendo pouca correlação com o nutriente. O coeficiente de correlação do conteúdo de fósforo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com a variável $\text{N}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ é inferior a 0,06, e mesmo com este baixo valor, a variável foi selecionada para compor a equação dos componentes biomassa total e copa. O mesmo ocorreu no modelo gerado para o conteúdo de nitrogênio presente na biomassa total ($r=0,08$) e no modelo gerado para o conteúdo de potássio presente na biomassa da copa ($r=0,02$). Assim, para uma tomada de decisão quanto ao modelo a ser utilizado a validação dos modelos foi realizada.

4.2.1 Validação das equações selecionadas para estimativa dos macronutrientes

Para validação dos modelos selecionados, foram utilizadas as estatísticas descritas anteriormente e a análise visual dos gráficos de resíduos. As equações selecionadas foram aplicadas em uma base de dados independente (43 parcelas), sendo as estatísticas de acurácia e precisão listadas na Tabela 11.

Observando os valores contidos na Tabela 11, nota-se que apenas nos modelos de N e K no componente copa, os valores de precisão são superiores a 10% para o resíduo médio absoluto. Os demais valores de resíduo médio absoluto foram inferiores a 10%, sendo similar aos resultados obtidos por Soares *et al.* (1995) ao selecionar modelos volumétricos.

TABELA 11 - VALORES DE ACURÁCIA E PRECISÃO DOS MODELOS SELECIONADOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NA BIOMASSA AÉREA EM POVOAMENTOS DE *MIMOSA SCABRELLA*.

Nutriente		Acurácia		Precisão	
		Resíduo Médio	Resíduo Médio %	Resíduo Médio Absoluto	Resíduo Médio Absoluto %
N (t)	T(M14)	15,776	1,512	30,571	6,954
N(t)	F	-0,327	-0,231	12,462	3,440
N (l)	T(M14)	9,139	1,417	20,806	7,417
N (l)	F	2,183	0,350	8,700	3,834
N (c)	T(M11)	5,657	1,504	14,908	11,307
P (t)	T(M22)	0,465	1,660	0,946	7,481
P (t)	F	0,207	0,736	0,789	7,012
P (l)	T(M22)	0,234	1,633	0,458	6,340
P (l)	F	-0,014	-0,136	0,205	3,322
P (c)	T(M22)	0,230	1,607	0,489	8,911
K (t)	T(14)	8,230	1,626	16,893	8,346
K (t)	F	-0,568	-0,346	6,605	3,800
K (l)	T(M21)	5,309	1,227	13,383	8,696
K (l)	F	1,217	-0,009	7,007	5,514
K (c)	T(M11)	1,608	1,593	3,910	12,886
K (c)	F	0,935	0,046	3,586	11,838
Ca (t)	F	12,013	2,813	20,062	9,753
Ca (l)	T(M22)	6,946	1,442	14,442	9,555
Ca (c)	T(M1)	1,476	1,280	4,540	9,978
Mg (t)	T(M16)	0,004	-0,115	0,423	2,116
Mg (l)	F	0,008	-0,124	0,280	2,098
Mg (c)	F	0,004	-0,126	0,131	2,100

Os valores de acurácia foram baixos, indicando que os modelos selecionados estimaram satisfatoriamente a quantidade de nutrientes nos povoamentos de bracinga.

A maioria das equações desenvolvidas pelo procedimento *forward* resultaram em melhores estatísticas de acurácia e precisão quando comparadas as equações provenientes dos modelos tradicionais. Para P(t) e K(c) os resultados do cálculo do resíduo médio absoluto foram semelhantes em ambas equações selecionadas.

Portanto, para uma validação completa, na Figura 9 estão apresentados alguns gráficos de dispersão dos resíduos, principalmente para os nutrientes, cujos modelos tradicionais (T) e modelos provenientes do método *forward* (F) foram ambos selecionados. Os demais gráficos tiveram comportamento semelhante, não sendo então apresentados, com a maioria da distribuição de resíduos homogênea ao longo da linha de regressão, sem grandes tendências na estimativa, porém com

ligeira superestimativa do conteúdo de alguns macronutrientes para valores de área basal inferiores a $10 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$.

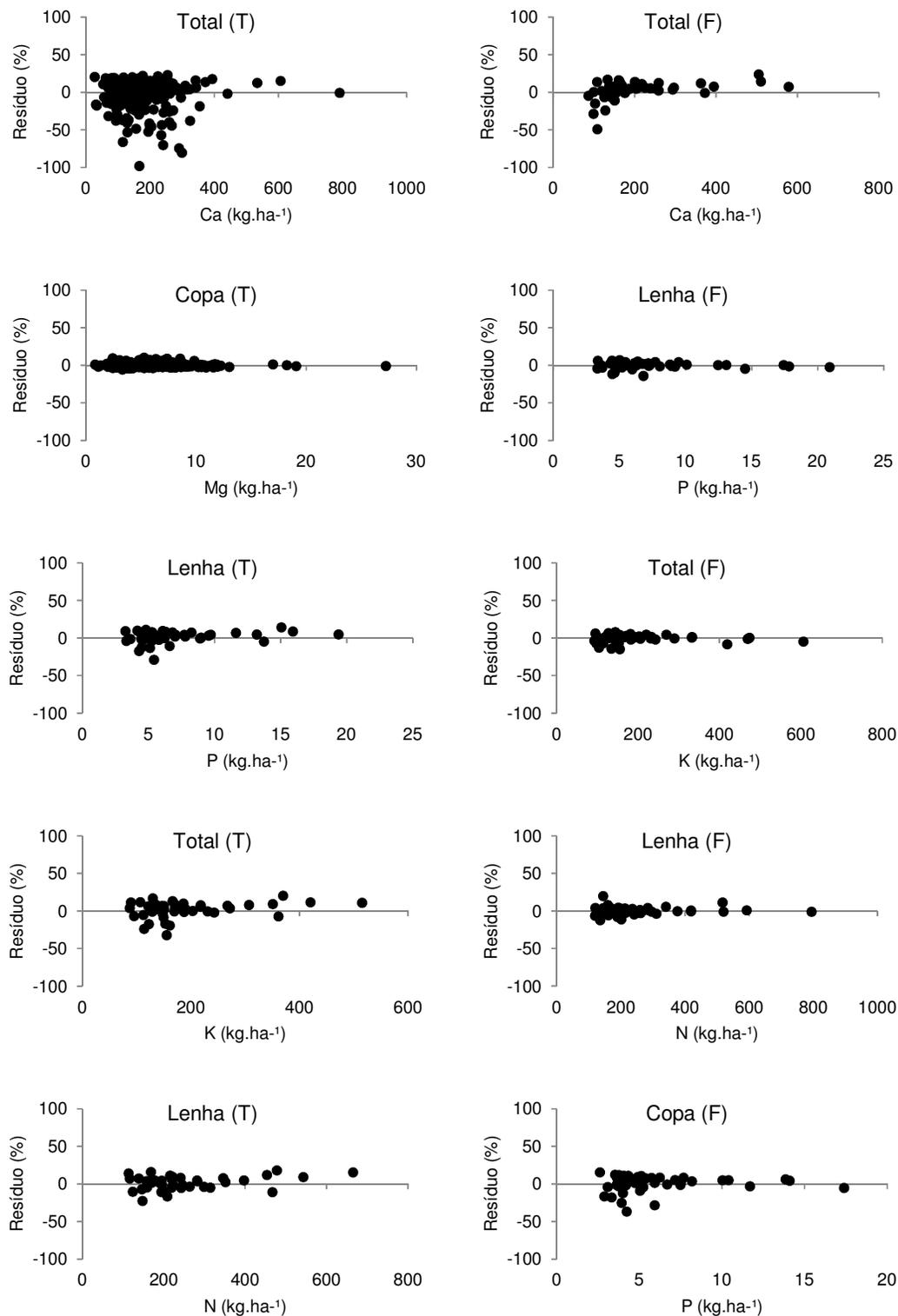


FIGURA 9 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES VALIDADAS PARA MACRONUTRIENTES.

A distribuição dos resíduos dos modelos desenvolvidos pelo processo *forward* para os nutrientes fósforo (copa) e potássio (lenha e copa) foram semelhantes, porém mais homogêneos comparativamente às distribuições dos resíduos provenientes de modelos tradicionais. Téo *et al.* (2010a), ao testar diferentes modelos para estimativa de macronutrientes em árvores de bracatinga, inclusive modelos gerados pelo processo *stepwise*, afirmaram que, em geral, as equações resultantes do processo *stepwise* apresentaram melhores estatísticas de ajuste (R^2 e S_{yx}), porém não foram sempre selecionadas devido às variáveis independentes incluídas no modelo ou à distribuição de resíduos mais heterogênea.

Portanto, nos macronutrientes para os quais mais de um modelo foi selecionado (T e F), optou-se por empregar os modelos tradicionais nas estimativas do conteúdo de macronutrientes; nos demais macronutrientes os modelos listados na Tabela 10 foram selecionados. Tal decisão foi baseada no lastro biológico existente entre as variáveis utilizadas no modelo e suas correlações. Os modelos desenvolvidos pelo procedimento *forward* são estritamente aplicáveis à presente base de dados, não podendo ser utilizado em base de dados semelhante; já os modelos tradicionais podem ser aplicados em outras bases de dados semelhantes ao do presente estudo.

Draper e Smith (1968) já atentavam para o uso indiscriminado de modelos provenientes do procedimento de regressão *stepwise*, pois podem resultar em soluções com estatísticas de ajuste satisfatórias, porém, sem resposta na interpretação dos coeficientes e heterocedasticidade nos resíduos. Muitas vezes o algoritmo utilizado para seleção das variáveis não discriminam as variáveis pouco correlacionadas com a variável resposta, atentando-se apenas na melhoria do valor do coeficiente de determinação (R^2), e como já é sabido, aumentando-se o número de variáveis no modelo, aumenta-se conseqüentemente o valor de R^2 .

4.2.2 Quantificação dos macronutrientes

Os valores médios estimados dos macronutrientes nos diferentes componentes da biomassa aérea estão listados na Tabela 12.

TABELA 12 - CONTEÚDO MÉDIO ESTIMADO (KG.HA⁻¹) DE MACRONUTRIENTES.

Nutriente	Conteúdo médio (kg.ha ⁻¹)		
	Total	Lenha	Copa
Ca	180,81	133,86	47,02
Mg	19,56	13,31	6,25
N	359,24	221,67	137,76
P	11,60	6,35	5,25
K	171,07	139,78	31,84

A quantidade média de nutrientes estimados na biomassa aérea total, nas 261 parcelas dos bracatingais estudados Tabela 12, foram inferiores, porém com mesma tendência no ordenamento, aos encontrados por Baggio e Carpanezzi (1997 a), ao estudarem a exportação dos nutrientes na exploração de bracatingais aos 7 anos de idade, nos quais relataram valores quantitativos de macronutrientes na biomassa aérea total em kg.ha⁻¹ para: N=493; P=18; K=150; Ca=115 e Mg=68. Somarriba e Kass (2001) ao estudarem o fluxo de nutrientes em bracatingais com 6 anos de idade na região sul do Brasil em áreas de pousio, encontraram valores totais em kg.ha⁻¹ de 356 para N; 10 para P; 167 para K; 81 para Ca e 26 para Mg, quantificando apenas galhos, folhas e árvores mortas caídas no solo.

Nota-se que os valores para o compartimento copa estimados pelos modelos selecionados apresentam uma pequena diferença quando feita a subtração da estimativa dos modelos de biomassa total e copa, com exceção de magnésio e potássio. Para cálcio tal diferença é de 0,07 kg. ha⁻¹, de 0,19 kg. ha⁻¹ para N e a de maior valor para K, com diferença de 0,55 kg. ha⁻¹.

Em média, após a exploração da lenha, restaram como remanescentes na área 26% de Ca, 32% de Mg, 38 % de N, 45% de P e 19% de K, ou seja, foram exportados 74% Ca, 68% Mg, 62% N, 55% P e 81% K. Caldeira *et al.* (2003) encontraram valores de macronutrientes mantidos na área, após a exploração de *Acacia mearnsii*, aos 2,4 anos de idade, muito acima dos encontrados no presente trabalho, sendo o percentual de 68, 70, 74, 73 e 62 para Ca, Mg, N, P, K, respectivamente. Baggio e Carpanezzi (1997a) relataram valores de 18% de Ca, 15% de Mg, 11% de N, 9% de P e 20% de K exportados em exploração de bracatingais aos sete anos de idade, valores também distintos aos relatados no presente estudo. Vieira *et al.* (2011) avaliando o sistema de exploração de *Pinus taeda* (madeira+casca) aos nove anos de idade, constataram uma remoção de

41,1% de Ca; 46,2% de Mg; 45,9% de K; 45,4% de P e 40,0% de N dos macronutrientes presentes na biomassa total. La Torraca *et al.* (1984) ao estudarem a exportação de nutrientes em plantios de *Pinus elliottii* aos 24 anos de idade encontraram valores de exportação de macronutrientes pela remoção da casca+madeira 55% de N, 64% de P, 62% de K, 32% de Ca e 51% de Mg. Valores superiores ao do presente trabalho na exportação de macronutrientes, foram encontrados por Bellote *et al.* (1980) ao estudarem um plantio de *Eucalyptus grandis* aos sete anos de idade. Esses autores obtiveram um percentual de exportação de nutrientes pela colheita da madeira com casca de 72% de N, 86,9% de P, 81,2% de K, 86,4% de Ca e 92,9% de Mg.

Sabe-se que diversos fatores influenciam na quantidade de nutrientes removidos durante o processo de exploração florestal, sendo, portanto, difícil apontar quantidades ótimas de nutrientes remanescentes na área. A divergência dos valores do presente trabalho, com os valores encontrados na literatura pode ser explicada pela alta variabilidade de idade dos bracatingais utilizados para os ajustes das equações e, conseqüentemente, estimativa dos nutrientes, além da variabilidade de índices de sítio, que exercem grande influência nas variáveis dendrométricas.

Na Tabela 2 foram apresentados alguns valores de macronutrientes para diferentes espécies florestais, em locais e idades distintas encontrados na literatura, sendo esses dados advindos de levantamentos de nutrientes em biomassa aérea total, em diferentes anos e instituições de pesquisa. Como se pode observar, existe uma grande variação na quantidade de nutrientes, mesmo em espécies e idades semelhantes, como, por exemplo, no *Eucalyptus*. A explicação de tal fato é dada pela quantidade de nutrientes removidos durante o processo de exploração florestal variar conforme o compartimento da planta, idade das árvores, densidade das árvores, biomassa produzida e técnicas e intensidades de exploração aplicadas.

Em diversos trabalhos existentes na literatura, é encontrado um gradiente de concentração nos componentes da planta, obedecendo a seguinte seqüência: folha > casca > ramo > tronco, sendo que, dentro do mesmo compartimento podem existir variações significativas de concentração. Já para a quantidade de nutrientes presentes a seqüência: N > Ca > K > Mg > P é encontrada em grande parte dos trabalhos publicados, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo, podendo também haver alterações em consequência das condições citadas anteriormente.

Os valores de conteúdo médio dos macronutrientes nos diferentes componentes da biomassa aérea de povoamentos de bracatinga provenientes das equações desenvolvidas pelo método *forward* foram semelhantes aos valores resultantes da aplicação dos modelos tradicionais. As estimativas para Mg foram idênticas, para Ca e K uma pequena variação na estimativa ($< 0,5 \text{ kg.ha}^{-1}$) foi encontrada, para N e Ca a divergência nas estimativas do conteúdo médio entre os modelos tradicionais e modelos desenvolvidos pelo método *forward* foram inferiores a $1,0 \text{ kg.ha}^{-1}$ e $0,5 \text{ kg.ha}^{-1}$, respectivamente.

4.2.3 Quantificação dos macronutrientes por classe de idade

Para uma melhor visualização dos teores de macronutrientes presentes nos bracatingais ao longo dos anos, os dados foram agrupados em cinco classes de idade com amplitude de 3 anos, nos quais os valores médios de cada nutriente, nas diferentes classes de idade, estão ilustrados na Figura 10.

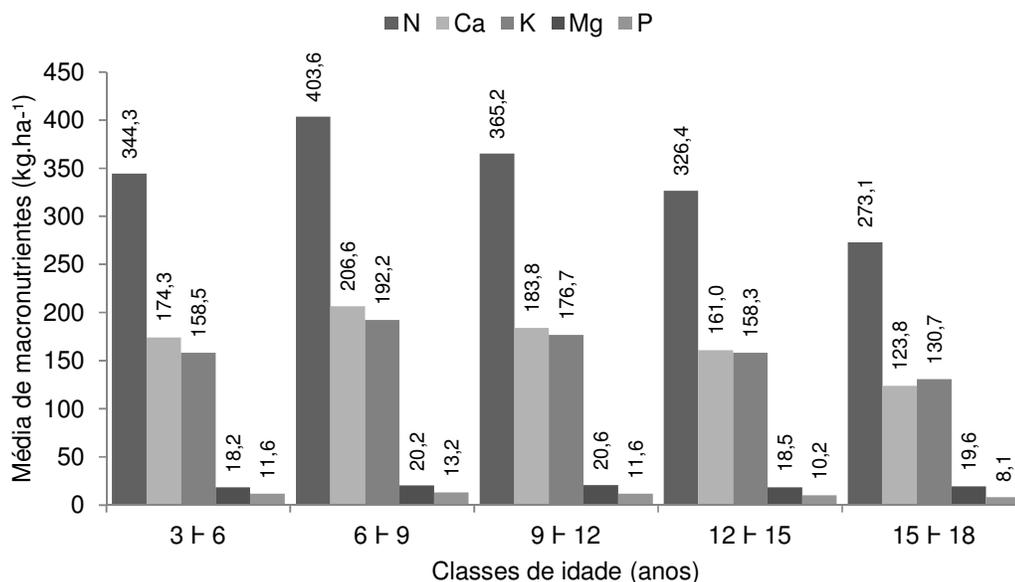


FIGURA 10 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE IDADE DAS PARCELAS.

A Figura 10 mostra uma diminuição gradativa no conteúdo de nutrientes ao longo dos anos, com exceção da mudança da classe 1 para 2, que possui valores crescentes, devido ao aumento no porte das árvores. Tal redução é resultado da mortalidade acentuada que ocorre nos bracatingais, sendo a média de 4.310 indivíduos por hectare na classe 1; 2.164 na classe 2; 1.099 na classe 3; 712 na classe 4 e 356 na classe 5, totalizando uma redução de 92% no número de indivíduos ao passar de quinze anos de idade.

Castro *et al.* (1980) ao avaliarem o conteúdo de nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa*, em diferentes idades, concluíram que quanto maior for a idade do talhão, maior será o conteúdo de nutrientes na biomassa, contrariando os resultados do presente estudo. No entanto, deve-se salientar que tal comparação entre os estudos não pode ser feita, pois, como dito anteriormente, a mortalidade nos bracatingais nativos adultos é acentuada; já em plantios florestais a mortalidade inicial é controlada (replantio) e o crescimento médio das árvores segue um padrão crescente, corroborando com o acréscimo constante no conteúdo de nutrientes ao longo dos anos.

4.2.4 Quantificação dos macronutrientes por classe de diâmetro

Da mesma forma anterior, os conteúdos de macronutrientes presentes nos povoamentos de bracatinga foram agrupados em oito classes de diâmetro, com amplitude de 2,5 centímetros. Na Figura 11 estão ilustrados os valores médios de cada macronutriente nas diferentes classes diamétricas.

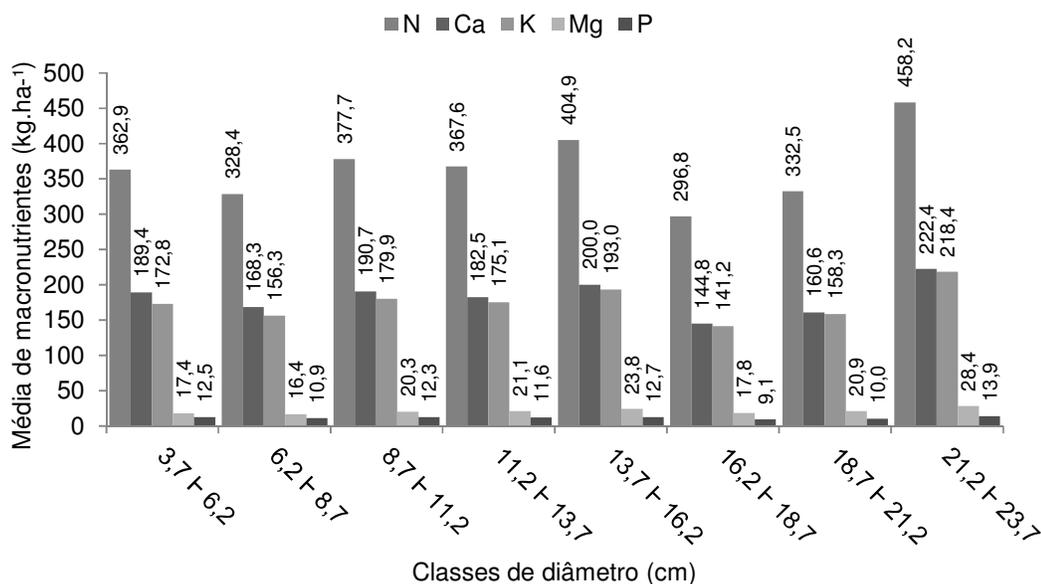


FIGURA 11 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO DAS PARCELAS.

Nota-se uma variação constante no conteúdo de macronutrientes na mudança entre as classes de diâmetro, sem nenhum padrão definido para aumento ou diminuição dos valores. Tal fato já era esperado, tendo em vista a variabilidade no número de indivíduos presente nos bracatingais nativos, em que ocorre uma mortalidade acentuada ao longo dos anos, como descrito anteriormente, portanto mesmo com a alta correlação dos nutrientes com as variáveis dendrométricas, o padrão crescente no conteúdo médio de macronutrientes, conforme aumento do DAP, não foi detectado devido à alta variação no número de indivíduos presentes nas diferentes classes diamétricas.

O coeficiente de variação para o número de indivíduos entre as classes diamétricas é de 125,3%, sendo o número médio de indivíduos na primeira classe de diâmetro de 6.645 indivíduos por hectare, na classe intermediária (classe 4) o valor médio de indivíduos por hectare é de 952 e para a última classe há a ocorrência de apenas 317 indivíduos por hectare.

Téo *et al.* (2010c) ao estudarem o conteúdo e a concentração de macronutrientes em árvores de bracatinga, não encontraram diferenças estatísticas significativas para concentração na maior parte dos macronutrientes em função das classes diamétricas, não apresentando nenhuma relação direta. Já o conteúdo de

macronutrientes presentes na biomassa aérea de bracatinga foi diretamente proporcional ao diâmetro das árvores, quando analisadas individualmente.

4.2.5 Quantificação dos macronutrientes por classe de sítio

Os conteúdos de macronutrientes presentes nos povoamentos de bracatinga foram agrupados em três classes de sítio com amplitude de 4 metros. Na Figura 12 estão ilustrados os valores médios de cada macronutriente para os diferentes índices de sítio.

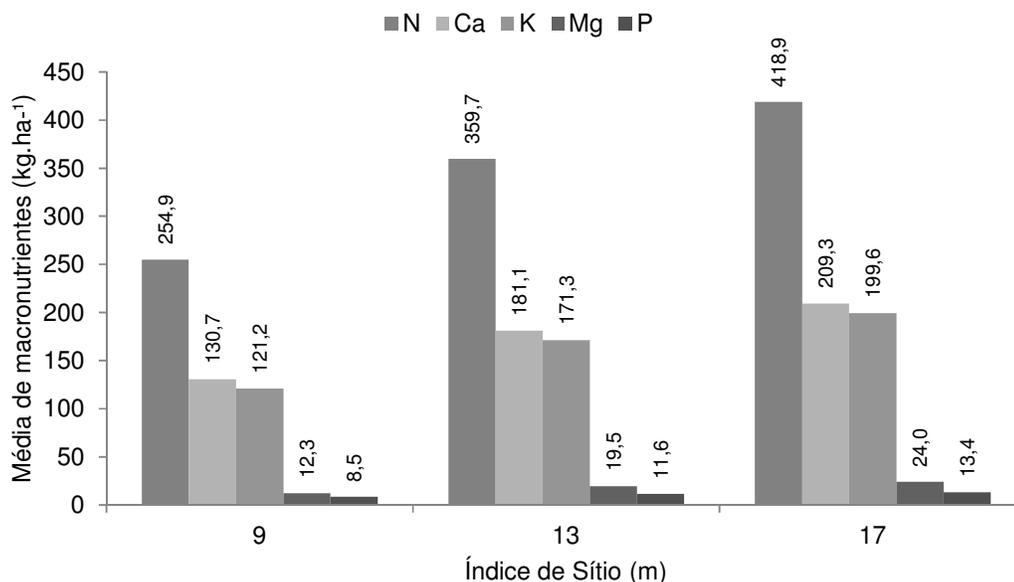


FIGURA 12 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE ÍNDICE DE SÍTIO DAS PARCELAS.

Observa-se um aumento gradativo no conteúdo de macronutrientes conforme aumento do valor de índice de sítio, como esperado, pois o termo sítio reflete a influência do ambiente na produtividade florestal. Sendo assim, com o aumento do valor do índice de sítio, espera-se a presença de condições edafobioclimáticas mais favoráveis ao crescimento da floresta e, conseqüentemente, um maior conteúdo de nutrientes presente na biomassa vegetal.

Santana *et al.* (1999), ao estudarem a biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo, concluíram que os conteúdos de nutrientes no tronco foram

maiores nos sítios mais produtivos, não divergindo dos resultados do presente estudo. Téo *et al.* (2010c) encontraram conteúdos de macronutrientes em árvores de bracinga, maiores para a classe de sítio I e menores para a classe de sítio IV, nos casos em que houve diferença significativa. Todavia esses autores não apontaram uma relação de diminuição dos conteúdos de nutrientes da melhor para a pior classe de sítio.

4.3 MODELAGEM E QUANTIFICAÇÃO DOS MICRONUTRIENTES

A modelagem dos micronutrientes não resultou em valores de R^2_{aj} e S_{yx} satisfatórios, porém alguns modelos se mostraram acurados para estimativa do conteúdo dos nutrientes e podem ser aplicados com ressalvas. Dos 23 modelos avaliados apresentados na Tabela 4, os de pior desempenho foram os modelos não lineares (modelo 6 e 7) para todos os micronutrientes, tais modelos não apresentaram significância estatística no valor de p para os coeficientes da regressão, com exceção do intercepto que foi significativo, resultando apenas na estimativa da média aritmética de cada micronutriente nos diferentes compartimentos. Os melhores modelos foram aqueles que continham a variável área basal (modelos 1 e 11), ou aqueles que tiveram a combinação de área basal e altura média e/ou altura dominante (modelos 8, 9, 10, 22 e 23).

Novamente, alguns valores de R^2_{aj} para alguns modelos ajustados nos diferentes compartimentos da biomassa aérea foram negativos, corroborando com a não significância estatística dos seus coeficientes, acarretando na estimativa apenas da média, quando apenas o intercepto foi significativo. O modelo 19 para o ferro teve o coeficiente angular não significativo em todos os compartimentos da biomassa aérea, o mesmo ocorreu para manganês, porém apenas na biomassa aérea total. Os modelos 17 e 20, quando ajustados para cobre resultaram em coeficientes angulares não significativos com exceção da biomassa do compartimento copa.

Os modelos mais acurados foram aqueles desenvolvidos para ferro, com valores de R^2 superiores a 90%, com exceção do componente copa que resultaram no valor de R^2 igual a 79%. Os demais modelos selecionados apresentaram valores altos de S_{yx} , variando de 35 a 40% para cobre e manganês, respectivamente. Os valores de R^2 foram baixos para os demais micronutrientes, sendo que para

manganês os valores foram inferiores a 37%, para cobre os valores mais altos foram de 43% e para o modelo selecionado no compartimento lenha e para zinco os valores de R^2 variaram de 28 a 30% para os compartimentos copa, lenha e total. Os coeficientes e os valores das estatísticas de precisão e ajuste dos 23 modelos avaliados para os micronutrientes em todos os componentes da biomassa aérea total estão listados no (APÊNDICE IV).

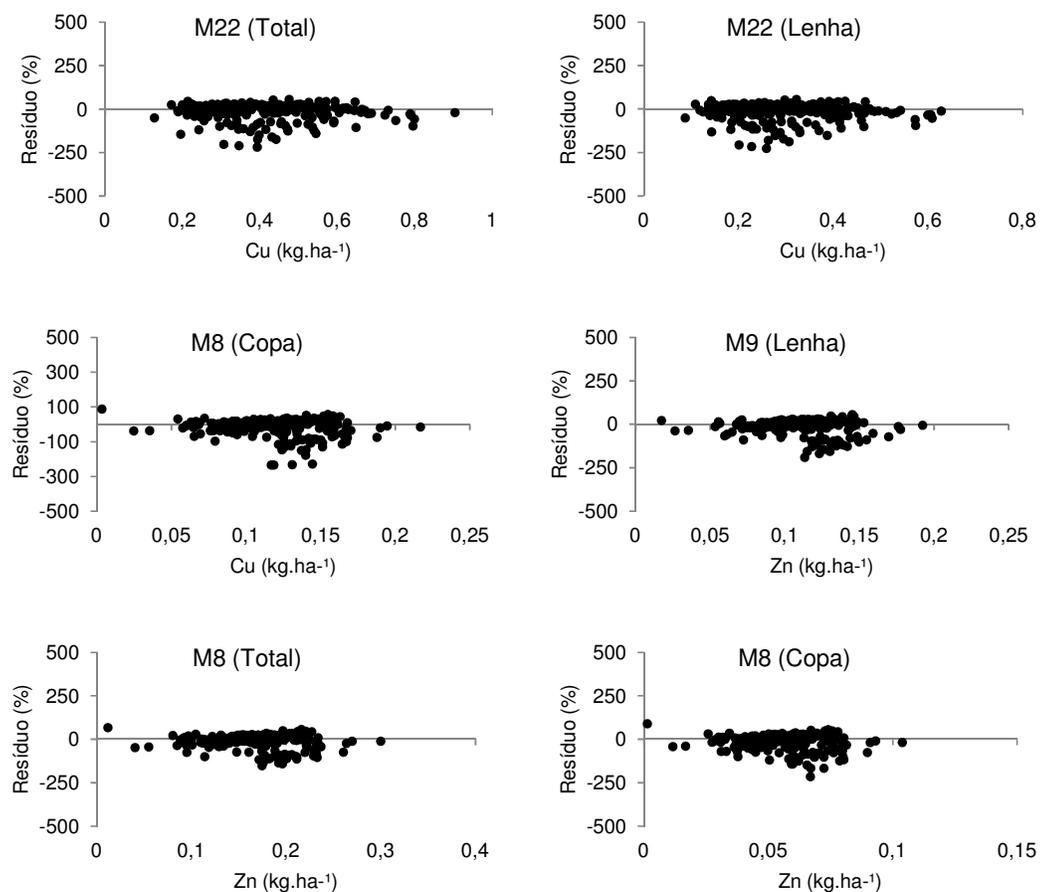
Para o desenvolvimento dos modelos pelo método *forward*, as 93 variáveis independentes foram avaliadas e incluídas no modelo final caso fossem significativas. Os valores de S_{yx} em porcentagem variaram de 4,87 a 37,69%, respectivamente para Fe(t) e Zn(c) para os modelos aritméticos. Todos os nutrientes, com exceção do Fe no compartimento total e lenha, apresentaram valores de S_{yx} superiores a 30%. Assim como na modelagem realizada com modelos tradicionais, os valores de S_{yx} foram altos, indicando ajustes pouco apropriados. Os valores dos coeficientes de determinação foram baixos para maioria dos modelos desenvolvidos, variando de 29,24 a 99,04%, para os modelos de Zn(c) e Fe(t) respectivamente. Com exceção do ferro, todos os valores de R^2 foram inferiores a 47%, fato também ocorrido na modelagem utilizando modelos tradicionais. Com exceção do modelo desenvolvido para Mn(t), em todos os demais modelos a variável área basal foi incluída, ilustrando a forte correlação de tal variável com o conteúdo de micronutrientes. No modelo desenvolvido para Fe(t), o qual envolveu mais de duas variáveis independentes, o valor do intercepto não foi significativo a 95% de probabilidade, o que significa então não acrescentar melhoria ao modelo, contribuindo apenas para o aumento no valor de R^2 .

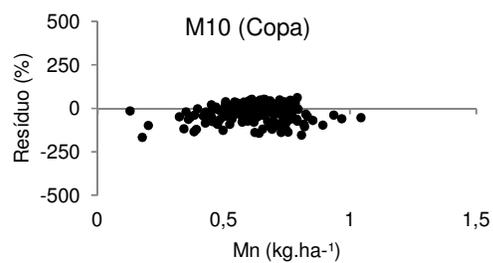
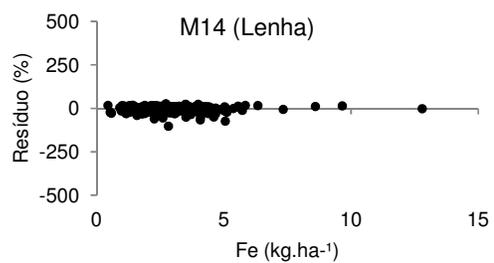
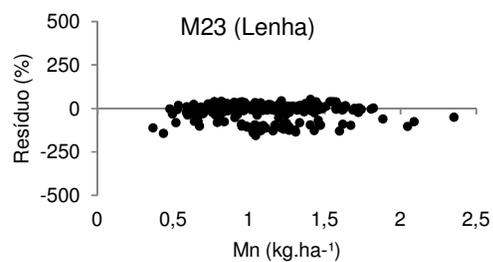
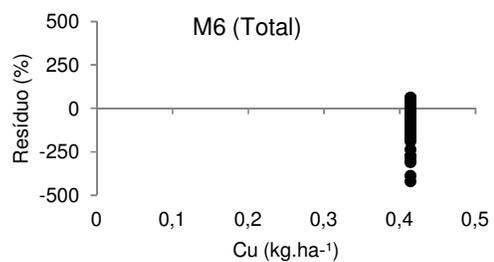
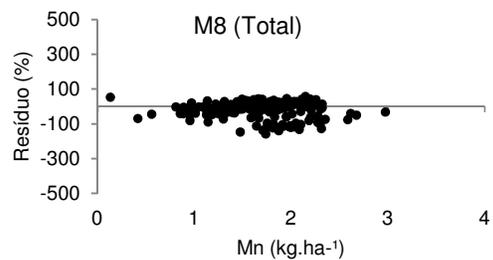
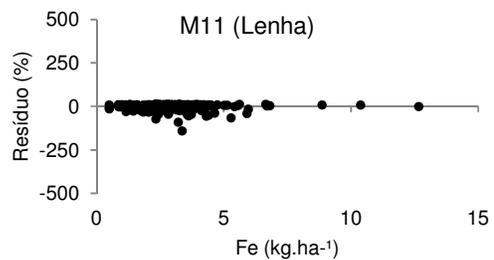
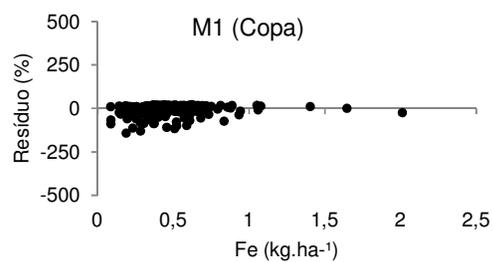
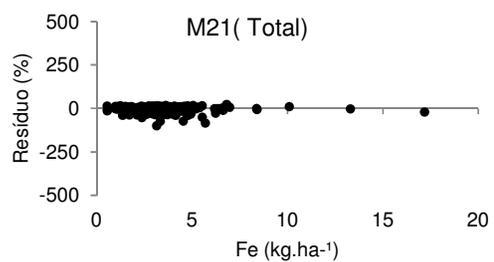
Para os modelos logarítmicos, os valores de S_{yx} em porcentagem variaram de 3,85 a 39,65%, para Fe(l) e Cu(t), respectivamente. Com exceção do Fe, todos os demais micronutrientes apresentaram valores de S_{yx} acima de 33%. Os valores dos coeficientes de determinação foram baixos para a maioria dos ajustes, novamente os maiores valores foram encontrados nos ajustes; realizados para o ferro. Os valores de R^2_{aj} variaram de 24,02 a 99,39%, para Zn(c) e Fe(l), respectivamente. Em todas as equações logarítmicas desenvolvidas para os micronutrientes presentes na biomassa aérea de bracingais, a variável área basal foi adicionada aos modelos, enfatizando a forte correlação dessa com o conteúdo de nutrientes. Todas as equações aritméticas e logarítmicas desenvolvidas pela

regressão passo a passo utilizando o método forward estão listadas no (APÊNDICE IV).

Para a maioria dos micronutrientes, a logaritmização da variável resposta resultou em piores estatísticas de ajuste e precisão, com exceção do ferro que obteve modelos aritméticos e logarítmicos satisfatórios.

Na Figura 13 estão ilustrados apenas alguns gráficos dos ajustes feitos para os micronutrientes avaliados nos diferentes compartimentos da biomassa aérea da bracinga pelos modelos tradicionais e *forward*. Os demais gráficos de resíduos também tiveram comportamento semelhante para todos os modelos testados na biomassa aérea total, no compartimento lenha e copa, não sendo listados devido ao elevado número. FA significa modelo aritmético proveniente do método *forward* e FL significa modelo logarítmico proveniente do método *forward*.





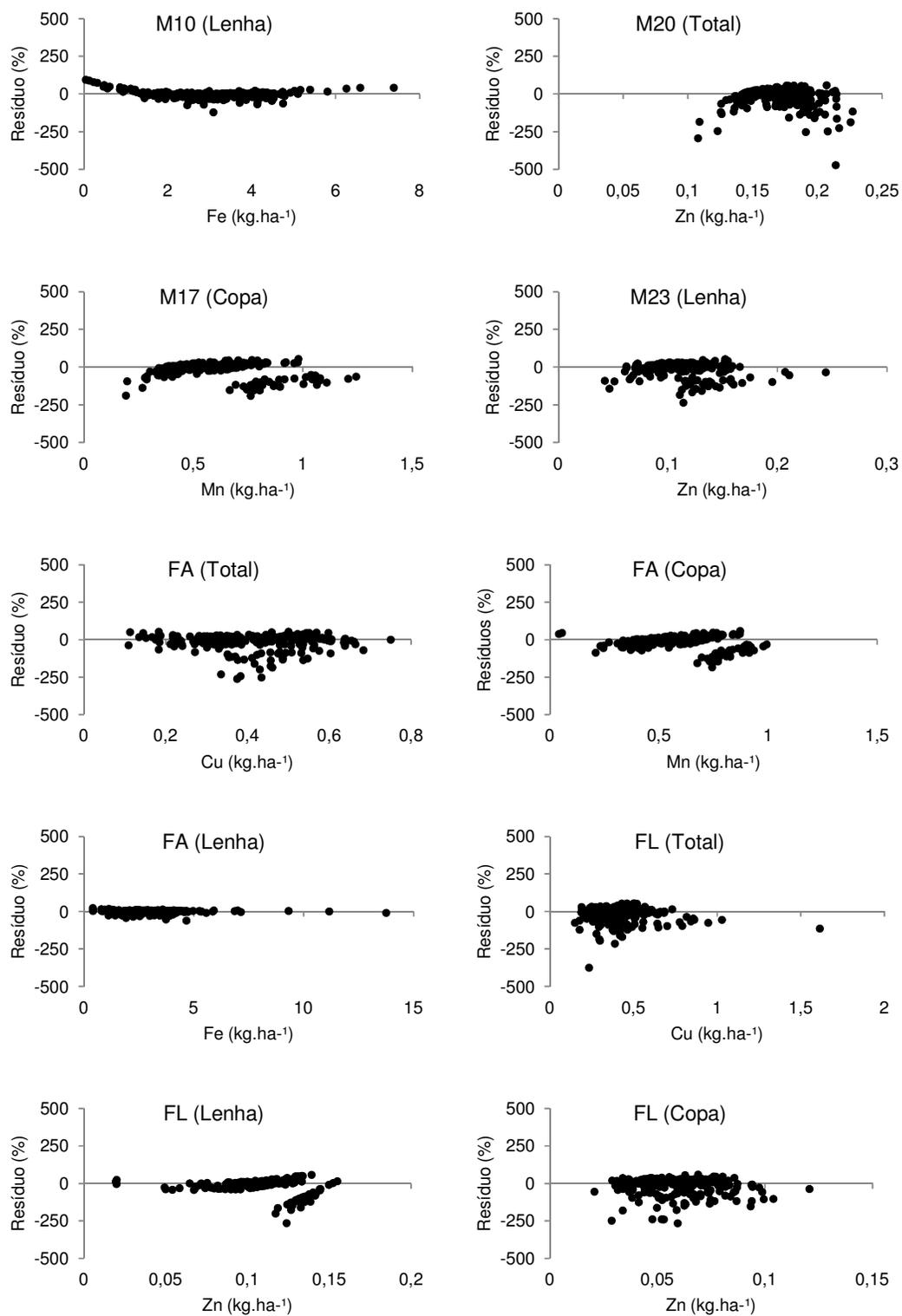


FIGURA 13 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DE ALGUNS MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DE MICRONUTRIENTES.

Assim como nos ajustes dos modelos tradicionais e modelos aritméticos provenientes do método *forward*, novamente com exceção do ferro, os gráficos de resíduos tiveram comportamento distintos para os modelos testados na biomassa aérea total, no compartimento lenha e copa, não sendo todos listados devido à elevada quantidade. Os resíduos dos ajustes, com exceção do ferro, se mostraram ligeiramente tendenciosos, com padrões semelhantes aos ajustes dos modelos tradicionais e aritméticos.

Para uma síntese dos melhores modelos para micronutrientes, a Tabela 13 apresenta as equações selecionadas para estimativa dos micronutrientes presentes nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba; para o ferro foram selecionados tanto modelos tradicionais como modelos provenientes do procedimento *forward*, para posterior validação e decisão final quanto ao modelo selecionado. Nestas equações (t) refere-se a equação desenvolvida para os nutrientes presentes na biomassa aérea total, (l) refere-se a equação desenvolvida para os nutrientes presentes na biomassa da lenha e (c) para os nutrientes presentes na biomassa aérea da copa. Os parâmetros em negrito não foram significativos a 95% de probabilidade.

TABELA 13 - EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DOS MICRONUTRIENTES EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA (F=FORWARD E T=TRADICIONAL).

Modelo		S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
Mn(t) = -2,28675 + 0,80444*Ln(G.h)	T(M8)	34,19	30,06
Mn(l) = -2,68691 + 0,505092*Ln(G.h ²)	F	32,95	40,49
Ln(Mn(l)) = -3,88516 + 0,52204* Ln(G) + 0,99096*Ln(hd)	T(M23)	33,74	37,58
Mn(c) = -0,36818 + 0,13358*Ln(G ² .h)	T(M14)	39,95	18,87
Zn(t) = -0,23374 + 0,08160*Ln(G.h)	T(M8)	33,86	30,92
Zn(l) = -0,14409 + 0,05074*Ln(G.hd)	T(M9)	33,14	30,32
Zn(c) = -0,08582 + 0,02901*Ln(G.h)	T(M8)	37,73	28,31
Ln(Cu(t)) = -5,32087 + 0,51101*Ln(G) + 1,22980*Ln(h)	T(M22)	35,59	38,98
Ln(Cu(l)) = -6,14827 + 0,50270*Ln(G) + 1,42652*Ln(h)	T(M22)	35,80	43,37
Cu(c) = -0,17823 + 0,06042*Ln(G.h)	T(M8)	36,24	29,81
Fe(t) = -0,00230394 + 0,376688*G - 0,000355467*(G.Dg ²) - 0,000394364*N	F	4,87	99,04
Ln(Fe(t))=-1,63330 + 0,99374*Ln(G) + 0,12359*Ln(hd)	T(M23)	15,34	90,46
Ln(Fe(l)) = -0,508702 - 0,00196487*Dg ² + 1,00151*Ln(G) - 6,82752*(1/Dg)	F	3,85	99,39
Ln(Fe(l)) = -1,43181 + 0,98343*Ln(G)	T(M11)	14,78	91,14
Fe(c) = 0,01369 + 0,00111*G	T(M1)	22,96	79,93

Téo *et al.* (2009) ao modelarem o conteúdo de micronutrientes em árvores de bracatinga, também obtiveram resultados insatisfatórios para as estatísticas de precisão dos ajustes, com exceção de cobre em todos os compartimentos da biomassa e para o ferro nos compartimentos da biomassa do fuste e para toda biomassa aérea.

Assim, como discutido anteriormente para os modelos provenientes do procedimento *forward* para estimativa de macronutrientes, observa-se que as variáveis selecionadas, como número de indivíduos (N), diâmetro médio quadrático (Dg) e a combinação entre G.Dg², foram selecionadas para compor o modelo, mesmo tendo pouca correlação com o nutriente ferro. O valor do coeficiente de correlação de G.Dg² com Fe(t) é $r=0,5$ e $r=0,2$ para correlação de N com Fe(t). No modelo desenvolvido para Fe(l) a correlação desse com a variável Dg² é negativa ($r=-0,2$) e também muito baixa com a variável 1/Dg ($r=0,02$). Outro ponto importante a ser destacado nesses modelos é a colinearidade existente entre as variáveis, pois os valores dos seus coeficientes de correlação são altos e próximos de 1. Portanto, para uma tomada de decisão quanto ao modelo a ser utilizado uma validação de todos modelos foi realizada.

4.3.1 Validação das equações selecionadas para estimativa dos micronutrientes

Para validação dos modelos selecionados, foram utilizadas as estatísticas descritas anteriormente e a análise visual dos gráficos de resíduos. As equações selecionadas foram aplicadas em uma base de dados independente constituída de 43 parcelas; as estatísticas de acurácia e precisão estão listadas na Tabela 14.

TABELA 14 - VALORES DE ACURÁCIA E PRECISÃO DOS MODELOS SELECIONADOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE MICRONUTRIENTES NA BIOMASSA AÉREA EM POVOAMENTOS DE *MIMOSA SCABRELLA*.

Nutriente	Acurácia			Precisão	
	Resíduo Médio	Resíduo Médio %	Resíduo Médio Absoluto	Resíduo Médio Absoluto	%
Cu (t) T(22)	-0,001	-12,644	0,118		29,590
Cu (l) T(M22)	-0,003	-12,902	0,083		29,962
Cu (c) T(M8)	0,004	-13,077	0,037		32,593
Zn (t) T(M8)	0,041	-11,090	0,087		30,952
Zn (l) T(M9)	-0,112	5,644	0,308		21,929
Zn (c) T(M8)	0,007	-12,156	0,023		35,356
Mn (t) T(M8)	-0,081	-25,709	0,400		28,712
Mn (l) T(M23)	-0,064	-29,989	0,463		18,280
Mn (l) F	-0,063	-28,576	0,419		16,472
Mn (c) T(M14)	0,047	-19,453	0,262		39,352
Fe (t) T(M23)	0,101	0,854	0,333		9,620
Fe (t) F	-0,009	-0,238	0,138		4,011
Fe (l) T(M11)	0,115	2,112	0,257		8,384
Fe (l) F	-0,001	0,076	0,108		3,078
Fe (c) T(M1)	0,026	-1,079	0,077		18,032

Observando os valores contidos na Tabela 14, nota-se que apenas as equações desenvolvidas para Fe, com exceção do componente copa, resultou em valores abaixo de 10% para o resíduo médio absoluto em porcentagem (precisão). Os demais valores foram superiores a 16%, com o valor mais alto para Mn no componente copa (39%).

Os valores de acurácia foram baixos para a maioria dos micronutrientes, com exceção do Mn que apresentou valores superiores a 19%. Tais valores elevados indicam que os modelos selecionados estimaram insatisfatoriamente a quantidade de micronutriente nos povoamentos de bracatinga. Porém, para os demais micronutrientes os valores de acurácia foram satisfatórios e consequentemente garantem uma estimativa precisa do seu conteúdo presente na biomassa aérea dos bracatingais.

Para uma validação completa, na Figura 14 estão apresentados alguns gráficos de dispersão dos resíduos, principalmente para os nutrientes em que modelos tradicionais (T) e modelos provenientes do método *forward* (F) foram ambos selecionados. Os demais gráficos, embora não apresentados, tiveram comportamento semelhante, com a maioria da distribuição tendenciosa ao longo da linha de regressão.

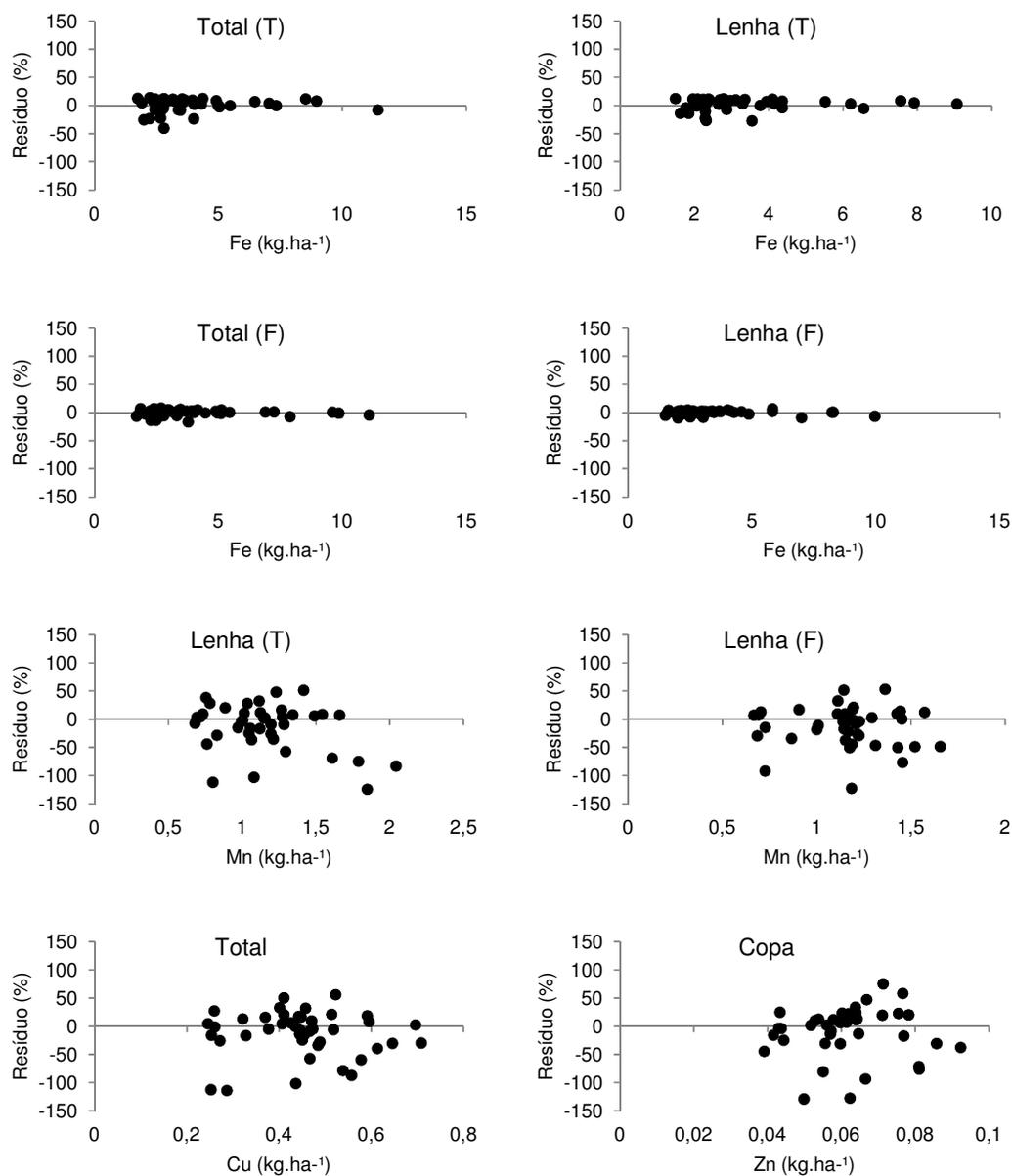


FIGURA 14 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES VALIDADAS PARA MICRONUTRIENTES.

A distribuição dos resíduos dos modelos desenvolvidos pelo processo *forward* e dos modelos tradicionais foram semelhantes para Fe e Mn, com resíduos ligeiramente mais homogêneos para os modelos provenientes do procedimento *forward* para Fe. Profumo Aguiar (2006) ao desenvolver modelos pelo processo *stepwise* para estimativa volumétrica por hectare de bracingais nativos, concluiu que os modelos selecionados pelo processo *stepwise* tiveram acréscimo quanto à precisão e ao ajuste em relação aos modelos selecionados da literatura, porém não

acarretando em melhora significativa quanto à magnitude de dispersão dos resíduos para os menores volumes.

Portanto, nos micronutrientes em que mais de um modelo foi selecionado (T e F), optou-se por empregar os modelos tradicionais nas estimativas do seu conteúdo; nos demais micronutrientes os modelos listados na Tabela 13 foram selecionados. Novamente, a decisão foi baseada na correlação entre as variáveis componentes do modelo e sua explicação biológica, ou seja, modelos mais parcimoniosos e com variáveis interpretáveis foram preferidos.

4.3.2 Quantificação dos micronutrientes

Os valores médios estimados dos micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa aérea estão listados na Tabela 15.

TABELA 15 - CONTEÚDO MÉDIO ESTIMADO (KG.HA⁻¹) DE MICRONUTRIENTES.

Nutriente	Conteúdo médio (kg.ha ⁻¹)		
	Total	Lenha	Copa
Cu	0,42	0,30	0,12
Fe	3,45	2,97	0,47
Zn	0,17	0,11	0,06
Mn	1,70	1,08	0,62

A quantidade média de nutrientes estimados na biomassa aérea total nas parcelas dos bracingais estudados (TABELA 15) foram inferiores, com exceção do cobre, aos encontrados por Baggio e Carpanezzi (1997a) ao estudarem a exportação dos nutrientes na exploração de bracingais aos 7 anos de idade, esses autores relataram conteúdos médios em kg.ha⁻¹ de micronutrientes na biomassa aérea total para Cu=0,38; Fe=41,17; Mn=13,67 e Zn=0,77, sendo esses valores superiores aos encontrados no presente trabalho. Pogiani *et al.* (1983) avaliando a exportação de nutrientes em plantios de *Eucalyptus saligna* aos 8 anos de idade, encontraram valores médios na biomassa aérea total em kg.ha⁻¹ de 7,7, 0,25, 11,1 e 0,58 para Fe, Cu, Mn e Zn, respectivamente. Berger (2006) em trabalho realizado com a espécie *Ilex paraguariensis* entre 10 a 12 anos de idade encontrou valores

médios em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de micronutrientes presentes na biomassa aérea total de 19,9 para Fe; 0,26 para Cu; 8,27 para Mn e 2,39 para Zn. Caldeira *et al.* (2003) ao avaliarem o conteúdo e a exportação de micronutrientes em *Acacia mearnsii* aos 2,4 anos relataram valores médios presentes na biomassa aérea total para ferro igual a $2,26 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; para cobre de $0,16 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; $0,48 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para manganês e $0,95 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para zinco.

Os valores médios para o compartimento copa estimados pelos modelos selecionados apresentaram uma pequena diferença entre a subtração da estimativa dos modelos de biomassa total e copa ($0,01 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), com exceção de cobre e zinco que tiveram os mesmos valores. Em média, após a exploração da lenha, restaram como remanescentes na área 29,2% de Cu, 13,9% de Fe, 33,9% de Zn e 36,1% de Mn, ou seja, mais de 60% do total de micronutrientes foram exportados durante a exploração do componente lenha. La Torraca (1984) estudando a exportação de nutrientes em plantios de *Pinus elliottii* aos 24 anos de idade encontraram valores de exportação de micronutrientes pela remoção da casca+madeira de 72% de Cu, 41% de Fe, 48% de Mn e 64% de Zn; com exceção do valor de ferro, os resultados encontrados por esses autores estão próximos aos obtidos no presente trabalho. Vieira *et al.* (2011) avaliando a exportação de nutrientes em plantio de *Pinus taeda* aos nove anos de idade encontraram valores exportados após a exploração da madeira, distintos aos deste estudo, com valores de 62,5% de Cu, 56,1% de Zn, 47,9% de Fe e 41,5% de Mn retirados do sistema. Caldeira *et al.* (2003) relataram valores de micronutrientes exportados em plantio de *Acacia mearnsii* aos 2,4 anos de 85% de Fe, 92,5% de Zn, 97,5% de Mn e 99% de Cu, valores esses bem acima dos apresentados neste trabalho.

Novamente, diversos são os fatores que influenciam na quantidade de nutrientes removidos durante o processo de exploração florestal, sendo, portanto difícil apontar quantidades ótimas de nutrientes remanescentes na área, ou quantidade máximas de exportação de nutrientes.

Nos trabalhos encontrados em literatura específica, um gradiente de concentração nos componentes da planta, em geral, obedece a seguinte sequência: folha > casca > ramo > tronco, sendo que, dentro do mesmo compartimento, podem existir variações significativas de concentração. Já para o conteúdo de nutrientes presentes a sequência Fe > Mn > Zn > Cu é encontrada em grande parte dos

trabalhos publicados, ocorrendo variações conforme fatores que influenciam o conteúdo de nutrientes na biomassa.

Os resultados encontrados no presente estudo foram coincidentes com os resultados de Téo (2010b), estudando nutrientes presentes em árvores de bracatinga, ambos com a sequência de Fe > Mn > Cu > Zn. Baggio e Carpanezi (1997b), estudando o conteúdo de nutrientes em bracatingais, relataram a sequência de Fe > Mn > Zn > Cu; Poggiani *et al.* (1983) e Berger (2006) também encontraram a mesma sequência no conteúdo médio de micronutrientes na biomassa aérea total tanto em *Eucalyptus saligna* como para *Illex paraguariensis*.

4.3.3 Quantificação dos micronutrientes por classe de idade

Para uma melhor visualização do conteúdo de micronutrientes presentes nos bracatingais ao longo dos anos, os dados foram agrupados em cinco classes de idade com amplitude de 3 anos, nos quais os valores médios de cada micronutriente, nas diferentes classes de idade, estão ilustrados na Figura 15.

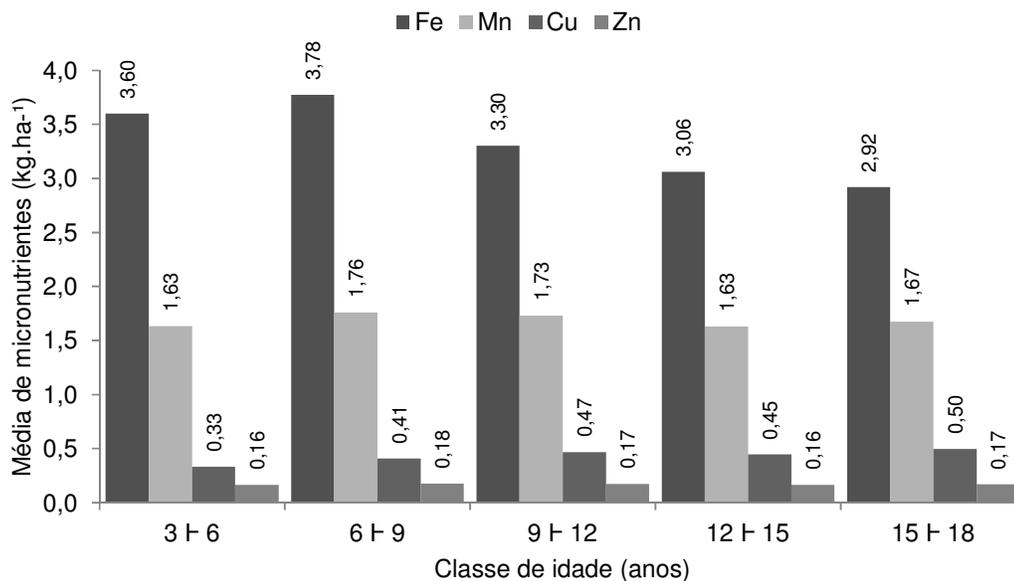


FIGURA 15 - CONTEÚDO MÉDIO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE IDADE DAS PARCELAS.

A Figura 15 demonstra um equilíbrio entre os valores no conteúdo de nutrientes ao longo dos anos, ocorrendo algumas mudanças sutis entre as diferentes classes de idade. Para o zinco os valores nas classes de idade são semelhantes (variando de 0,164 a 0,177 kg.ha⁻¹), havendo um ligeiro acréscimo nas duas primeiras classe e um decréscimo de 0,01 kg.ha⁻¹ ocorrendo entre a terceira e quarta classe, e apenas um acréscimo de 0,004 kg.ha⁻¹ entre a quarta e quinta classe. Os conteúdos de ferro e de manganês apresentaram aumento gradativo até a segunda classe de idade e, a partir daí, ocorreu uma redução no conteúdo médio dos micronutrientes. Para o cobre houve um acréscimo nos valores do conteúdo do nutriente até a terceira classe, ocorrendo uma diminuição do conteúdo da terceira para quarta classe, com posterior aumento na mudança da classe quatro para classe cinco.

Como dito anteriormente para os macronutrientes, tais reduções são resultantes da mortalidade acentuada que ocorre nos bracatingais, sendo o número médio de indivíduos na classe 1 de 4.310 indivíduos por hectare, 2.164 na classe 2; 1.099 na classe 3; 712 na classe 4 e 356 na classe 5. Já o aumento é explicado pelo aumento de dimensões das variáveis dendrométricas ao longo dos anos.

4.3.4 Quantificação dos micronutrientes por classe de diâmetro

Novamente os dados foram agrupados em oito classes de diâmetro com amplitude de 2,5 centímetros para uma melhor visualização do conteúdo de micronutrientes presente na biomassa aérea de bracatingais nativos. Na Figura 16 estão ilustrados os valores médios de cada micronutriente nas diferentes classes diamétricas.

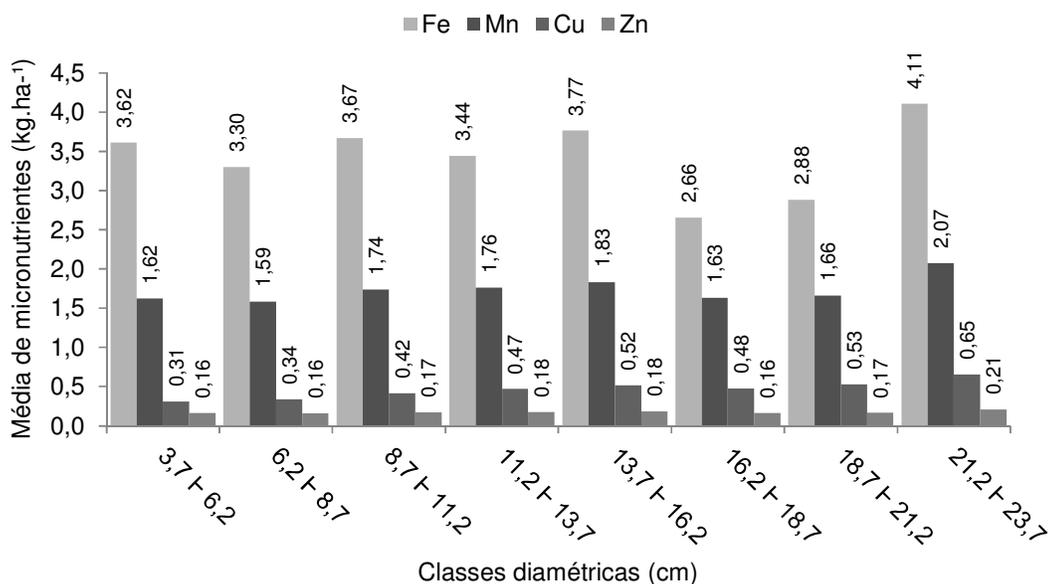


FIGURA 16 - CONTEÚDO MÉDIO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO DAS PARCELAS.

Assim, como para macronutrientes, foi detectado o mesmo padrão desordenado no conteúdo médio de micronutrientes contidos na biomassa aérea total. Novamente, a explicação é dada pela alta mortalidade existente nos bracatingais nativos e, portanto, devido à alta variação no número de indivíduos presentes nas diferentes classes diamétricas não foi detectado padrão crescente no conteúdo médio de micronutrientes com o aumento do DAP,.

Téo *et al.* (2010b) ao estudarem o conteúdo e a concentração de micronutrientes em árvores de bracatinga, concluíram que as concentrações de micronutrientes não apresentaram tendências claras de aumento ou diminuição com nenhum dos fatores analisados (classes de idade, diâmetro e sítio); somente os diâmetros exerceram efeitos significativos e consistentes sobre os conteúdos de micronutrientes da biomassa aérea de bracatinga na região metropolitana de Curitiba.

4.3.5 Quantificação dos micronutrientes por classe de sítio

Os conteúdos médios dos micronutrientes presentes nos povoamentos de bracatinga foram agrupados em três classes de sítio, com amplitude de 4 metros. Na Figura 17 estão ilustrados os valores médios de cada micronutriente para os diferentes índices de sítio.

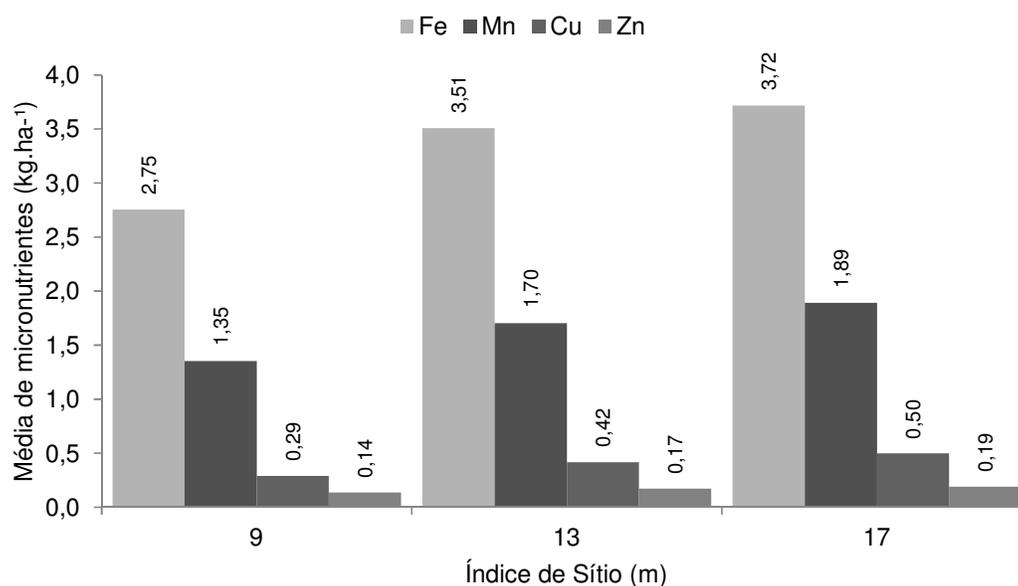


FIGURA 17 - CONTEÚDO MÉDIO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA TOTAL, EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA, NAS DIFERENTES CLASSES DE ÍNDICE DE SÍTIO DAS PARCELAS.

Ocorreu um aumento gradativo no conteúdo médio dos micronutrientes conforme aumento no valor de índice de sítio. Assim, como descrito para macronutrientes, tal fato era esperado, pois com o aumento no valor do índice de sítio, espera-se a presença de condições edafobioclimáticas mais favoráveis ao crescimento da floresta e, conseqüentemente, um maior conteúdo de nutrientes presente na biomassa vegetal.

Segundo Barros *et al.* (1990), nas florestas situadas em locais de maior capacidade produtiva, a quantidade absoluta de nutrientes exportados é, de modo geral, mais elevada, devido à maior produção de biomassa por unidade de área.

Téo *et al.* (2010b) afirmaram que, em relação aos conteúdos de micronutrientes, somente o Fe e o Cu, na madeira e na casca da bracatinga apresentaram diferenças significativas entre as classes de sítio e, no entanto, não

foi possível identificar tendências claras de aumento ou diminuição dos conteúdos de micronutrientes com relação à qualidade de sítio.

4.4 VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS MACRONUTRIENTES

Em termos gerais, a colheita de biomassa é responsável pelas maiores remoções de nutrientes do sítio florestal. Vogel (2005), ao quantificar a biomassa e os nutrientes em uma floresta estacional decidual, concluiu que a remoção da madeira do fuste e galhos tem como consequência uma exportação elevada de N, P, K, Ca e Mg, da ordem de 82, 85, 85, 82 e 84% respectivamente. Já, se for colhido somente a madeira do fuste da floresta, remove-se para fora do sistema apenas 19, 21, 25, 17 e 28% de N, P, K, Ca e Mg respectivamente, ou seja, com a retirada somente da madeira permanece sobre o solo a maior parte dos nutrientes sob forma de resíduos. Esse autor, ainda afirmou que, estando a maior quantidade de nutrientes no compartimento galhos, é de fundamental importância que estes sejam deixados sobre o solo, juntamente com os demais resíduos, aproveitando-se somente a madeira do fuste (parte comercial do tronco).

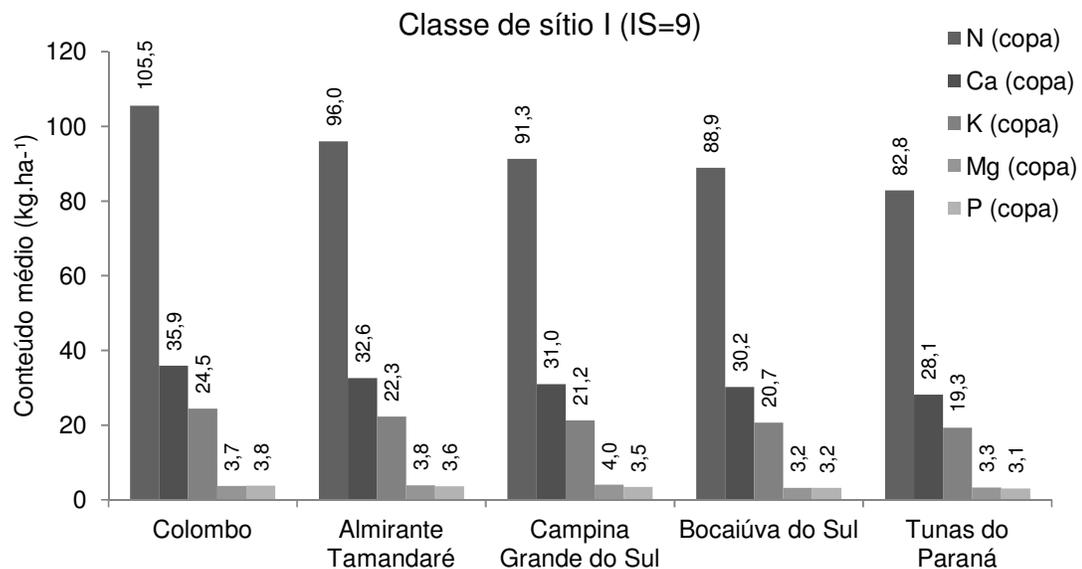
Sendo assim, uma avaliação do conteúdo médio de macronutrientes em todas as regiões onde foram instaladas as parcelas do estudo, foi realizada a partir da estimativa dos macronutrientes valendo-se dos modelos selecionados para os três índices de sítio do estudo, uma vez que é esperado um maior conteúdo de nutrientes em sítios mais produtivos. Na Tabela 16 estão listados os valores médios de macronutrientes presentes na biomassa aérea total e na biomassa da copa, em que se efetuou a subtração entre os valores resultantes do valor médio de macronutrientes presentes no compartimento lenha, a qual foi removida do sítio durante a exploração da madeira.

TABELA 16 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES NA BIOMASSA TOTAL(T) E COPA(C), SEPARADOS POR ÍNDICE DE SÍTIO E LOCAIS DE INSTALAÇÃO DAS PARCELAS.

IS (m)	Local	Conteúdo médio de macronutriente (kg.ha ⁻¹)									
		N (t)	N (c)	P (t)	P (c)	K (t)	K (c)	Ca (t)	Ca (c)	Mg (t)	Mg (c)
9	Almirante Tamandaré	244,0	96,0	8,0	3,6	116,0	22,3	123,4	32,6	12,0	3,8
	Bocaiúva do Sul	210,2	88,9	7,1	3,2	99,9	20,7	108,0	30,2	10,2	3,2
	Campina Grande do Sul	238,0	91,3	7,7	3,5	113,1	21,2	119,5	31,0	12,5	4,0
	Campo Largo	347,4	130,8	11,2	5,0	165,4	30,3	174,1	44,6	18,4	5,9
	Colombo	245,5	105,5	8,3	3,8	116,7	24,5	126,8	35,9	11,5	3,7
	Piraquara	337,6	164,6	12,0	5,4	160,6	38,0	180,0	56,2	14,6	4,7
	Rio Branco do Sul	328,5	133,4	10,9	4,9	156,3	30,9	167,5	45,5	15,9	5,1
	São José dos Pinhais	705,9	319,5	24,5	11,1	337,0	73,1	371,6	109,9	32,4	10,3
	Tunas do Paraná	207,0	82,8	6,8	3,1	98,3	19,3	104,9	28,1	10,2	3,3
13	Agudos do Sul	1122,7	459,4	59,3	18,9	537,0	104,6	37,4	17,0	578,5	158,6
	Almirante Tamandaré	308,9	111,3	17,6	5,6	147,0	25,8	9,7	4,4	153,1	37,9
	Balsa Nova	523,6	214,7	26,6	8,5	249,7	49,4	17,4	7,9	268,5	73,5
	Bocaiúva do Sul	342,8	135,4	18,1	5,8	163,2	31,3	11,2	5,1	173,7	46,2
	Campina Grande do Sul	356,0	123,8	21,1	6,7	169,5	28,7	11,1	5,0	175,1	42,2
	Campo Largo	454,1	178,0	24,3	7,8	216,4	41,0	14,8	6,7	230,1	60,9
	Colombo	339,0	125,7	18,8	6,0	161,4	29,1	10,8	4,9	169,2	42,9
	Piraquara	513,6	207,8	26,9	8,6	244,8	47,8	17,0	7,7	262,6	71,2
	Quatro Barras	533,0	208,6	27,7	8,8	254,1	48,0	17,4	7,9	270,4	71,4
	Quitandinha	1549,6	601,3	85,2	27,2	742,1	136,4	50,6	23,0	790,0	208,2
	Rio Branco do Sul	335,1	125,6	18,2	5,8	159,5	29,1	10,7	4,9	167,7	42,8
	São José dos Pinhais	447,6	204,1	20,4	6,5	213,3	47,0	15,5	7,0	235,3	69,9
Tunas do Paraná	265,8	97,4	14,7	4,7	126,4	22,6	8,4	3,8	132,1	33,1	
17	Almirante Tamandaré	765,8	311,9	40,7	13,0	365,7	71,4	25,4	11,5	393,2	107,3
	Araucária	1040,0	417,9	57,0	18,2	497,2	95,3	34,4	15,6	533,3	144,1
	Balsa Nova	734,3	290,8	41,0	13,1	350,6	66,6	24,1	10,9	374,4	99,9
	Bocaiúva do Sul	432,6	161,1	24,9	7,9	206,1	37,2	13,8	6,3	216,4	55,1
	Campina Grande do Sul	492,6	152,4	32,8	10,5	234,8	35,2	14,6	6,6	236,0	52,0
	Colombo	335,2	120,7	19,4	6,2	159,5	28,0	10,5	4,8	166,0	41,1
	Piraquara	512,9	189,3	29,1	9,3	244,5	43,6	16,3	7,4	256,5	64,8
	Quatro Barras	607,3	239,7	32,2	10,3	289,7	55,1	19,9	9,0	309,0	82,2
Tunas do Paraná	340,3	110,2	21,7	6,9	162,0	25,6	10,3	4,6	164,4	37,5	

Observando a Tabela 16, verifica-se que os três municípios Araucária, Agudos do Sul e Quitandinha são os que possuem os maiores valores de conteúdo

médio estimado de macronutrientes, e os de menores valores em Tunas do Paraná, Bocaiúva do Sul e Campina Grande do Sul. Nota-se que apenas cinco municípios (Almirante Tamandaré, Bocaiúva do Sul, Campina Grande do Sul, Colombo e Tunas do Paraná) dispunham de parcelas em todos os índices de sítio; os demais municípios se limitaram a conter apenas uma ou duas classes de sítio, dificultando, assim, a comparação de produtividade nos diferentes índices de sítio. Portanto, na Figura 18 estão ilustrados o conteúdo médio de macronutrientes presentes na copa dos cinco municípios nas 3 classes de sítio.



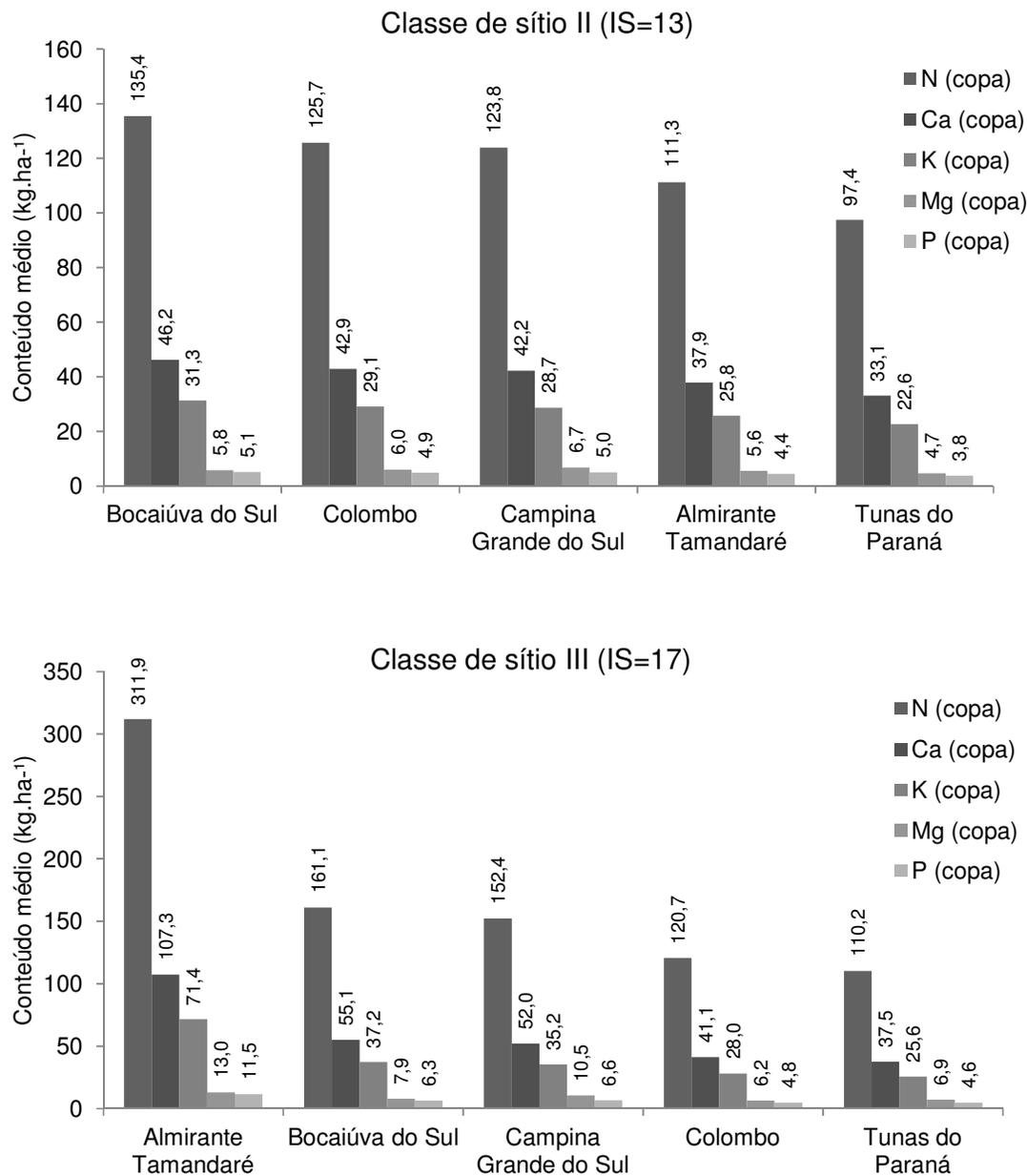


FIGURA 18 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA COPA NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO EM CINCO MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.

Na Figura 18 observa-se um aumento crescente no conteúdo dos nutrientes à medida que se aumenta o índice de sítio para todos os municípios, com exceção de Colombo, que só apresentou aumento gradativo para o magnésio e nos demais macronutrientes só ocorreu um aumento entre a primeira e a segunda classe, com posterior decréscimo da segunda para terceira classe. O maior decréscimo é observado no nitrogênio, porém com baixo valor, inferior a 5 kg.ha⁻¹. Existiu uma

variação dos locais mais produtivos nas três classes de sítio, sendo o município de Almirante Tamandaré o mais produtivo entre os demais para a classe de sítio III, o município de Bocaiúva do Sul para a classe de sítio II e o município de Colombo para a classe de sítio I.

No município de Almirante Tamandaré, a mudança crescente entre as classes de sítio resultou num acréscimo de aproximadamente três vezes o conteúdo de macronutrientes. Já nos demais municípios também ocorreu um aumento no conteúdo médio de macronutrientes à medida que aumentou o índice de sítio. O nutriente que mais teve alterações na quantidade foi o nitrogênio, que no município de Bocaiúva do Sul variou em 50 kg.ha^{-1} na mudança da classe 1 para 2, e 35 kg.ha^{-1} na mudança entre as classes 2 e 3. Em Campina Grande do Sul o nitrogênio aumentou aproximadamente 30 kg.ha^{-1} na transição das classes de produtividade. Tais variações levam a crer na distinção de adubação de reposição, que deve ser realizada pelos produtores, tendo em vista que propriedades situadas em locais mais produtivos (maiores índices de sítio) exportam mais nutrientes durante o processo de exploração da lenha nos bracatingais.

É válido ressaltar que estudos de solos concomitantes à ciclagem de nutrientes devem ser realizados para uma inferência certa sobre a quantidade de nutrientes a serem repostos em campo. Deve-se ainda lembrar que naturalmente, a bracatinga por ser uma leguminosa, incorpora uma elevada quantidade de nitrogênio no solo, devendo-se portanto descontar boa parte da sua reposição.

Santana *et al.* (1999) afirmaram que em solos com baixos teores de nutrientes em formas disponíveis e totais, a exportação de elevadas quantidades de nutrientes pela colheita florestal ao longo das rotações pode levar à redução da capacidade produtiva do sítio, daí a importância da identificação de locais pela produtividade e pela fertilidade do solo.

Na Figura 19 observam-se os diferentes tipos de solo existentes na região Metropolitana de Curitiba; em cada município há uma heterogeneidade na classificação dos solos, ou seja, uma elevada diversidade de solos. Portanto, a fim de identificar a fertilidade do solo dos cinco municípios listados anteriormente, optou-se em classificar o solo de cada município a partir da classe de solo mais representativa da área, ou seja, o tipo de solo que mais aparece na área do município.

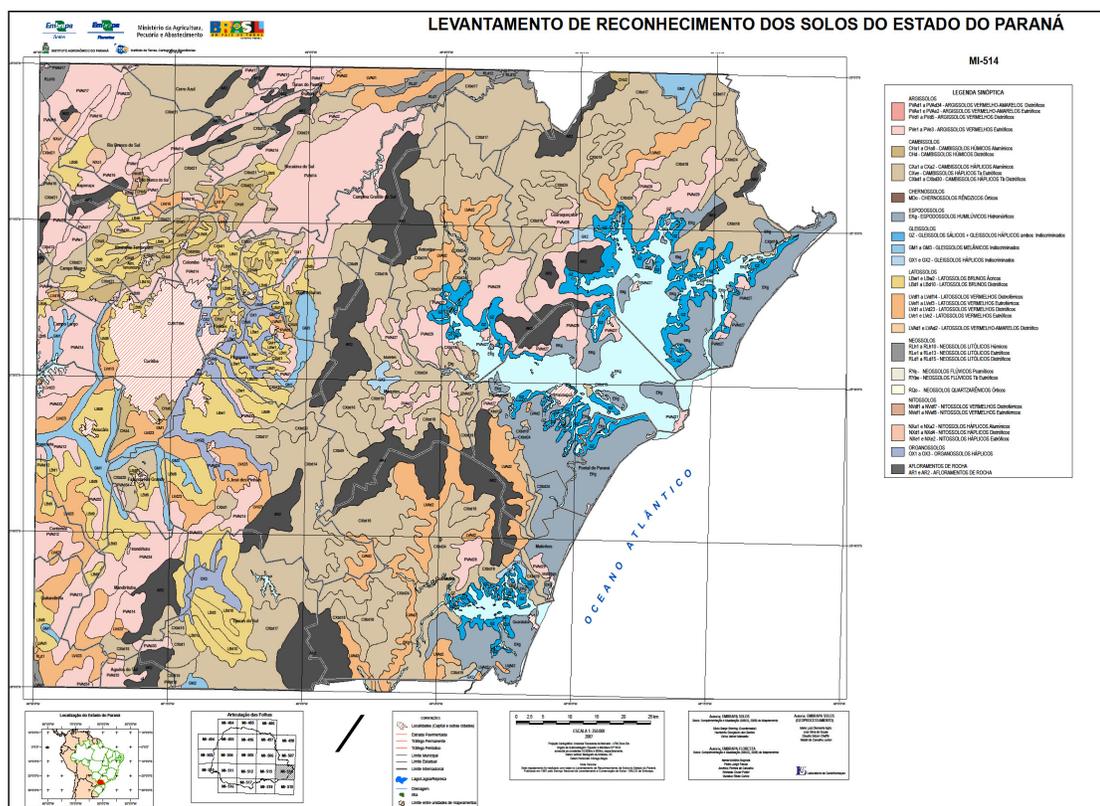


FIGURA 19 - MAPEAMENTO DOS SOLOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (FONTE: BHERING, 2007).

No mapa de solos do Estado do Paraná, identificou-se que mais de 15% da área, cerca de 30.000 ha, é ocupada por solos da ordem dos Argissolos, enquanto que os Chernossolos, Gleissolos, Organossolos e Espodossolos ocupam em conjunto aproximadamente 2% da área total do estado. Todavia, a principal ocorrência de solos no Estado do Paraná é de Latossolos, que ocupam quase 62.000 ha de terras, ou cerca de 31% da área total do estado (BHERING, 2007).

A classificação dos solos foi feita utilizando o mapeamento realizado por Bhering (2007), em que a classe de solo predominante no município de Almirante Tamandaré foi o latossolo bruno distrófico (LBd10). Para o município de Bocaiúva do Sul a classe de solo predominante foi uma associação de argissolo vermelho-amarelo distrófico com latossolo vermelho distrófico (PVAd14). Em Campina Grande do Sul a associação entre cambissolo háplico Tb distrófico típico com latossolo vermelho-amarelo distrófico cambissólico (CXbd17) foi detectada na maior parte do município. Em Colombo duas classes de solo foram predominantes, sendo a associação entre latossolo bruno distrófico com cambissolo háplico Tb distrófico (LBd8) e argissolo vermelho-amarelo distrófico com neossolo lítico distrófico típico

(PVA_d17). Por fim o município de Tunas do Paraná com associação de solos do tipo cambissolo háplico Tb distrófico com latossolo bruno distrófico cambissólico (CX_{bd}22).

Dada a classificação dos solos e suas respectivas fertilidades, têm-se três classes distintas de solo em ordem decrescente de desenvolvimento (LB_d > PVA_d > CX_{bd}). Sabe-se que a fertilidade natural do solo está relacionada, principalmente, com a disponibilidade de minerais intemperizáveis e com uma contribuição da matéria orgânica disponível nele. Solos menos desenvolvidos, exceto em regiões áridas, são geralmente menos férteis. No Brasil, os locais aonde o regime pluviométrico é regular o intemperismo é alto, assim como a lixiviação, que retira os nutrientes do sistema, reduzindo a fertilidade do solo. Já solos pouco desenvolvidos apresentam maiores teores de minerais intemperizáveis, que vão liberando nutrientes e, assim, aumentam a fertilidade. Deve-se destacar que todas as classes de solo encontradas nos diferentes municípios, são solos distróficos e, conseqüentemente, naturalmente são solos menos férteis quando comparados a solos eutróficos.

Portanto, os municípios de Almirante Tamandaré e Colombo possuem os solos mais férteis e destacam-se por apresentarem maiores conteúdos de nutrientes para as classes de sítio 3 e 1, respectivamente. O município de Tunas do Paraná apresentou os menores valores de macronutrientes presentes na biomassa aérea dos bracingais e, coincidentemente, apresentou a classe de solo menos desenvolvida, e conseqüentemente, de menor fertilidade. Já a classe intermediária de solo e também os valores intermediários de conteúdo médio de macronutrientes foi detectado no município de Campina Grande do Sul. Sendo assim, a valoração econômica da biomassa aérea da lenha e dos resíduos florestais, ou seja, a copa e galhos com diâmetro inferior a 4 cm, foi feita para o conteúdo médio de macronutrientes nos cinco municípios que constaram em todas as classes de sítio. Os valores econômicos em reais estão apresentados na Tabela 17, para os macronutrientes contidos na biomassa da lenha, cujos resultados foram calculados baseados nos valores do quilograma de cada nutriente conforme descrito na Tabela 6.

TABELA 17 - VALORAÇÃO ECONÔMICA (R\$. HA⁻¹) DOS MACRONUTRIENTES CONTIDOS NA BIOMASSA DA LENHA EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA EM DIFERENTES LOCAIS E ÍNDICES DE SÍTIO.

IS (m)	Local	N	P	K	Ca	Mg	Total
9	Almirante Tamandaré	429,55	18,68	204,64	21,90	3,02	677,79
	Campina Grande do Sul	425,39	18,03	200,54	21,36	3,13	668,46
	Colombo	406,34	19,48	201,35	21,93	2,89	651,99
	Tunas do Paraná	360,16	15,95	172,56	18,55	2,56	569,78
	Bocaiúva do Sul	351,94	16,56	172,87	18,78	2,55	562,70
13	Campina Grande do Sul	673,68	61,42	307,58	1,46	48,95	1.093,09
	Colombo	618,87	54,85	288,81	1,43	46,55	1.010,51
	Bocaiúva do Sul	601,60	52,77	287,86	1,48	46,98	990,70
	Almirante Tamandaré	573,55	51,30	264,69	1,29	42,43	933,25
	Tunas do Paraná	488,59	42,82	226,57	1,11	36,47	795,58
17	Almirante Tamandaré	1.316,93	118,44	642,55	3,36	105,35	2.186,63
	Campina Grande do Sul	986,99	95,47	435,74	1,93	67,78	1.587,92
	Bocaiúva do Sul	787,78	72,39	368,88	1,82	59,43	1.290,30
	Tunas do Paraná	667,74	63,06	297,79	1,36	46,77	1.076,71
	Colombo	622,46	56,42	287,27	1,39	46,00	1.013,54

A valoração dos nutrientes contidos na biomassa da lenha resultou em valores mais altos para o maior índice de sítio, sendo o valor máximo da retirada de nutrientes com a exploração da lenha encontrada no município de Almirante Tamandaré (R\$ 2.186,63) para o IS=17 m e o menor valor para o município de Bocaiúva do Sul no IS=9 m (R\$ 562,70).

Baggio e Carpanezzi (1997a) afirmaram que a verificação cabal quanto à capacidade do sítio em sustentar a produtividade de lenha, requer conhecimentos sobre o estoque de nutrientes do solo e sua relação quantitativa com as exportações em cada rotação, bem como a deposição natural via seca ou pelas chuvas. Os mesmos autores, valorando a biomassa aérea de bracatingas, encontraram valores para a biomassa da lenha representando 73,1% do valor econômico potencial dos nutrientes acumulados na exploração dos bracatingais. No presente trabalho o valor econômico médio dos nutrientes acumulados na biomassa da lenha foi de 68,4%.

O cálcio e o potássio são os nutrientes que mais poderão limitar a produtividade dos próximos ciclos, considerando-se a colheita do tronco. Entretanto, essa limitação pode ser substancialmente reduzida, principalmente para cálcio, se a colheita se restringir apenas ao lenho e retirada da casca, no caso de plantios de

eucalipto. Esta alteração no manejo florestal implica em maior sustentabilidade do ecossistema (SANTANA *et al.*, 2002).

Na Tabela 18 estão listados os valores econômicos para os macronutrientes presentes na biomassa aérea da copa (folhas e galhos finos), ou seja, nos resíduos florestais, novamente eles foram calculados baseados nos valores do quilograma de cada nutriente, conforme descrito na Tabela 6.

TABELA 18 - VALORAÇÃO ECONÔMICA (R\$. HA⁻¹) DOS MACRONUTRIENTES CONTIDOS NOS RESÍDUOS FLORESTAIS EM POVOAMENTOS DE BRACATINGA EM DIFERENTES LOCAIS E ÍNDICES DE SÍTIO.

IS (m)	Local	N	P	K	Ca	Mg	Total
9	Colombo	306,04	16,05	53,46	8,66	1,36	385,57
	Almirante Tamandaré	278,48	15,40	48,67	7,88	1,42	351,85
	Campina Grande do Sul	265,03	14,86	46,39	7,49	1,47	335,23
	Bocaiúva do Sul	257,97	13,64	45,16	7,29	1,20	325,25
	Tunas do Paraná	240,33	13,14	42,10	6,79	1,20	303,56
13	Bocaiúva do Sul	392,97	21,69	68,41	11,15	2,13	496,36
	Colombo	364,71	20,91	63,53	10,35	2,22	461,71
	Campina Grande do Sul	359,24	21,41	62,57	10,19	2,48	455,90
	Almirante Tamandaré	322,79	18,82	56,30	9,15	2,07	409,13
	Tunas do Paraná	282,54	16,30	49,38	7,99	1,73	357,95
17	Almirante Tamandaré	904,91	49,31	155,88	25,89	4,79	1.140,78
	Bocaiúva do Sul	467,33	26,74	81,15	13,29	2,93	591,44
	Campina Grande do Sul	442,24	28,32	76,91	12,56	3,86	563,88
	Colombo	350,10	20,41	61,05	9,92	2,28	443,76
	Tunas do Paraná	319,66	19,88	55,83	9,05	2,55	406,97

Novamente, a valoração dos nutrientes contidos na biomassa dos resíduos resultou em valores mais altos para o maior índice de sítio, sendo o valor máximo da retirada de nutrientes com a exploração da lenha encontrada no município de Almirante Tamandaré (R\$ 1.140,78) para o IS=17 m e o menor valor para o município de Tunas do Paraná no IS=9 m (R\$ 303,56). Novamente deve-se salientar que tal valoração econômica não levou em consideração a assimilação de nitrogênio e demais nutrientes no solo durante o ciclo de vida dos bracatingais, podendo ocorrer superestimativas de reposição.

Os valores apresentados nas Tabelas 17 e 18 retratam o gasto do produtor na reposição de nutrientes para suprir a quantidade média do que foi retirado do sistema durante o processo de exploração da lenha. Caso a colheita da árvore seja

completa o produtor deverá repor a quantidade de nutrientes exportados durante o processo de exploração, podendo desembolsar valores monetários variando de R\$ 873,00 a R\$ 3.345,00 por hectare, dependendo do local da propriedade e da classificação de sítio da área.

Baggio e Carpanezzi (1997a) realizando um estudo semelhante ao atual, concluíram que a exportação de nutrientes pela lenha da bracatinga representa ao menos 10,3% da renda bruta obtida por sua produção, sendo a reposição dos fertilizantes inviável do ponto de vista econômico. Daí a necessidade de introduzir mudanças profundas nas práticas do sistema, no sentido de equilibrar o balanço de nutrientes, fato ainda corriqueiro nos dias de hoje. Os valores potenciais dos nutrientes, contidos nos resíduos e exportados devido à queima, implicam em custos que devem ser considerados nas estimativas de rentabilidade dos sistemas tradicionais da bracatinga (BAGGIO e CARPANEZZI, 1997b).

Portanto, os valores acima citados, reforçam a importância da permanência dos resíduos florestais no solo, a fim de garantir a ocorrência de uma ciclagem de nutrientes eficiente para manutenção da produtividade nos sítios florestais. Na Figura 20 estão apresentados os valores ($\text{R}\$.\text{ha}^{-1}$) dos macronutrientes nos diferentes municípios da Região Metropolitana de Curitiba, sem a separação por classes de sítio, caso a exploração das árvores seja completa, ou seja, sem a permanência dos resíduos florestais no solo.

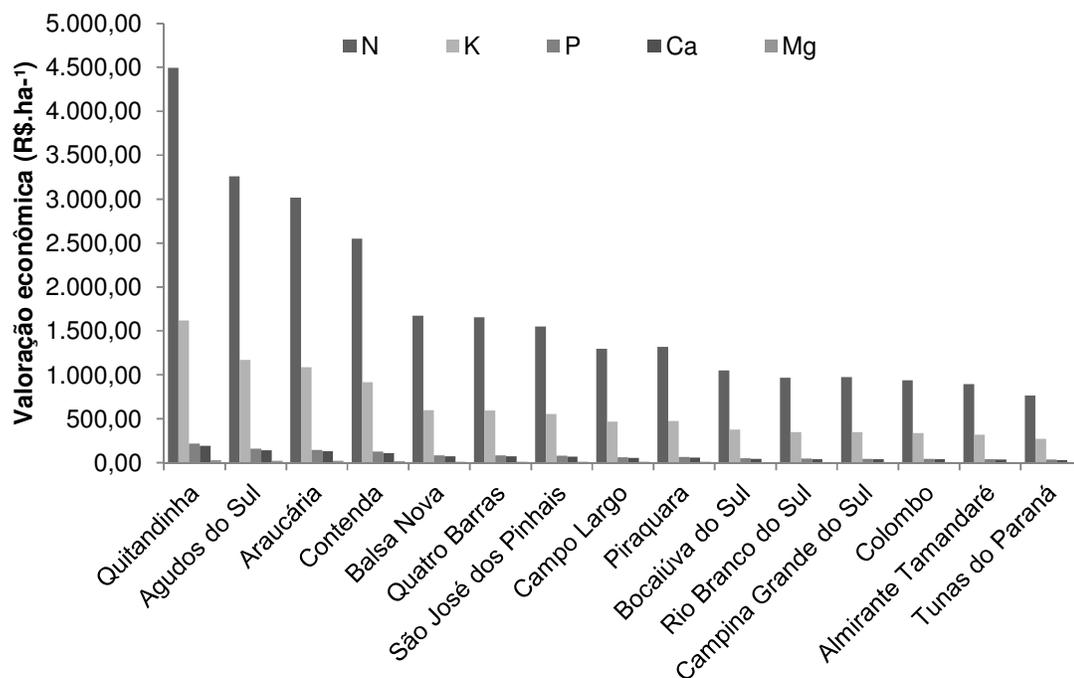


FIGURA 20 - CONTEÚDO TOTAL MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTES NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS NOS DIFERENTES MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.

Analisando a Figura 20, verifica-se que propriedades localizadas no município de Quitandinha terão maior gasto monetário caso a colheita a árvore seja completa, variando de R\$4.495,71 por hectare para reposição de nitrogênio a R\$31,39 por hectare para reposição do magnésio. É válido ressaltar que a árvore de bracatinga incorpora no solo cerca de 200 kg.ha^{-1} de nitrogênio, sendo então sua reposição completa desnecessária por se tratar de uma leguminosa com poder de fixação de N. Já os bracatingais localizados no município de Tunas do Paraná, que coincidentemente possui a classe de solo menos desenvolvida, possuem valores baixos de reposição de nutrientes, variando de R\$762,20 por hectare para nitrogênio a R\$5,37 por hectare para magnésio.

5 CONCLUSÃO

- ✓ As equações selecionadas para estimativa de macronutrientes presentes na biomassa aérea de bracatingais nativos foram apropriadas, com bons ajustes e precisão, além de uma distribuição de resíduos homogênea.
- ✓ As melhores equações selecionadas para estimar os micronutrientes presentes na biomassa aérea de bracatingais nativos apresentaram erros médios altos (variando de 32 a 40%) e baixos coeficientes de determinação (inferiores a 44%), com exceção do ferro, para o qual as equações são apropriadas.
- ✓ As correlações existentes entre as variáveis dendrométricas e os conteúdos de macronutrientes foram satisfatórias, com destaque para a área basal com coeficiente de correlação superiores a 0,8, permitindo o desenvolvimento de equações admissíveis. Já para os micronutrientes a correlação existente entre as variáveis dendrométricas e os conteúdos foram insatisfatórias, com exceção do ferro, resultando em equações para estimativa do conteúdo de micronutrientes insatisfatórias.
- ✓ Para estimar a quantidade de nutrientes na copa alguns modelos foram equacionados apenas em função da área basal como variável independente, indicando o potencial de aplicação da relascopia para uma amostragem rápida e precisa de tal variável em campo. Em todos os demais modelos selecionados foram utilizadas como variável independente a área basal, altura (dominante e média) e a combinação dessas.
- ✓ Ocorre uma diminuição gradativa no conteúdo de nutrientes presentes na biomassa aérea ao longo dos anos, devido à mortalidade acentuada nos bracatingais.
- ✓ Como esperado, quanto melhor o sítio, maior a quantidade de nutrientes presentes na biomassa aérea de bracatingais nativos.

- ✓ Em ordem decrescente os valores estimados de macronutrientes encontrados na parte aérea dos bracatingais configuram-se na sequência de $N > Ca > K > Mg > P$. Já os micronutrientes configuram-se na sequência de $Fe > Mn > Cu > Zn$.

- ✓ A valoração econômica dos componentes da biomassa aérea dos povoamentos de bracatinga, indicam que caso a colheita da árvore seja completa, o produtor deverá desembolsar valores monetários para reposição dos macronutrientes variando de R\$700,00 a R\$2.730,00 por hectare, dependendo do local da propriedade e da classificação de sítio, desconsiderando a incorporação natural de nutrientes nos bracatingais.

- ✓ Os municípios de Almirante Tamandaré e Colombo possuem os solos mais férteis e destacam-se por apresentarem maiores conteúdos de nutrientes para as classes de sítio 3 e 1, respectivamente. No município de Tunas do Paraná observou-se os menores valores de macronutrientes presentes na biomassa aérea dos bracatingais e coincidentemente apresentou a classe de solo menos desenvolvida, conseqüentemente de menor fertilidade. Já a classe intermediária de solo e também os valores intermediários de conteúdo médio de macronutrientes foi detectado no município de Campina Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. G.; CABALLERO, S. S. U.; FARIA, S. M de. **Ciclagem de nutrientes em Ecossistemas Florestais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Documentos n. 13). 1999. 22 p.

ANGELI, A.; STAPE, J. L. Identificação de espécies florestais: *Mimosa scabrella* (Bracatinga). **Publicação eletrônica: IPEF**. 2003. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/mimosa.scabrella.asp>. Acesso: 12/05/2011

ARCE, J. J. C.; BAUER, J. A. ***Mimosa scabrella*: leguminosa promissora para zonas altas**. Proyecto leña y fuentes alternas de energia, CATIE-ROCAP Costa Rica. 1985. 4 p.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantify for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, n. 14, p. 371-375. 1939.

BAGGIO, A. J. **Estudio sobre el sistema agroforestal tradicional de la bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) en Brasil: productividad, manejo de residuos y elaboración de compost**. 242 f. Tese (Doutorado em Ingenieria de Montes). Departamento de Silvopascicultura, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid. 1994.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. Exportação de nutrientes na exploração de bracatingais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 34, p. 3-15. 1997a.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. Estoque de nutrientes nos resíduos da exploração de bracatingais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 34, p. 17-29. 1997b.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. Biomassa aérea da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) em talhões do sistema de cultivo tradicional. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 34, p. 31-44. 1997c.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A.; GRAÇA, L.R.; e CECCON, E. Sistema agroforestal tradicional da bracatinga com culturas agrícolas anuais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 12, p. 73-82. 1986.

BALIEIRO, F. C. de; DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. de. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 59-65. 2010.

BARRETT, T. M.; FRIED, J. S. Modeling. In: **Encyclopedia of Forest Sciences**, p. 426-433. 2004.

BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. de. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: 1- Macronutrientes. **IPEF**, n. 20, p. 1-23. 1980.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), no município de Nova Prata, RS**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BHERING, S. B. **Mapa de solos do Estado do Paraná - Dados eletrônicos**. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627).

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.; COUTO, H.T.Z. do; FAZZIO, E.C.M.; CORRADINI, L.; CARRARA, M.A. & MIGLIORINI, A.J. Avaliação das características dos resíduos de exploração florestal do eucalipto para fins energéticos. **Circular Técnica: IPEF**, Piracicaba, n. 62, 1979. 8 p.

BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, Z. D. A. **A comparasion of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981. 59 p.

CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMACHER, M. V. Conteúdo e exportação de micronutrientes em Acácia-Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) procedência Batemans Bay (Austrália) . **Árvore**, v. 27, n. 1, p. 9-14. 2003.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SANTOS, E. M dos; TEDESCO, N.; PEREIRA, J. C. Estimativa do conteúdo de nutrientes em povoamento jovem de *Acacia mearnsii* De Wild. estabelecido na região sul do Brasil. **Floresta**, v. 29, n. 1/2, p. 53-65. 2004.

CAMPOS, C. H. O; GRAÇA, L. R.; RIBAS, L. C. A produtividade do bracatingal tradicional através do tempo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 12, p. 35-46, jun. 1986.

CARNEIRO, R. M.; ALMEIDA JUNIOR, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; DIAS, I.S. Importância da dormência das sementes na regeneração da bracatinga - *Mimosa scabrella* Bentham, **Circular Técnica: IPEF**, Piracicaba, n. 149, p. 1-10, 1982.

CARPAZZI, A. A. Aspectos técnicos da produção de bracatinga. In: **Memórias da oficina sobre bracatinga no Vale do Ribeira**. Dados eletrônicos, Colombo: Embrapa Florestas, p. 39-44. 2006.

CARPANEZZI, A. A. e outros. **Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.)**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 70 p. (Documentos, 20).

CARPANEZZI, A. A.; PAGANO, S. N.; BAGGIO, A. J. Banco de sementes de bracatinga em povoamentos do sistema agroflorestal tradicional de cultivo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 3-19, 1997.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira**. Colombo: Embrapa-CNPQ / Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CARVALHO, P. E. R.; MEDRADO, M. J. S.; HOEFLICH, V. A. **Cultivo da bracatinga**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Bracatinga/CultivodaBracatinga/20_equipe.htm>. Acesso: 05/05/2011.

CASTRO, C. F. de A. e POGGIANI, F. – Quantificação da biomassa arbórea em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. **Boletim Informativo**. Projeto de Pinheiros Tropicais. ESALQ/DS. Piracicaba, n. 1, v. 7, p. 1-11. 1979.

CASTRO, C. F. de A.; POGGIANI, F.; NICOLIELO, N. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. **IPEF**, n. 20, p. 61-74. 1980.

CATHARINO, E. L. M.; CRESTANA, C. S. M.; KAGEYAMA, P. Y. Biologia floral da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Anais**. São Paulo: Instituto Florestal, 1982. p.525-531. Publicado na Silvicultura em São Paulo, v.16 A, parte 2, 1982.
CLUTTER, J. L.; FORSTON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber Management: a quantitative approach**. New York, John Wiley & Sons, 1983. 333 p.

COUTO, H. T. Z. do; BASTOS, N. L. M.; LACERDA, J. S. de. A amostragem por pontos na estimativa de área basal em povoamentos de *Eucalyptus*. **IPEF**, n. 46, p. 86-95. 1993.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, cap. 1, p. 1-5. 2006.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1968. 407p.

DOSSA, D.; MONTOYA, J. L.; MACHADO, A. M. B. Cenário sócioeconômico da produção de bracatinga na área norte da região metropolitana de Curitiba. In: **Memórias da oficina sobre bracatinga no Vale do Ribeira**. Dados eletrônicos, Colombo: Embrapa Florestas, p. 19-28. 2006.

EMBRAPA/SNLCS. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA/SNLCS/SUDESUL/IAPAR, t. 1, (Boletim de Pesquisa, n. 27). 1984. 791 p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas - Princípios e perspectivas**. Tradução e Notas de MALAVOLTA, E. Rio de Janeiro: Editora USP - Livros Técnicos e Científicos, 1975. 344 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 3. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; REISSMANN, C. B.; BELLOTE, A. F. J.; MARQUES, R. **Nutrição de Pinus no Sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa**. Colombo: Embrapa Florestas, Documentos 60. 2001. 23 p.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia brasileira**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.

FOX, T. R., Sustained productivity in intensively managed forest plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 138, p. 187-202. 2000.

GRAÇA, L. R. Idade ótima de abate em bracatingal tradicional. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 15, p. 55-60. 1987.

GRAÇA, L. R.; MENDES, J. B. Análise econômica de sistemas de reflorestamento com bracatinga. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 14, p. 54-63. 1987.

GRAÇA, L. R.; RIBAS, L. C.; BAGGIO, A. J. A rentabilidade econômica da bracatinga no Paraná. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 12, p. 47-72. 1986.

GRODZKI, L. **Efeitos do fogo sobre variáveis micrometeorológicas em uma floresta de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) manejada sob o sistema agroflorestal, em Colombo, PR.** 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

GONÇALVES, J. L. de M. e MORO, L. Uso da “cinza” de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p. 28-37, 1995.

GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J-P.; BOUILLET, J-P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long- term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, v. 70, p. 105–118. 2008.

HAAG, H. P.; ROCHA FILHO, J. V. C.; OLIVEIRA, G. D. de. Ciclagem de nutrientes em florestas implantadas de *Eucalyptus* e *Pinus*: 2- contribuição das espécies de nutrientes na manta. **O solo**, Piracicaba, n. 70, v. 2, p. 28-31. 1978.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Produção da extração vegetal e da silvicultura (2008)**. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2008/pevs2008.pdf>>.
Acesso: 22/04/2011.

JANKOWSKY, I. P.; CHIMELO, J. P.; CAVANCANTE, A. de A.; GALINA, I. C. M.; NAGAMURA, J. C. S. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172 p.

LA TORRACA, S. M.; HAAG, H. P.; MIGLIORINI, A. J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliotii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, n. 27, p. 41-47. 1984.

LISBÃO JUNIOR, L. Bracatinga como fonte energética. In: IV Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais “Bracatinga uma alternativa para reflorestamento”. Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA – URPFCS, p. 133-143. 1981.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná, 2002. 440 p.

MACKINNEY, A. L. e CHAIKEN, L. E. Volume, yield and growth of loblolly pine in the mid-Atlantic pine region. **U.S.D.A For. Ser.**, Appalachian For. Exp. Stn. Tech. Note n. 33. 1939.

MACKINNEY, A. L.; SCHUMACHER, F. X.; CHAIKEN, L. E. Construction of yield tables for nonnormal loblolly pine stands. **Journal of Agricultural Research**, n. 54, p. 531-545. 1937.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 41-50. 2002.

MACHADO, S. A.; TONON, A. E. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. O. Evolução da área basal e do volume em bracatingais nativos submetidos à diferentes densidades iniciais e em diferentes sítios. **Floresta**, v. 32, n. 1, p. 61-74. 2008a.

MACHADO, S. A.; AGUIAR, L. P.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* Benth. na região metropolitana de Curitiba. **Árvore**, v. 32, n. 3, p. 465-478. 2008b.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009. 316 p.

MACHADO, S. A.; SOUZA, R. F. de; JASKIU, E.; CAVALHEIRO, R. Construction of site curves for native *Mimosa scabrella* stands in the metropolitan region of Curitiba. **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 489-497. 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 2006. 638 p.

MAZZA, C. A. S.; BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. Distribuição espacial da bracinga na região metropolitana de Curitiba com imagens de satélite Landsat. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2000. p. 22 (Embrapa Florestas. Circular técnica, 36)

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1992. 527 p.

MORO, L.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; REISSMANN, C. B. Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS. **Floresta**, v. 38, n. 3. 2008.

MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem de área fixa e variável, em um floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v.9, n. 1, p. 173-191. 1999.

NASCIMENTO, A. R. T.; SCARIOT, A.; SILVA, J. A. da; SEVILHA, A. C. Estimativas de área basal e uso do relascópio de Bitterlich em amostragem de Floresta Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 169-176. 2004.

PINTO, A. C. M. **Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentável na Amazônia Ocidental**. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba. 316 p. 1997.

PHILIPS, M.S. **Measuring trees and forests**. 2 ed. Cambridge. 310 p. 1994.

POGGIANI, F.e SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V., **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 10, p. 287-308.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. do; SIMÕES, J. W. Aspectos ecológicos das minirotações e do aproveitamento dos resíduos florestais. **Circular técnica: IPEF**, Piracicaba, v. 74, p. 1-7. 1979.

POGGIANI, F. Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes. **Série Técnica: IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. D.1-D.11. 1980.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. do; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, n. 25, p. 37-39. 1983.

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

POMIANOSKY, D. J. W.; DEDECEK, R. A.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Efeito do fogo nas características químicas e biológicas do solo no sistema agroflorestal da bracatinga. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 52, p. 93-118. 2006.

PORFÍRIO DA SILVA, V.; MAZUCHOWSKI, J. Z.; PINTO, A. F.; MINIOLLI NETTO, J.; BECKER, J. C. **Memórias da oficina sobre bracatinga no Vale do Ribeira** (2004; Curitiba, PR). Dados eletrônicos, Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 107 p.

PROFUMO AGUIAR, L. **Modelagem do volume do povoamento da *Mimosa scabrella* Bentham em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

REINECKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even aged forests. **Journal of Agricultural Research**, n. 46, p. 627-639. 1933.

ROCHADELLI, R. **Contribuição socioeconômica da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham.) na Região Metropolitana de Curitiba- Norte**. 83 f. Curitiba, Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1997.

ROSOT, M. A. D. **Estudo comparativo de métodos para a avaliação volumétrica por unidade de área em um povoamento de *Pinus taeda* L.** 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

ROTTA, E.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella*). In: Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais “Bracatinga uma alternativa para reflorestamento”, 4. Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA – URPFCS, p. 1-23. 1981.

ROTTA, E.; MENDES, E. M. Fenologia da floração e frutificação da bracatinga. **Silvicultura**, São Paulo, v. 12, n. 42, p. 547-554, 1992. Edição dos Anais do Congresso Florestal Brasileiro, 6., 1990, Campos do Jordão.

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

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

SCHANZ, H. Sustainable forest management. In: **Encyclopedia of Forest Sciences**, p. 1345-1350. 2004.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1. 1996. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM-CEPEF, 1996. p. 65-77.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719-734. 1933.

SCHUMACHER, F. X. A new growth curve and its application to timber yield studies. **Journal of Forestry**, n. 37, p. 819-820. 1939.

SCHUMACHER, M. V. e CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; ILLANA, V. B.; DISSIUTA, S. I.; AGNE, T. L. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Hovenia dulcis* Thunb., plantado na FEPAGRO Florestas, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 27-37. 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Parte I: Modelos de regressão linear e não linear; Parte II: Modelos de relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.

SILVA, J. de A. **Estimativa do volume por hectare e sua composição em povoamentos de *Eucalyptus* spp. nos cerrados em Minas Gerais e Mato**

Grosso do Sul. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

SILVA, G. F. da; LEITE, V. R.; CURTO, R. de ANGELI.; MORA, R.; MARTINS, L. T.; SANTOS, E. M. dos; SOARES, C. P. B. Cuidados com o uso do coeficiente de determinação na análise do ajuste de modelos volumétricos. In: **Simpósio Latino Americano sobre Manejo Florestal**, 4, 2008, Santa Maria, RS. Anais...

SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. **Forestry**, n. 81, p. 13-31. 2008.

SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 71, n. 3, p. 251-265, 1995.

SOMARRIBA, E.; KASS, D. Estimates of above-ground biomass and nutrient accumulation in *Mimosa scabrella* fallows in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 51, n. 2, p. 77-84, 2001.

SOUZA, R. F. de. **Modelagem da biomassa aérea e do carbono do povoamento de *Mimosa scabrella* Benth em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SPURR, S. H. **Forest Inventory.** New York: The Ronald Press Company. 1952. 476 p.

SULLIVAN, A. D.; CLUTTER, J. L. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. **Forest Science**, v. 18, p. 76-86. 1972.

TÉO, S. J. **Quantificação e modelagem do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham).** 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

TÉO, S. J.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; REISSMANN, C. B. Modelagem de micronutrientes para *Mimosa scabrella* na Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná. **Floresta**, n. 59, p. 15-26. 2009.

TÉO, S. J.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; REISSMANN, C. B. Models for estimating macronutrients in *Mimosa scabrella* Benth. **Cerne**, v. 16, n. 3, p. 323-334. 2010a.

TÉO, S. J.; MACHADO, S. A.; REISSMANN, C. B.; FIGUEIREDO FILHO, A. Micronutrientes da biomassa aérea de bracatinga sob diferentes classes de sítio, idade e diâmetro. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 861-870. 2010b.

TÉO, S. J.; MACHADO, S. A.; REISSMANN, C. B.; FIGUEIREDO FILHO, A. Concentração e conteúdo de macronutrientes da biomassa de *Mimosa scabrella* Benth. em diferentes classes de sítio, idade e diâmetro. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 6, p. 459-467. 2010c.

THEODOROVICZ, A. M. G.; CANTARINO, S. C.; THEODOROVICZ, A. **Atlas de uso e ocupação do solo da região metropolitana de Curitiba e problemas ambientais relacionados**. Curitiba: CPMR, 1999. 14 p.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1999. 410 p.

TROREY, L. G. A mathematical method for construction of diameter: height curves bases on site. **Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 8, n. 2, p. 121-132, 1932.

TONON, A. E. N. **Efeito da Densidade Inicial e do Sítio Sobre o Crescimento e a Produção de Bracatingais da Região Metropolitana de Curitiba**. 193 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1998.

TURNBULL, K. V. **Population dynamics in mixed forest stands: a system of mathematical models of mixed stand growth and structure**. 186 f. Thesis (Doctor Science) - University of Washington, Washington. 1963.

UNG, C. H.; OUELLET, D. Stand Volume Tables: Application to Black Spruce Stands of Lebel-sur-Quévillon. **Forestry Chronicle**. v. 67, n. 6. p. 712-715. 1991.

VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. Evaluating forest growth models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 1-12. 1997.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V.; BONACINA, D. M. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 371-379. 2011.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V. Exportação de nutrientes pela colheita do Pinus. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, v. 22, n. 3, p. 13-23. 2010.

VOGEL, H. L. M. **Quantificação da biomassa e nutrientes em uma Floresta Estacional Decidual em Itaara-RS, Brasil**. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

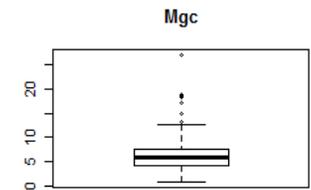
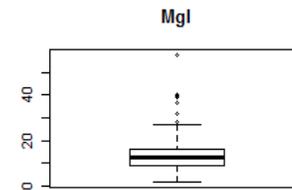
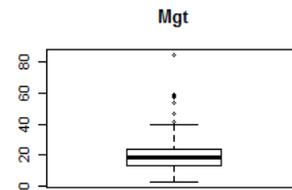
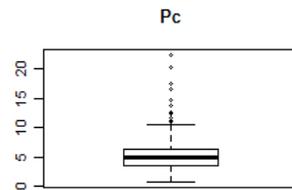
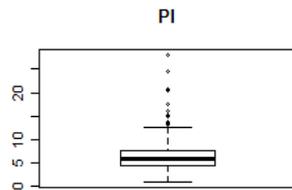
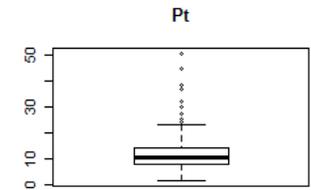
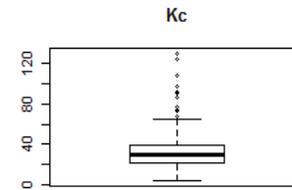
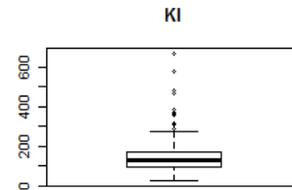
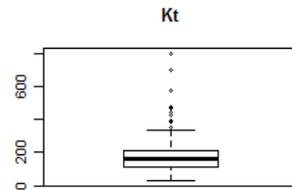
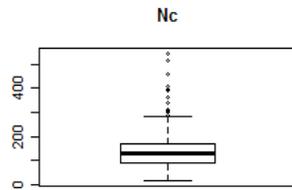
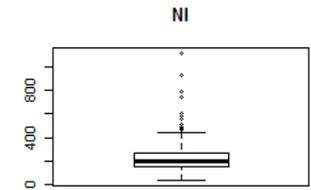
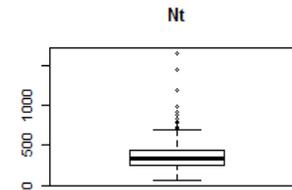
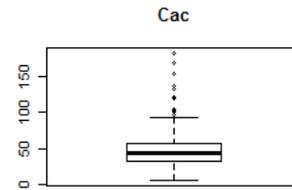
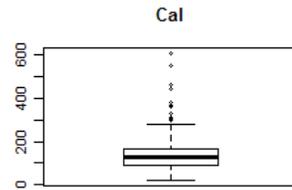
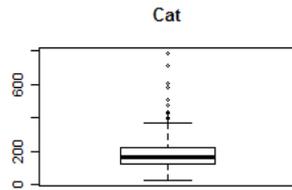
APÊNDICE I

TABELA 1 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA OS COMPARTIMENTOS LENHA E COPA EM KG.HA⁻¹ (N=307).

Estatísticas	N (lenha)	N (copa)	P (lenha)	P (copa)	K (lenha)	K (copa)	Ca (lenha)	Ca (copa)	Mg (lenha)
Mínimo	37,62	15,73	0,97	0,75	23,78	3,59	20,51	5,85	1,75
Média	226,24	140,01	6,47	5,35	142,09	32,39	136,45	47,74	13,48
Máximo	1107,54	543,11	27,97	22,36	668,61	129,78	603,28	181,08	57,40
Variância	14800,94	5231,18	10,92	7,71	5849,56	295,79	5373,83	579,80	43,15
Desvio Padrão	121,66	72,33	3,31	2,78	76,48	17,20	73,31	24,08	6,57
CV (%)	53,77	51,66	51,07	51,95	53,83	53,10	53,72	50,44	48,73
Erro Padrão absoluto	6,94	4,13	0,19	0,16	4,37	0,98	4,18	1,37	0,37
Erro Padrão (%)	3,07	2,95	2,91	2,96	3,07	3,03	3,07	2,88	2,78
Erro de Amostragem absoluto	13,66	8,12	0,37	0,31	8,59	1,93	8,23	2,70	0,74
Erro de Amostragem (%)	6,04	5,80	5,74	5,83	6,05	5,96	6,03	5,66	5,47
Limite Inferior	212,58	131,89	6,10	5,03	133,50	30,46	128,22	45,03	12,74
Limite Superior	239,90	148,14	6,84	5,66	150,68	34,32	144,68	50,44	14,22
Intensidade Amostral	111,97	103,32	100,99	104,49	112,18	109,18	111,76	98,52	91,93
Estatísticas	Mg (copa)	Fe (lenha)	Fe (copa)	Cu (lenha)	Cu (copa)	Mn (lenha)	Mn (copa)	Zn (lenha)	Zn (copa)
Mínimo	0,82	0,43	0,03	0,03	0,02	0,17	0,07	0,02	0,00
Média	6,33	3,03	0,48	0,29	0,12	1,08	0,63	0,11	0,06
Máximo	26,94	12,69	1,67	0,83	0,38	3,01	2,13	0,33	0,18
Variância	9,50	2,39	0,06	0,02	0,00	0,22	0,08	0,00	0,00
Desvio Padrão	3,08	1,55	0,25	0,14	0,05	0,47	0,29	0,05	0,03
CV (%)	48,73	51,10	52,85	47,60	44,48	43,29	46,44	40,86	45,83
Erro Padrão absoluto	0,18	0,09	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00
Erro Padrão (%)	2,78	2,92	3,02	2,72	2,54	2,47	2,65	2,33	2,62
Erro de Amostragem absoluto	0,35	0,17	0,03	0,02	0,01	0,05	0,03	0,01	0,00
Erro de Amostragem (%)	5,47	5,74	5,93	5,35	5,00	4,86	5,22	4,59	5,15
Limite Inferior	5,98	2,85	0,45	0,28	0,12	1,03	0,59	0,11	0,06
Limite Superior	6,67	3,20	0,51	0,31	0,13	1,13	0,66	0,12	0,06
Intensidade Amostral	91,93	101,10	108,13	87,74	76,62	72,55	83,50	64,66	81,32

APÊNDICE II

Conteúdo (kg.ha⁻¹)



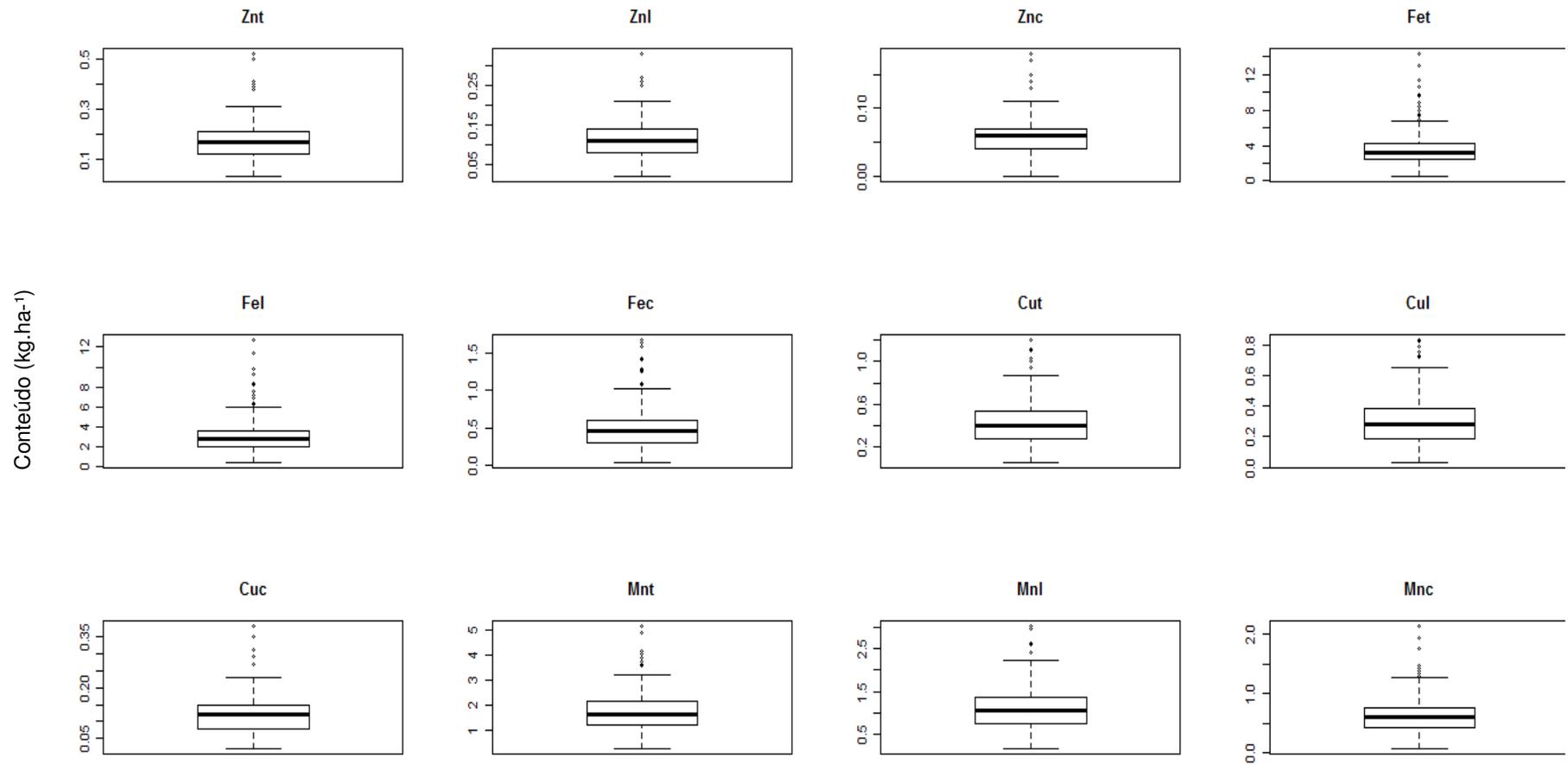


FIGURA 1 - DIAGRAMAS DE CAIXA PARA DETECÇÃO DE PONTOS DISCREPANTES NAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES (T=TOTAL, L=LENHA E C=COPA).

APÊNDICE III

TABELA 1 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE CÁLCIO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-2,56057	14,26624				33,11	18,29	87,26
2	10,36367	1,08161				42,23	23,33	79,27
3	15,68460	0,93735				43,38	23,96	78,13
4	119,34499	0,02523				45,99	25,41	75,41
5	119,92647	0,02222				46,06	25,45	75,34
6	72,10399	1,68593	1,28632			39,26	21,69	82,08
7	71,55562	1,68496	1,24673			39,37	21,75	81,98
8	-597,89447	157,22060				55,02	30,39	64,95
9	-582,65724	150,91418				56,57	31,25	62,81
10	-459,05945	86,35923				50,14	27,71	70,77
11	2,69215	0,97437			1,019	33,43	18,47	87,01
12	0,59333	0,90697			1,024	42,88	23,69	78,62
13	0,68228	0,87038			1,027	44,52	24,60	77,45
14	1,41265	0,49570			1,016	32,10	17,73	88,02
15	1,45308	0,48333			1,018	34,64	19,14	86,05
16	0,59351	0,91004	-0,00305		1,024	42,97	23,74	78,54
17	2,61591	0,25578			1,066	76,54	42,29	31,89
18	2,41383	0,22058			1,051	66,65	36,82	48,36
19	5,10782	-0,00298			1,124	92,95	51,35	-0,44
20	0,14058	0,51976			1,066	75,98	41,97	32,90
21	2,74188	-0,00121	-1,79035	1,05828	1,014	32,03	17,70	88,07
22	1,69200	0,99745	0,37786		1,016	31,12	17,19	88,74
23	1,93556	0,98257	0,28294		1,020	32,45	17,93	87,76
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-3,43403	10,68829				27,25	20,32	85,01
2	3,26581	0,82925				30,77	22,95	80,89
3	7,83026	0,71590				32,17	23,99	79,12
4	87,00458	0,01927				34,23	25,53	76,36
5	87,53129	0,01694				34,48	25,71	76,01
6	35,67924	1,61623	1,34527			28,85	21,51	83,20
7	66,27098	1,61274	-3,23713			30,23	22,55	81,55
8	-458,95285	119,70624				41,51	30,96	65,36
9	-445,20607	114,48064				42,97	31,74	62,75
10	-458,95285	119,70624				41,51	30,96	65,23
11	2,42053	0,96135			1,024	27,80	20,73	84,41
12	0,20182	0,92472			1,023	31,36	23,39	80,15
13	0,31673	0,88263			1,027	33,19	24,75	77,77
14	1,09695	0,49734			1,018	24,79	18,49	87,59
15	1,14738	0,48361			1,021	26,77	19,96	85,54

continua

TABELA 1 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE CÁLCIO EM KG.HA^{-1} , PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

								conclusão
Compartimento Lenha								
Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	FM	S_{yx} (kg.ha^{-1})	S_{yx} (%)	R^2_{aj} (%)
16	0,21108	1,08321	-0,15700		1,023	31,59	23,56	79,86
17	2,50600	0,23572			1,078	60,09	44,81	27,15
18	2,26233	0,20803			1,062	53,21	39,68	42,86
19	4,51020	0,03830			1,126	70,30	52,42	0,2837
20	0,22299	0,47920			1,078	59,74	44,55	27,98
21	2,74188	-0,00121	-1,79035	1,05828	1,014	32,03	17,70	88,07
22	1,03497	0,99333	0,52348		1,018	24,98	18,63	87,41
23	1,32848	0,97319	0,40840		1,021	26,38	19,67	85,96
Compartimento Copa								
Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	FM	S_{yx} (kg.ha^{-1})	S_{yx} (%)	R^2_{aj} (%)
1	0,87346	3,57794				7,21	15,36	90,09
2	7,09787	0,25236				12,37	26,38	70,78
3	7,85433	0,22145				12,21	26,04	71,54
4	32,34042	0,00596				12,73	27,13	69,09
5	32,39517	0,00528				12,58	26,81	69,82
6	15,57122	1,32467	-0,20331			8,19	17,46	99,22
7	15,77304	1,32454	-0,33394			8,19	17,46	99,22
8	-138,94162	37,51436				14,38	30,66	60,54
9	-137,45117	36,43354				14,47	30,84	60,06
10	-138,94162	37,51436				14,38	30,66	60,54
11	1,25125	1,01221			1,012	7,27	15,49	89,93
12	-0,52282	0,86019			1,023	31,36	23,39	80,15
13	-0,50322	0,83829			1,035	12,35	26,34	70,88
14	0,09008	0,49229			1,019	8,91	19,00	84,84
15	0,10385	0,48351			1,019	9,07	19,33	84,31
16	-0,54691	0,44793	0,40838		1,034	12,26	26,13	71,33
17	0,73009	0,31146			1,042	16,70	35,60	46,78
18	0,64199	0,25557			1,028	13,72	29,25	64,09
19	4,56795	-0,11640			1,119	22,94	48,89	-0,37
20	-2,28009	0,63250			1,041	16,45	35,06	48,39
21	1,38599	-0,01287	-0,21879	1,03939	1,012	7,35	15,66	89,71
22	1,30733	1,01091	-0,02119		1,012	3,79	8,08	97,26
23	1,41937	1,01039	-0,06287		1,012	7,24	15,43	90,00

TABELA 2 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MAGNÉSIO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	1,37449	1,41301				4,03	20,59	81,94
2	0,03991	0,12370				0,75	3,81	99,38
3	0,63185	0,10730				1,30	6,64	98,12
4	13,19287	0,00260				4,55	23,29	76,91
5	13,25580	0,00229				4,57	23,36	76,76
6	-12,97125	1,10038	1,09268			1,76	9,01	96,54
7	-13,33926	1,09444	1,06427			1,89	9,65	96,04
8	-71,06072	18,29094				3,78	19,32	84,12
9	-70,07724	17,71321				3,91	20,00	82,97
10	-50,25816	9,41950				4,17	21,30	80,68
11	0,52542	0,95219			1,021	4,02	20,58	81,98
12	-2,10243	1,00275			1,001	0,75	3,83	99,38
13	-2,04915	0,97120			1,002	1,30	6,65	98,12
14	-0,96350	0,51660			1,005	2,05	10,48	95,32
15	-0,94134	0,50637			1,006	2,25	11,52	94,35
16	-2,11911	0,71729	0,28278		1,000	0,52	2,67	99,69
17	0,77397	0,21651			1,080	8,30	42,44	23,34
18	0,48744	0,19625			1,064	7,41	37,89	38,87
19	2,20544	0,09263			1,118	9,28	47,46	4,10
20	-1,29423	0,43712			1,081	8,29	42,38	23,53
21	0,04676	0,05342	-2,94095	1,01632	1,004	2,19	11,18	94,67
22	-2,00680	1,01063	0,95670			0,71	3,63	99,44
23	-1,96057	0,97913	0,92969			1,29	6,60	98,14
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,93548	0,96170				2,74	20,59	81,94
2	0,02716	0,08419				0,51	3,81	99,38
3	0,43004	0,07303				0,88	6,64	98,13
4	8,97913	0,00177				3,10	23,29	76,91
5	9,02196	0,00156				3,11	23,36	76,76
6	-11,61918	1,00229	0,98594			1,09	8,21	97,13
7	-11,80352	0,99609	0,95902			1,22	9,16	96,43
8	-48,36427	12,44890				2,57	19,32	84,12
9	-47,69490	12,05570				2,66	20,00	82,97
10	-34,20595	6,41096				2,84	21,30	80,68
11	0,14064	0,95219			1,021	2,74	20,58	81,98
12	-2,48720	1,00275			1,001	0,51	3,83	99,38
13	-2,43392	0,97120			1,002	0,89	6,65	98,12
14	-1,34827	0,51660			1,005	1,39	10,48	95,32
15	-1,32612	0,50637			1,006	1,53	11,52	94,35
16	-2,50388	0,71729	0,28278		1,000	0,36	2,67	99,69

continua

TABELA 2 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MAGNÉSIO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

								conclusão
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
17	0,38920	0,21651			1,080	5,65	42,44	23,34
18	0,10266	0,19625			1,064	5,04	37,89	38,87
19	1,82067	0,09263			1,118	6,32	47,46	4,10
20	-1,67901	0,43712			1,081	5,64	42,38	23,53
21	-0,33801	0,05342	-2,94095	1,01632	1,004	1,49	11,18	94,67
22	-2,39157	1,01063	0,95670			0,48	3,63	99,44
23	-1,15165	0,96082	0,50264			1,49	11,21	94,65
Compartimento Copa								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,43901	0,45131				1,29	20,59	81,94
2	0,01275	0,03951				0,24	3,81	99,38
3	0,20181	0,03427				0,41	6,64	98,12
4	4,21374	0,00083				1,45	23,29	76,91
5	4,23384	0,00073				1,46	23,36	76,76
6	-8,77841	0,81178	0,78423			1,76	28,22	66,11
7	-8,79744	0,80523	0,76084			0,59	9,39	96,24
8	-22,69645	5,84204				1,21	19,32	84,12
9	-22,38233	5,65752				1,25	20,00	82,97
10	-16,05222	3,00854				1,33	21,30	80,68
11	-0,61591	0,95219			1,021	1,29	20,58	81,98
12	-3,24376	1,00275			1,001	0,24	3,83	99,38
13	-3,19047	0,97120			1,002	0,42	6,65	98,12
14	-2,10482	0,51660			1,005	0,65	10,48	95,32
15	-2,08267	0,50637			1,006	0,72	11,52	94,35
16	-3,26043	0,71729	0,28278		1,000	0,17	2,67	99,69
17	-0,36735	0,21651			1,080	2,65	42,44	23,34
18	-0,65389	0,19625			1,064	2,37	37,89	38,87
19	1,06412	0,09263			1,118	2,96	47,46	4,10
20	-2,43556	0,43712			1,081	2,65	42,38	23,53
21	-1,09457	0,05342	-2,94095	1,01632	1,004	0,70	11,18	94,67
22	-3,14812	1,01063	0,95670		1,001	0,23	3,64	99,44
23	-3,10189	0,97913	0,92969		1,002	0,41	6,61	98,14

TABELA 3 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE NITROGÊNIO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-7,95970	28,61114				60,65	16,83	89,14
2	11,52043	2,21001				73,45	20,39	84,07
3	23,33890	1,90988				77,22	21,44	82,40
4	234,02962	0,05161				81,89	22,74	80,20
5	235,44457	0,04537				82,65	22,95	79,83
6	166,69152	1,86624	1,58507			76,91	21,35	82,54
7	163,24361	1,86516	1,54843			77,03	21,39	82,48
8	-1214,52532	317,85447				105,25	28,94	67,29
9	-1181,79486	304,72426				108,81	29,92	65,04
10	-922,71318	173,09191				97,00	26,53	72,22
11	3,41697	0,96126			1,015	62,34	17,31	88,52
12	1,26275	0,91165			1,016	75,76	21,03	83,06
13	1,35855	0,87361			1,019	80,66	22,39	80,79
14	2,12010	0,49370			1,011	54,37	15,10	91,27
15	2,16288	0,48104			1,013	60,24	16,72	89,29
16	2,12990	0,86403	-0,36641		1,010	53,86	14,95	91,43
17	3,44704	0,24143			1,066	154,20	42,81	29,81
18	3,21866	0,21132			1,050	134,89	37,45	46,28
19	5,61709	0,02276			1,117	184,00	51,08	0,00
20	1,11504	0,49014			1,066	153,30	42,56	30,62
21	3,42263	0,00367	-2,04107	1,05021	1,009	53,28	14,79	91,62
22	2,20482	0,98923	0,45796		1,056	54,35	15,09	91,28
23	2,45429	0,97169	0,36001		1,045	58,67	16,29	89,84
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-8,80003	17,98772				42,88	19,26	86,65
2	-5,14356	1,44388				40,18	18,04	88,27
3	3,94462	1,24004				44,77	20,11	85,44
4	140,50534	0,03361				47,45	21,31	83,65
5	141,69855	0,02944				48,80	21,92	82,71
6	59,38841	1,75622	1,62930			41,95	18,84	87,22
7	59,08407	1,75397	1,57129			42,77	19,21	86,72
8	-790,85387	204,57548				105,25	29,22	67,29
9	-765,03865	195,18612				68,79	30,60	65,64
10	-586,96655	109,23570				63,49	28,09	70,73
11	2,99074	0,93814			1,020	45,35	20,37	85,07
12	0,67586	0,93261			1,012	42,66	19,16	86,78
13	0,80136	0,88826			1,017	48,04	21,58	83,24
14	1,63719	0,49368			1,011	34,00	15,27	91,60
15	1,69116	0,47954			1,014	38,94	17,49	88,99
16	1,65158	1,03709	-0,53766		1,010	32,96	14,80	92,11
17	3,26352	0,21043			1,078	103,08	46,30	22,84
18	2,97352	0,19168			1,062	92,27	41,44	38,18
19	4,70137	0,08349			1,114	116,13	52,16	2,08
20	1,23409	0,42687			1,078	102,73	46,14	23,38
21	2,93184	0,01163	-2,80301	1,05153	1,008	31,73	14,25	92,69
22	1,23501	0,97866	0,66333		1,051	35,42	15,91	90,89
23	1,53485	0,95392	0,54446		1,038	42,74	19,20	86,73

continua

TABELA 3 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE NITROGÊNIO EM KG.HA^{-1} , PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Compartimento Copa								conclusão
Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	FCM	S_{yx} (kg.ha^{-1})	S_{yx} (%)	R^2_{aj} (%)
1	0,84033	10,62342				24,32	17,68	87,56
2	16,66399	0,76613				36,53	26,56	71,93
3	19,39428	0,66984				36,38	26,45	72,16
4	93,52428	0,01801				38,09	27,69	69,49
5	93,74602	0,01593				37,74	27,44	70,04
6	68,29151	1,60365	0,45483			30,24	21,99	80,76
7	68,86449	1,60335	0,36374			30,25	21,99	80,75
8	-423,67145	113,27899				43,14	31,36	60,86
9	-416,75621	109,53815				43,69	31,77	59,85
10	-335,74663	63,85621				37,75	27,45	70,02
11	2,34832	1,00197			1,017	24,34	17,69	87,54
12	0,47370	0,87541			1,034	36,75	26,72	71,59
13	0,51597	0,84871			1,036	36,86	26,80	71,42
14	1,14989	0,49392			1,021	27,31	19,86	84,31
15	1,17244	0,48395			1,022	28,04	20,39	83,46
16	1,15140	0,55110	-0,05658		1,021	27,33	19,87	84,29
17	1,94829	0,29632			1,052	53,12	38,62	40,65
18	1,82914	0,24606			1,038	44,86	32,62	57,67
19	5,41289	-0,08454			1,125	69,26	50,36	-0,91
20	-0,91946	0,60216			1,051	52,47	38,15	42,08
21	2,46664	-0,01022	-0,71351	1,04837	1,016	24,81	18,04	87,05
22	2,08444	1,00806	0,09970		1,017	24,21	17,61	87,67
23	2,24113	1,00313	0,04009		1,017	24,38	17,72	87,50

TABELA 4 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE FÓSFORO EM KG.HA^{-1} , PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	FM	S_{yx} (kg.ha^{-1})	S_{yx} (%)	R^2_{aj} (%)
1	-0,10097	0,91082				1,78	15,33	90,60
2	0,84282	0,06830				2,57	22,08	80,52
3	1,15593	0,05932				2,62	22,53	79,71
4	7,70523	0,00160				2,76	23,79	77,38
5	7,73945	0,00141				2,76	23,77	77,42
6	-5,07697	0,97993	0,59870			1,69	14,51	91,59
7	-4,44602	0,97800	0,52313			1,73	14,92	91,10
8	-37,56118	9,92695				3,40	29,24	65,82
9	-36,74531	9,55765				3,48	29,94	64,16
10	-29,07386	5,49035				3,03	26,05	72,87
11	-0,05773	0,97825			1,012	1,80	15,47	90,44
12	-2,08192	0,89383			1,020	2,61	22,50	79,76
13	-2,01247	0,86137			1,023	2,70	23,22	78,46
14	-1,30800	0,49305			1,011	1,80	15,53	90,36
15	-1,27526	0,48173			1,013	1,94	16,68	88,88
16	-1,30230	0,70831	-0,21298		1,011	1,80	15,52	90,37
17	-0,21537	0,26519			1,056	4,66	40,13	35,62

continua

TABELA 4- COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE FÓSFORO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

continuação

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
18	-0,39590	0,22631			1,041	4,00	34,39	52,73
19	2,52180	-0,02464			1,117	5,83	50,20	-0,70
20	-2,77728	0,53842			1,056	4,62	39,81	36,67
21	-0,00972	-0,00181	-1,41606	1,04576	1,009	1,70	14,64	91,43
22	-0,83821	0,99626	0,29487		1,010	1,68	14,43	91,68
23	-0,63672	0,98452	0,21653		1,011	1,75	15,08	90,91
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-0,05968	0,49929				0,89	13,98	92,07
2	0,44746	0,03751				1,34	21,00	82,11
3	0,61944	0,03258				1,37	21,48	81,28
4	4,21209	0,00088				1,44	22,65	79,18
5	4,23139	0,00078				1,44	22,66	79,18
6	-5,14230	0,82765	0,48029			0,88	13,79	92,28
7	-4,68194	0,82551	0,41028			0,91	14,31	91,69
8	-20,56486	5,43573				1,82	28,64	66,74
9	-20,13558	5,23697				1,87	29,31	65,15
10	-15,91137	3,00555				1,62	25,39	73,85
11	-0,65190	0,97613			1,010	0,90	14,16	91,86
12	-2,67044	0,89164			1,018	1,37	21,51	81,23
13	-2,60487	0,85999			1,020	1,42	22,26	79,91
14	-1,89894	0,49191			1,009	0,90	14,14	91,59
15	-1,86783	0,48083			1,010	0,98	15,38	90,41
16	-1,89389	0,68265	-0,18872		1,009	0,90	14,12	91,92
17	-0,80445	0,26412			1,054	2,52	39,66	36,21
18	-0,98590	0,22553			1,039	2,16	33,86	53,50
19	1,91757	-0,02396			1,114	3,17	49,83	-0,71
20	-3,35338	0,53597			1,053	2,50	39,35	37,21
21	-0,61648	-0,00065	-1,37752	1,04032	1,007	0,83	12,97	93,17
22	-1,42724	0,99402	0,29293		1,008	0,82	12,95	93,20
23	-1,23666	0,98247	0,21868		1,009	0,87	13,68	92,41
Compartimento Copa								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-0,04130	0,41154				0,90	17,05	88,61
2	0,39536	0,03080				1,23	23,48	78,42
3	0,53649	0,02675				1,26	23,90	77,63
4	3,49314	0,00072				1,33	25,24	75,05
5	3,50806	0,00064				1,32	25,21	75,12
6	-4,90290	0,77918	0,43248			0,90	17,18	88,48
7	-4,45919	0,77705	0,35895			0,93	17,62	87,89
8	-16,99631	4,49121				1,58	30,09	64,54
9	-16,60973	4,32068				1,62	30,81	62,82
10	-13,16248	2,48480				1,42	26,97	71,51
11	-0,86106	0,98077			1,016	0,90	17,14	88,49
12	-2,89208	0,89646			1,024	1,25	23,81	77,80
13	-2,81775	0,86298			1,026	1,29	24,48	76,53

continua

TABELA 4 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE FÓSFORO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

conclusão								
Compartimento Copa								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
14	-2,11523	0,49441			1,015	0,91	17,29	88,29
15	-2,08044	0,48281			1,017	0,96	18,34	86,82
16	-2,10871	0,74048	-0,24347		1,015	0,91	17,30	88,28
17	-1,02516	0,26650			1,060	2,14	40,80	34,82
18	-1,20449	0,22725			1,045	1,85	35,13	51,67
19	1,73084	-0,02550			1,122	2,66	50,71	-0,69
20	-3,60308	0,54143			1,059	2,13	40,45	35,93
21	-0,79734	-0,00327	-1,46404	1,05242	1,012	0,88	16,72	89,06
22	-1,64786	0,99893	0,29726		1,014	0,85	16,22	89,69
23	-1,43268	0,98697	0,21377		1,015	0,88	16,79	88,96

TABELA 5 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE POTÁSSIO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-5,10916	13,72941				33,26	19,39	86,27
2	1,77075	1,07614				36,14	21,06	83,79
3	7,94945	0,92760				38,40	22,38	81,70
4	110,36029	0,02503				40,83	23,80	79,31
5	111,10918	0,02198				41,35	24,10	78,78
6	49,12797	1,68232	1,45945			35,13	20,48	84,68
7	49,05988	1,68052	1,40664			35,50	20,69	84,35
8	-593,19980	154,36428				51,79	30,19	66,72
9	-575,05375	147,54289				53,79	31,35	64,09
10	-446,23697	83,35335				48,85	28,47	70,39
11	2,68894	0,95371			1,022	34,31	20,00	85,39
12	0,44504	0,92601			1,018	37,21	21,69	82,81
13	0,56218	0,88345			1,022	40,07	23,36	80,07
14	1,35817	0,49577			1,014	28,98	16,89	89,58
15	1,40928	0,48198			1,017	31,93	18,62	87,34
16	0,45508	1,09799	-0,17037		1,018	37,50	21,86	82,55
17	2,83000	0,22803			1,077	77,14	44,97	26,14
18	2,57275	0,20301			1,060	68,44	39,89	41,88
19	4,66538	0,05155			1,121	89,45	52,14	0,70
20	0,62457	0,46323			1,076	76,76	44,75	26,88
21	2,68370	0,00566	-2,48273	1,06032	1,012	29,24	17,05	89,39
22	1,19895	0,98810	0,56293		1,014	29,53	17,21	89,18
23	1,49202	0,96668	0,44761		1,017	31,81	18,54	87,44

Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-4,90237	11,24144				27,60	19,75	85,45
2	-0,89551	0,89144				28,08	20,09	85,46
3	4,47273	0,76697				30,35	21,71	83,01
4	89,07988	0,02073				32,26	23,09	80,80
5	89,75216	0,01818				32,85	23,51	80,10
6	46,66813	1,63505	-0,39024			36,26	25,95	75,75

TABELA 5 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE POTÁSSIO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

conclusão								
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
7	29,08268	1,63130	1,39414			27,48	19,66	86,08
8	-490,53328	127,22099				42,08	30,11	67,35
9	-474,78641	121,44263				43,85	31,38	64,53
10	-366,45988	68,29822				40,18	28,75	70,23
11	2,50230	0,94625			1,022	28,75	20,57	84,76
12	0,21223	0,93163			1,016	29,17	20,87	84,31
13	0,33747	0,88735			1,021	31,95	22,86	81,18
14	1,15558	0,49545			1,014	23,17	16,58	90,10
15	1,20972	0,48126			1,017	25,86	18,50	87,67
16	0,22511	1,15206	-0,21835		1,016	29,42	21,06	84,03
17	2,71665	0,21854			1,079	64,08	45,86	24,27
18	2,44090	0,19698			1,063	57,17	40,91	39,72
19	4,33069	0,06976			1,119	73,16	52,35	1,30
20	0,60424	0,44383			1,079	63,81	45,66	24,91
21	2,47532	0,00826	-2,70034	1,05941	1,011	23,02	16,47	90,23
22	0,85222	0,98434	0,62342		1,013	23,85	17,07	89,51
23	1,15825	0,96082	0,50264		1,017	26,07	18,66	87,46
Compartimento Copa								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-0,20679	2,48797				6,50	20,44	84,37
2	2,66626	0,18470				8,47	23,63	73,48
3	4,19770	0,15654				6,40	20,12	82,08
4	21,41848	0,00425				6,65	20,91	80,63
5	21,35702	0,00380				9,00	28,28	70,09
6	0,85276	1,23636	0,75947			6,57	20,65	84,06
7	1,77205	1,23510	0,67878			6,62	20,80	83,82
8	-102,66651	27,14329				10,22	32,12	61,41
9	-100,26734	26,10026				10,44	32,82	59,71
10	-79,77709	15,05513				9,25	29,08	68,39
11	0,91169	0,98866			1,025	6,51	20,47	84,34
12	-1,11270	0,89903			1,034	8,53	26,82	73,11
13	-1,03568	0,86497			1,037	8,69	27,31	72,10
14	-0,34306	0,49710			1,024	6,66	20,95	83,58
15	-0,30700	0,48529			1,026	6,93	21,78	82,27
16	-1,11670	0,83062	0,06777		1,034	8,51	26,76	73,23
17	0,70142	0,27329			1,068	13,39	42,09	33,76
18	0,53301	0,23176			1,052	11,62	36,54	50,08
19	3,59467	-0,03557			1,133	16,51	51,91	-0,78
20	0,70142	0,27329			1,068	13,39	42,09	33,76
21	1,00766	-0,00649	-1,44758	1,06384	1,021	6,60	20,74	83,91
22	0,18045	1,00553	0,27627		1,023	6,33	19,89	85,21
23	0,40716	0,99412	0,18868		1,024	6,45	20,28	84,62

TABELA 6 - EQUAÇÕES ARITMÉTICAS E LOGARÍTMICAS DESENVOLVIDAS PELO PROCEDIMENTO *FORWARD*, BEM COMO AS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO.

Equação aritmética	R ² _{aj.} (%)	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	FM
Ca(t) = -1,93333 + 20,305*G - 0,0175605*G.Dg ² - 0,0242506*N	98,47	11,47	6,34	-
Ca(l) = -1,03469 + 21,2345*G - 0,0195274*(G.Dg ²) - 0,00616103*(N.Dg)	98,80	7,72	5,76	-
Ca(c) = 0,873255 + 3,57795*G	90,13	7,21	15,36	-
Mg(t) = 0,083313 + 0,0850434*(G.h) + 0,0343331*(G.hd)	99,72	0,50	2,56	-
Mg(l) = 0,05719 + 0,0579052*(G.h) + 0,0233453*(G.hd)	99,72	0,34	2,55	-
Mg(c) = 0,0276019 + 0,0271591*(G.h) + 0,0109649*(G.hd)	99,72	0,16	2,56	-
N(t) = -1,90365 + 51,1136*G - 0,0386418*(G.Dg ²) - 0,0135136*(N.Dg)	99,41	14,1	3,91	-
N(l) = -2,592 + 3,11486*(G.h) - 0,109282*(G.h ²) - 0,00212541*(N.h)	98,64	13,68	6,14	-
N(c) = 0,840486 + 10,6234*G	87,55	24,32	17,68	-
P(t) = -0,471062 + 0,983226*G - 7,45189E-8*N ²	96,2	1,13	9,73	-
P(l) = -0,035135 + 0,658038*G - 0,000441659*(G.Dg ²) - 0,000659406*N	99,33	0,26	4,08	-
P(c) = -0,219328 + 0,44638*G - 3,5859E-8*N ²	94,82	0,60	11,50	-
K(t) = 0,608858 + 26,6987*G - 0,0219226*(G.Dg ²) - 0,00832135*(N.d)	99,26	7,73	4,51	-
K(l) = -2,51719 + 13,2897*G - 0,0146124*N	97,63	11,34	8,12	-
K(c) = -1,3697 + 2,71558*G - 2,34319E-7*N ²	91,27	4,86	15,28	-
Equações logarítmicas	R ² _{aj.} (%)	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	FM
Ln(Ca(t)) = 1,41233 + 0,49573*Ln(G ² .h)	99,33	7,58	5,65	1,016
Ln(Ca(l)) = 2,1883 - 0,00296893*(Dg ²) + 0,506878*Ln(G ² .d) - 6,43296*(1/Dg)	99,33	7,62	5,67	1,002
Ln(Ca(c)) = 1,25036 + 1,01255*Ln(G)	89,96	7,26	15,47	1,012
Ln(Mg(t)) = -2,11807 + 0,285993*Ln(d.hd) + 0,71375*Ln(G.h)	81,3	4,10	20,92	1,000
Ln(Mg(l)) = -2,50493 + 0,281486*Ln(d.hd) + 0,71881*Ln(G.h)	81,84	2,75	20,66	1,000
Ln(Mg(c)) = -3,25887 + 0,282929*Ln(d.hd) + 0,716823*Ln(G.h)	99,72	0,16	2,56	1,000
Ln(N(t)) = 2,11963 + 0,493726*Ln(G ² .h)	91,27	54,38	15,10	1,010
Ln(N(l)) = 1,62206 + 0,508318*Ln(G ² .d)	94,75	26,88	12,07	1,006
Ln(N(c)) = 2,3493 + 1,00172*Ln(G)	87,56	24,32	17,69	1,017
Ln(P(t)) = -1,30908 + 0,493192*Ln(G ² .h)	90,37	1,80	15,52	1,011
Ln(P(l)) = -1,89856 + 0,491839*Ln(G ² .h)	91,89	0,90	14,14	1,009
Ln(P(c)) = -2,11488 + 0,49431*Ln(G ² .h)	88,29	0,91	17,29	1,015
Ln(K(t)) = 1,39823 + 0,502736*Ln(G ² .d)	89,26	29,42	17,15	1,013
Ln(K(l)) = 1,16486 + 0,506717*Ln(G ² .d)	91,24	21,79	15,59	1,010
Ln(K(c)) = -0,342802 + 0,497069*Ln(G ² .h)	83,58	6,66	20,95	1,024

APÊNDICE IV

TABELA 1 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE FERRO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,00062	0,26800				0,53	15,41	90,36
2	0,34174	0,01970				0,82	23,75	77,10
3	0,42186	0,01716				0,82	23,89	76,85
4	2,31844	0,00046				0,87	25,13	74,38
5	2,32637	0,00041				0,86	24,99	74,67
6	3,44897	-26,62637	-18,51767			1,71	49,74	-0,38
7	3,44897	-622,10386	-7200,60785			1,72	49,74	-0,39
8	-10,84703	2,88564				1,03	29,76	64,06
9	-10,64668	2,78557				1,04	30,29	62,78
10	-8,50264	1,61254				0,90	26,08	72,41
11	-1,30283	0,99016			1,012	0,53	15,43	90,34
12	-3,24588	0,88336			1,025	0,83	24,04	76,55
13	-3,19205	0,85421			1,027	0,84	24,40	75,85
14	-2,52458	0,49315			1,014	0,58	16,84	88,49
15	-2,49775	0,48262			1,015	0,61	17,66	87,35
16	-3,25799	0,67604	0,20537		1,025	0,82	23,90	76,82
17	-1,58327	0,28093			1,052	1,34	38,74	39,11
18	-1,73268	0,23629			1,037	1,13	32,79	56,38
19	1,27129	-0,04019			1,116	1,48	49,84	-0,81
20	-4,29845	0,57051			1,051	1,32	38,35	40,35
21	-1,22283	-0,00578	-1,02934	1,04516	1,011	0,53	15,38	90,40
22	-1,80764	1,00181	0,19072		1,012	0,52	14,99	90,88
23	-1,63330	0,99374	0,12359		1,012	0,53	15,34	90,46
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	-0,01307	0,23233				0,44	14,71	91,22
2	0,25431	0,01725				0,67	22,48	79,50
3	0,32881	0,01501				0,68	22,76	78,97
4	1,98606	0,00041				0,71	23,97	76,67
5	1,99393	0,00036				0,71	23,89	76,83
6	2,97636	-26,62637	-18,51767			1,48	49,73	-0,38
7	2,97636	-622,10386	-7200,60785			1,48	49,73	-0,39
8	-9,48317	2,51495				0,87	29,21	65,38
9	-9,29646	2,42534				0,89	29,81	63,93
10	-7,38715	1,39827				0,77	25,73	73,14
11	-1,43181	0,98343			1,011	0,44	14,78	91,14
12	-3,41167	0,88745			1,022	0,68	22,86	78,79
13	-3,35184	0,85703			1,023	0,70	23,38	77,81
14	-2,66594	0,49258			1,011	0,46	15,57	90,16
15	-2,63690	0,48177			1,013	0,49	16,57	88,85
16	-3,42168	0,71610	0,16974		1,022	0,68	22,75	78,99
17	-1,65053	0,27283			1,053	1,17	39,16	37,75
18	-1,81541	0,23111			1,038	0,99	33,28	55,04

continua

TABELA 1 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE FERRO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

								conclusão
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
19	1,27129	-0,04019			1,116	1,48	49,84	-0,81
20	-4,28577	0,55388			1,052	1,16	38,81	38,87
21	-1,37258	-0,00337	-1,20036	1,04309	1,009	0,43	14,29	91,71
22	-2,06802	0,99811	0,24037		1,010	0,42	14,02	92,02
23	-1,88491	0,98834	0,16945		1,010	0,43	14,53	91,44
Compartimento Copa								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,01370	0,03567				0,11	22,96	79,93
2	0,08743	0,00244				0,15	32,78	59,12
3	0,09305	0,00215				0,15	32,29	60,29
4	0,33237	0,00006				0,16	33,56	57,11
5	0,33244	0,00005				0,16	33,17	58,10
6	0,47262	-26,62637	-18,51767			0,24	51,35	-0,38
7	0,47262	-622,10386	-7200,60785			0,24	51,35	-0,39
8	-1,36386	0,37069				0,17	35,23	52,76
9	-1,35021	0,36023				0,17	35,36	52,40
10	-1,11549	0,21427				0,15	30,81	63,85
11	-3,42828	1,03685			1,036	0,11	23,46	79,06
12	-5,09687	0,85112			1,066	0,15	32,76	59,14
13	-5,09216	0,83235			1,065	0,15	32,42	59,99
14	-4,55624	0,49597			1,046	0,13	26,60	73,07
15	-4,54774	0,48785			1,047	0,13	26,70	72,85
16	-5,12621	0,34906	0,49734		1,065	0,15	32,40	60,02
17	-4,16841	0,34040			1,055	0,18	38,43	43,79
18	-4,20179	0,27412			1,043	0,15	32,37	60,11
19	0,32015	-0,16850			1,144	0,24	51,60	-1,35
20	-7,46958	0,69245			1,054	0,18	37,72	45,84
21	-3,20420	-0,02266	0,24260	1,05584	1,035	0,11	23,40	79,16
22	-2,97010	1,02627	-0,17311		1,035	0,11	23,43	79,10
23	-2,87468	1,03085	-0,20703		1,035	0,11	23,27	79,38

TABELA 2 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE ZINCO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,11728	0,00414				0,06	38,05	12,76
2	0,10196	0,00043				0,06	35,85	22,54
3	0,10527	0,00037				0,06	36,11	21,42
4	0,15535	0,00001				0,07	39,11	7,81
5	0,15576	0,00001				0,07	36,18	7,51
6	0,17055	-22,73778	-27,78031			0,07	40,82	-0,39

continua

TABELA 2 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE ZINCO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

continuação								
Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
7	0,17055	-22,73778	-27,78031			0,07	40,82	-0,39
8	-0,23374	0,08160				0,06	33,86	30,92
9	-0,22560	0,07828				0,06	34,10	29,92
10	-0,13249	0,04089				0,06	34,56	28,04
11	-3,06089	0,48993			1,075	0,06	37,14	16,88
12	-4,55400	0,54441			1,066	0,06	34,94	26,43
13	-4,47172	0,51674			1,068	0,060	35,12	25,67
14	-3,88529	0,27368			1,069	0,06	35,85	22,54
15	-3,85169	0,26535			1,070	0,06	35,95	22,11
16	-4,54307	0,73151	-0,18534		1,066	0,06	35,05	26,00
17	-2,78939	0,09654			1,094	0,07	39,87	4,22
18	-2,97641	0,09239			1,090	0,07	39,22	7,30
19	-2,48060	0,08755			1,099	0,07	40,35	1,91
20	-3,73646	0,19752			1,094	0,07	39,86	4,29
21	-3,06501	0,00710	-3,23077	0,62902	1,059	0,06	35,44	24,34
22	-4,74384	0,52878	0,63584		1,066	0,06	34,82	26,95
23	-4,58643	0,50647	0,57051		1,068	0,06	35,06	25,92
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,07767	0,00272				0,04	36,97	13,30
2	0,06827	0,00028				0,04	34,89	22,79
3	0,07028	0,00024				0,04	35,11	21,79
4	0,10274	0,00000				0,04	38,07	8,05
5	0,10300	0,00000				0,04	38,13	7,76
6	0,11266	-22,73778	-27,78031			0,04	39,78	-0,39
7	0,11266	-22,73778	-27,78031			0,04	39,78	-0,39
8	-0,14792	0,05260				0,04	32,98	30,99
9	-0,14409	0,05074				0,04	33,14	30,32
10	-0,08444	0,02659				0,04	33,56	28,62
11	-3,47611	0,49215			1,069	0,04	36,07	17,47
12	-4,90711	0,53297			1,061	0,04	34,00	26,69
13	-4,84935	0,51039			1,062	0,04	34,15	26,05
14	-4,27577	0,27107			1,063	0,04	34,85	22,97
15	-4,25206	0,26410			1,064	0,04	34,93	22,61

continua

TABELA 2 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE ZINCO EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

								conclusão
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
16	-4,90495	0,57002	-0,03670		1,061	0,04	34,07	26,38
17	-3,26217	0,10306			1,087	0,04	38,75	4,74
18	-3,43383	0,09632			1,082	0,04	38,10	7,95
19	-2,77310	0,07109			1,094	0,04	39,36	1,72
20	-4,26238	0,20972			1,087	0,04	38,75	4,78
21	-3,50846	0,00914	-2,86757	0,61182	1,056	0,04	34,30	25,38
22	-4,98106	0,52688	0,56859		1,061	0,04	33,99	26,74
23	-4,88275	0,50740	0,52604		1,063	0,04	34,18	25,92
Compartimento Copa								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,03961	0,00142				0,02	42,08	10,84
2	0,03370	0,00015				0,02	39,78	20,29
3	0,03499	0,00013				0,02	40,09	19,08
4	0,05261	0,00000				0,02	43,03	6,76
5	0,05277	0,00000				0,02	43,09	6,48
6	0,05788	-22,73778	-27,78031			0,07	40,82	-0,39
7	0,05788	-22,73778	-27,78031			0,07	40,82	-0,39
8	-0,08582	0,02901				0,02	37,73	28,31
9	-0,08150	0,02755				0,02	38,12	26,83
10	-0,04805	0,01429				0,02	38,64	24,82
11	-4,13567	0,47841			1,111	0,02	41,19	14,56
12	-5,78232	0,56969			1,096	0,02	38,96	23,56
13	-5,63245	0,52813			1,100	0,02	39,15	22,83
14	-5,01871	0,27777			1,102	0,02	39,89	19,89
15	-4,95781	0,26575			1,104	0,02	40,00	19,45
16	-5,74700	1,17434	-0,59896		1,095	0,02	39,31	22,18
17	-3,69790	0,07639			1,132	0,03	43,84	3,21
18	-3,92812	0,07990			1,128	0,03	43,24	5,84
19	-3,91362	0,13386			1,129	0,03	44,40	0,72
20	-4,47528	0,15924			1,132	0,03	43,82	3,33
21	-4,06864	0,00207	-4,19849	0,66867	1,082	0,02	40,44	17,64
22	-6,28761	0,52807	0,81302		1,095	0,02	38,73	24,46
23	-4,88275	0,50740	0,52604		1,063	0,04	38,92	23,72

TABELA 3 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MANGANÊS EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	1,19175	0,03939				0,65	38,45	11,53
2	1,05624	0,00407				0,62	36,63	19,75
3	1,06687	0,00358				0,62	36,55	20,06
4	1,57377	0,00005				0,68	39,82	5,16
5	1,57439	0,00005				0,68	39,81	5,20
6	1,69864	-21,71167	-23,42610			0,70	40,96	-0,39
7	1,69861	-21,71167	-23,42610			0,70	40,96	-0,39
8	-2,28675	0,80444				0,58	34,19	30,06
9	-2,33223	0,79657				0,58	33,96	31,02
10	-1,34124	0,41014				0,59	34,63	28,24
11	-0,87005	0,53330			1,072	0,64	37,74	14,80
12	-2,37439	0,56819			1,064	0,61	35,89	22,94
13	-2,40188	0,56171			1,063	0,61	35,75	23,54
14	-1,71741	0,29115			1,066	0,62	36,72	19,34
15	-1,72922	0,28862			1,066	0,62	36,66	19,62
16	-2,40545	0,03655	0,52663		1,063	0,61	35,82	23,23
17	-0,93025	0,14191			1,086	0,67	39,19	8,14
18	-1,03576	0,12183			1,082	0,66	38,64	10,68
19	0,34592	0,01328			1,104	0,70	40,95	-0,31
20	-2,29015	0,28696			1,086	0,67	39,19	8,12
21	-1,15019	0,03215	-2,14753	0,58926	1,064	0,62	36,26	21,34
22	-2,37601	0,56805	0,56897		1,065	0,61	35,96	22,64
23	-2,51956	0,55118	0,61687		1,063	0,61	35,66	23,91
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,76199	0,02446				0,44	40,49	10,09
2	0,58695	0,00310				0,39	36,66	26,31
3	0,60779	0,00266				0,40	36,90	25,32
4	0,98447	0,00004				0,44	41,29	6,52
5	0,98679	0,00003				0,45	41,34	6,29
6	1,07671	-21,71167	-23,42610			0,46	42,79	-0,39
7	1,07671	-21,71167	-23,42610			0,46	42,79	-0,39
8	-1,82186	0,58507				0,37	34,07	36,36
9	-1,79255	0,56702				0,37	34,19	35,91
10	-0,97306	0,27656				0,39	35,90	29,31
11	-1,23533	0,49332			1,084	0,43	39,60	13,99
12	-3,07831	0,61671			1,065	0,38	35,67	30,24
13	-3,04516	0,59723			1,066	0,39	35,83	29,62
14	-2,20586	0,29451			1,073	0,41	37,66	22,24
15	-2,19477	0,28888			1,073	0,41	37,72	22,00
16	-3,08842	0,44358	0,17149		1,065	0,38	35,74	29,96

continua

TABELA 3 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MANGANÊS EM KG.HA^{-1} , PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

								conclusão
Compartimento Lenha								
Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	FM	S_{yx} (kg.ha^{-1})	S_{yx} (%)	R^2_{aj} (%)
17	-0,86350	0,08701			1,105	0,46	42,34	1,71
18	-1,07895	0,08714			1,100	0,45	41,77	4,32
19	-0,91412	0,12508			1,105	0,44	41,22	6,81
20	-1,69615	0,17582			1,105	0,46	42,35	1,67
21	-1,63993	0,04765	-3,68699	0,59943	1,060	0,37	34,73	33,87
22	-3,84521	0,55355	0,98604		1,061	0,36	33,79	37,40
23	-3,88516	0,52204	0,99096		1,061	0,36	33,74	37,58
Compartimento Copa								
Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	FM	S_{yx} (kg.ha^{-1})	S_{yx} (%)	R^2_{aj} (%)
1	0,42976	0,01493				0,26	41,96	10,47
2	0,46929	0,00097				0,27	42,81	6,82
3	0,45909	0,00092				0,26	42,49	8,22
4	0,58930	0,00001				0,27	43,90	2,01
5	0,58760	0,00001				0,27	43,83	2,31
6	0,62190	-21,71167	-23,42610			0,28	44,44	-0,39
7	0,62190	-21,71167	-23,42610			0,28	44,44	-0,39
8	-0,46489	0,21937				0,26	41,14	13,99
9	-0,53968	0,22955				0,25	40,61	16,15
10	-0,36818	0,13358				0,25	39,95	18,87
11	-2,06998	0,60778			1,077	0,26	41,95	10,55
12	-2,97945	0,48506			1,090	0,27	42,72	7,21
13	-3,11067	0,50082			1,086	0,26	42,36	8,76
14	-2,70279	0,28690			1,082	0,26	42,28	9,11
15	-2,75358	0,28961			1,080	0,26	42,09	9,93
16	-3,04633	-0,65967	1,13395		1,085	0,26	42,02	10,24
17	-2,90415	0,24098			1,069	0,24	38,79	23,51
18	-2,81337	0,18461			1,068	0,24	39,21	21,85
19	0,75116	-0,18634			1,103	0,26	41,75	11,39
20	-5,21874	0,48785			1,068	0,24	38,74	23,72
21	-2,10770	0,00266	0,51706	0,58047	1,077	0,26	41,85	10,95
22	-1,61640	0,59731	-0,17137		1,077	0,26	41,85	10,98
23	-1,93246	0,60629	-0,05143		1,077	0,26	42,01	10,27

TABELA 4 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE COBRE EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

Biomassa aérea total								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,28187	0,01038				0,18	43,06	10,69
2	0,20540	0,00132				0,16	38,55	28,39
3	0,21985	0,00110				0,16	39,25	25,79
4	0,36838	0,00002				0,18	43,31	9,64
5	0,37022	0,00002				0,18	43,46	9,02
6	0,41400	-19,79311	-12,91961			0,19	45,65	-0,38
7	0,41399	-35,11369	-12,92073			0,19	45,65	-0,38
8	-0,75024	0,23500				0,15	36,78	34,83
9	-0,70198	0,22054				0,16	37,50	32,24
10	-0,38874	0,10831				0,16	39,01	26,68
11	-2,06579	0,43589			1,113	0,17	42,18	14,31
12	-4,04629	0,61598			1,087	0,16	37,62	31,84
13	-3,85652	0,56557			1,092	0,16	38,21	29,66
14	-3,06894	0,27987			1,099	0,16	39,84	23,54
15	-2,99385	0,26594			1,101	0,17	40,11	22,52
16	-3,04256	1,27596	-0,98554		1,095	0,17	39,99	22,96
17	-1,13502	0,01453			1,134	0,19	45,58	-0,10
18	-1,49139	0,04100			1,132	0,19	45,15	1,82
19	-2,81832	0,25599			1,105	0,18	42,56	12,74
20	-1,29700	0,03178			1,134	0,19	45,58	-0,08
21	-2,18184	0,02309	-5,60745	0,66296	1,062	0,15	36,55	35,66
22	-5,32087	0,51101	1,22980		1,076	0,15	35,59	38,98
23	-4,95534	0,46721	1,08061		1,085	0,15	36,27	36,64
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,19911	0,00737				0,13	45,17	9,85
2	0,13498	0,00100				0,12	39,84	29,84
3	0,14689	0,00083				0,12	40,71	26,75
4	0,25841	0,00001				0,13	45,09	10,12
5	0,25995	0,00001				0,13	45,28	9,38
6	0,29290	-19,79311	-12,91961			0,13	47,66	-0,39
7	0,29290	-19,79311	-12,91961			0,13	47,66	-0,39
8	-0,57201	0,17458				0,11	38,28	35,24
9	-0,53148	0,16291				0,11	39,16	32,24
10	-0,28848	0,07844				0,12	41,02	25,63
11	-2,37251	0,41556			1,128	0,13	44,36	13,03
12	-4,51013	0,63761			1,097	0,11	38,94	32,98
13	-4,28927	0,58060			1,103	0,12	39,71	30,30
14	-3,43205	0,28074			1,112	0,12	41,68	23,23
15	-3,34513	0,26522			1,115	0,12	42,01	22,02
16	-3,40083	1,45940	-1,16618		1,107	0,12	41,82	22,71

continua

TABELA 4 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE COBRE EM KG.HA⁻¹, PRESENTE NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGAIS. (COEFICIENTES EM NEGRITO NÃO SÃO SIGNIFICATIVOS A 95% DE PROBABILIDADE)

								conclusão
Compartimento Lenha								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
17	-1,21439	-0,01417			1,148	0,14	47,75	-0,75
18	-1,62878	0,02290			1,148	0,14	47,43	0,56
19	-3,58316	0,31329			1,104	0,13	42,89	18,69
20	-1,09798	-0,02662			1,148	0,14	47,74	-0,72
21	-2,54139	0,02988	-6,35868	0,66815	1,063	0,11	36,53	41,03
22	-6,14827	0,50270	1,42652		1,078	0,10	35,80	43,37
23	-5,72681	0,45192	1,25441		1,090	0,11	36,69	40,51
Compartimento Copa								
Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	FM	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	R ² _{aj} (%)
1	0,08275	0,00301				0,05	40,64	11,71
2	0,07042	0,00032				0,05	38,29	21,64
3	0,07296	0,00027				0,05	38,57	20,49
4	0,10997	0,00000				0,05	41,63	7,35
5	0,11027	0,00000				0,05	41,69	7,07
6	0,12109	-19,79311	-12,91961			0,05	43,33	-0,38
7	0,12109	-19,79311	-12,91961			0,05	43,34	-0,38
8	-0,17823	0,06042				0,04	36,24	29,81
9	-0,17051	0,05763				0,04	36,57	28,51
10	-0,10026	0,02987				0,04	37,13	26,30
11	-3,40975	0,48776			1,091	0,05	39,74	15,57
12	-5,00942	0,56484			1,078	0,05	37,39	25,28
13	-4,89614	0,53061			1,081	0,05	37,59	24,49
14	-4,27730	0,27878			1,083	0,05	38,38	21,28
15	-4,23134	0,26873			1,084	0,05	38,49	20,82
16	-4,26283	0,82513	-0,54057		1,082	0,05	38,53	20,64
17	-3,04362	0,08618			1,111	0,05	42,52	3,38
18	-3,25622	0,08625			1,106	0,05	41,89	6,19
19	-3,02427	0,11414			1,112	0,05	42,83	1,95
20	-3,90123	0,17761			1,111	0,05	42,49	3,47
21	-3,39162	0,00605	-3,78370	0,65366	1,068	0,05	38,25	21,81
22	-5,39036	0,53347	0,74830		1,077	0,04	37,06	26,60
23	-5,16266	0,50676	0,65554		1,081	0,05	37,30	25,62

TABELA 5 - EQUAÇÕES ARITMÉTICAS E LOGARÍTMICAS DESENVOLVIDAS PELO PROCEDIMENTO *FORWARD*, BEM COMO AS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO.

Equações aritméticas	R ² _{aj.} (%)	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	FM
Mn(t) = -2,33331 + 0,796815*Ln(d.hd)	31,02	0,58	33,96	-
Mn(l) = -2,68691 + 0,505092*Ln(G.h ²)	40,49	0,35	32,95	-
Mn(c) = -0,563834 + 0,122764*Ln(G.N)	31,21	0,23	36,77	-
Zn(t) = -0,234046 + 0,081657*Ln(G.h)	31,11	0,06	33,73	-
Zn(l) = -0,147233 + 0,0524405*Ln(G.h)	30,58	0,04	33,20	-
Zn(c) = -0,0887224 + 0,0296329*Ln(G.h)	29,24	0,02	37,69	-
Fe(t) = -0,00230394 + 0,376688*G - 0,000355467*(G.Dg ²) - 0,000394364*N	99,04	0,17	4,87	-
Fe(l) = -0,101628 + 0,249636*G - 1,78039E-8*N ²	96,16	0,29	9,73	-
Fe(c) = 0,0133516 + 0,0356919*G	79,95	0,11	22,97	-
Cu(t) = -1,15104 + 0,21004*Ln(G.h ²)	41,53	0,14	34,88	-
Cu(l) = -0,61427 + 0,126635*Ln(G.Dg ²)	46,80	0,10	34,72	-
Cu(c) = -0,17816 + 0,0604232*Ln(G.h)	29,96	0,04	36,11	-
Equações logarítmicas	R ² _{aj.} (%)	S _{yx} (kg.ha ⁻¹)	S _{yx} (%)	FM
Ln(Mn(t)) = 0,898635 - 4,76171*(1/G)	27,04	0,59	34,92	1,061
Ln(Mn(l)) = -3,93475 + 0,525005*Ln(G.h ²)	38,42	0,36	33,51	1,061
Ln(Mn(c)) = -0,0576895 - 5,39074*(1/G)	26,11	0,24	38,12	1,063
Ln(Zn(t)) = -4,55389 + 0,544348*Ln(G.h)	26,44	0,06	34,94	1,066
Ln(Zn(l)) = -1,8451 - 4,38105*(1/G)	25,85	0,04	34,19	1,059
Ln(Zn(c)) = -6,4714 + 0,471302*Ln(G.h ²)	24,02	0,02	38,85	1,095
Ln(Fe(t)) = -1,43213 + 1,0589*Ln(G) - 5,27804E-9*N ²	94,24	0,41	11,92	1,008
Ln(Fe(l)) = -0,508702 - 0,00196487*Dg ² + 1,00151*Ln(G) - 6,82752*(1/Dg)	99,39	0,12	3,85	1,001
Ln(Fe(c)) = -3,42842 + 1,03699*Ln(G)	79,05	0,11	23,46	1,036
Ln(Cu(t)) = -4,0803 + 0,677021*Ln(G.l)	24,25	0,16	39,65	1,073
Ln(Cu(l)) = -4,79759 + 0,486417*Ln(G.d ²)	36,01	0,11	38,05	1,072
Ln(Cu(c)) = -5,01004 + 0,564969*Ln(G.h)	25,28	0,05	37,39	1,078