

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SAULO JORGE TÉO

QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA
BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Bentham)

CURITIBA
2009

SAULO JORGE TÉO

QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA
BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Bentham)

Dissertação apresentada ao curso 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. Sebastião do Amaral Machado

Co-orientadores: Prof. Carlos Bruno Reissmann
Prof. Afonso Figueiredo Filho

CURITIBA
2009

Ao meu pai, Genesio Téo e à minha mãe Alzira Suzin.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Sebastião do Amaral Machado, pela firme e dedicada orientação, pela harmoniosa convivência durante anos e pelo exemplo de vida, que levarei comigo para sempre.

Aos Co-orientadores, Professor Afonso Figueiredo Filho e Carlos Bruno Reissmann, pelas valiosas sugestões feitas sempre com muita atenção e paciência.

Ao Professor Décio José de Figueiredo, por fazer despertar em mim o interesse pela dendrometria, pela amizade e convívio diário.

Aos colegas do Laboratório de Dendrometria: Edilson Urbano, Rafael Rode, Marco Aurélio Figura, Luís César Rodrigues da Silva, Alan Lessa Derci Augustynczick, Rodrigo Geroni Mendes Nascimento e Eder Pereira Miguel, muito obrigado pela amizade e união no trabalho.

Aos Professores do curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná: Julio Eduardo Arce, Sylvio Péllico Netto, Henrique Soares Koehler e Renato Marques, com quem tanto aprendi.

Aos meus pais Genesio Téo e Alzira Suzin e à minha irmã Jucielly Carla Téo, pelo apoio e compreensão.

RESUMO

Esta dissertação teve como objetivo quantificar e modelar os nutrientes da biomassa aérea de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) sob diferentes classes de sítio, de idade e de diâmetro. Os dados para realização deste estudo provieram de 25 árvores amostradas em bracatingais nativos da porção norte da região metropolitana de Curitiba, no estado do Paraná. As árvores foram derrubadas e seccionadas nos compartimentos: folhas, galhos < 4 cm, galhos \geq 4 cm, madeira e casca. Em seguida, foi tomada uma amostra de cada compartimento da biomassa para determinação do peso seco em laboratório. Posteriormente, foi realizada análise química para determinação das concentrações dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn em cada compartimento da biomassa aérea. Para avaliar os efeitos dos diferentes compartimentos da biomassa, classes de sítio, idade e diâmetro sobre as concentrações e conteúdos de nutrientes, foram utilizados delineamentos estatísticos inteiramente casualizados, sendo que a análise estatística constituiu-se do teste de Bartlett, análise de variância e teste de Tukey. Visando a obtenção de estimativas do conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa da árvore por meio de variáveis dendrométricas, foram ajustados vários modelos matemáticos, dentre eles, modelos tradicionalmente encontrados na literatura florestal, modelos formulados especificamente para este estudo e resultantes do procedimento estatístico *stepwise*. Os resultados encontrados neste estudo indicaram que a maioria dos nutrientes apresentou a seguinte ordem decrescente de concentração relativa aos diferentes compartimentos da biomassa: folhas > casca > galhos > madeira. De maneira geral, a ordem das concentrações dos nutrientes analisados para a maioria dos compartimentos da biomassa foi: N > Ca > K > Mg > P > Mn > Fe > Cu > Zn. Dentre os fatores sítio, idade e diâmetro, o único que apresentou efeitos com significância e consistência sobre as concentrações de alguns nutrientes foi o sítio. Foi constatado que as concentrações de fósforo e potássio foliares foram diretamente proporcionais aos níveis de produtividade dos bracatingais (classes de sítio). Quanto aos conteúdos de nutrientes, a madeira foi o compartimento da biomassa aérea de bracatinga que acumulou a maior quantidade de nutrientes, se a lenha de bracatinga for considerada, há um acúmulo de 70% do conteúdo de nutrientes da biomassa aérea, evidenciando o grande potencial de exportação de nutrientes dos bracatingais. Dentre os fatores analisados, o diâmetro foi o único que apresentou influência significativa e clara sobre os diferentes conteúdos de nutrientes nos compartimentos da biomassa da árvore, que foram diretamente proporcionais ao aumento dos diâmetros. Resultados mais consistentes dos efeitos do sítio, idade e diâmetro sobre as concentrações e conteúdos de nutrientes poderiam ter sido alcançados com a ampliação da amostragem ou com maior rigor no controle das interações entre esses três fatores. De maneira geral, os macronutrientes apresentaram boas relações com as variáveis dendrométricas, resultando em equações satisfatórias. Entretanto, o mesmo não ocorreu para os micronutrientes, exceto para cobre e ferro em alguns compartimentos da biomassa. Geralmente, as equações desenvolvidas apresentaram melhores ajustes para os compartimentos da biomassa do fuste e quando o conteúdo de nutrientes foi considerado somando-se os compartimentos da biomassa (folhas + galhos < 4 cm, lenha e toda a biomassa aérea). Em alguns casos, a inserção de dimensões da copa e do fuste, idade (I) e altura dominante (h_{dom}) como variáveis independentes,

melhoraram a qualidade dos ajustes das equações para a estimativa do conteúdo de nutrientes.

Palavras-chave: Quantificação de nutrientes. Bracatingais nativos. Equações do conteúdo de nutrientes.

ABSTRACT

The aims of this dissertation were to quantify and to modelling the nutrients in above-ground biomass for *Mimosa scabrella* Benthham under different site, age and diameter classes. The data for this research came from 25 trees sampled into native *Mimosa scabrella* stands of the northern Curitiba metropolitan region, Paraná State, Brazil. The trees were cut down and their components were separated in: leaves, twigs, branches, stem wood and bark. Then, a sample of each component was taken to obtain dry matter. Later on, chemical analysis was proceeded to determine N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn concentrations for each tree component. To evaluate tree component, site, age and diameter effects over nutrient concentrations and nutrient contents, a completely random experimental design was used, where the statistical analysis was constituted by Bartlett's test, analysis of variance and Tukey's test. Several mathematical models were fitted intending to obtain nutrient content estimates for different tree components using tree dimensions, being them: traditional volume models found in the literature, mathematical models specifically built for this work and built by stepwise procedure. The results found in this research indicated that the major of nutrient concentrations presented a decreasing order relative to different tree component as follow: leaves > stem bark > twigs > branches > stem wood. In a general way, the decreasing order of nutrient concentration for the major of tree components was: N > Ca > K > Mg > P > Mn > Fe > Cu > Zn. Considering stie, age and diameter effects over nutrient concentrations, only the site classes showed a significant and coherent influence over some nutrient concentrations. It was verified that P and K leaf concentrations increased with site quality. The nutrient content of the stem wood presented the largest quantity of nutrients, but if firewood of *Mimosa scabrella* was considered, it owns 70% of total above-ground biomass nutrient content. It turns clear the great *Mimosa scabrella* stands potential of nutrient losses at crop (harvest). For the nutrient content in the tree components, only the diameter classes presented a significant and coherent influence. The nutrient content increases with the diameter classes. Perhaps, better results of the the site, age and diameter effects over nutrient concentration and content could be found if more trees and stands had been sampled, or with a severe control of the site, age and diameter interrelationships. In a general way, the macronutrient contents were well correlated with tree dimensions, and acceptable equations were derived. However, the same did not occur to the micronutrients, except for Cu and Fe for some tree components. Generally, nutrient content equations presented better performances to the bole components and to the added tree components (leaves + twigs, firewood and total above-ground biomass). In some cases, the insert of bole and crown dimensions, age and dominant height as independent variables improve the nutrient content equations.

Key words: Nurient quantification. *Mimosa scabrella* stands. Nutrient content equations.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (RMC), COM OS QUATRO MUNICÍPIOS ONDE ESTÁ LOCALIZADA A ÁREA DE ESTUDO	41
FIGURA 2	- MEDIÇÃO DO DIÂMETRO E PESAGEM DAS FOLHAS DA ÁRVORE AMOSTRADA	45
FIGURA 3	- AMOSTRAS DE CADA UM DOS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DA ÁRVORE. DA ESQUERDA PARA A DIREITA TÊM-SE AS AMOSTRAS DO FUSTE, GALHOS ≥ 4 cm, GALHOS < 4 cm, E FOLHAS	46
FIGURA 4	- PESAGEM DAS AMOSTRAS, SECAGEM EM ESTUFA DE VENTILAÇÃO FORÇADA (65°C) E MOAGEM NOS EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES DA UFPR.....	47
FIGURA 5	- DIFERENTES ETAPAS DA DIGESTÃO VIA SECA REALIZADA PARA DETERMINAÇÃO DOS NUTRIENTES. PESAGEM DAS AMOSTRAS A SEREM ANALISADAS, QUEIMA EM MUFLA (500°C) E FILTRAGEM DAS AMOSTRAS	48
FIGURA 6	- DIFERENTES ETAPAS DA DIGESTÃO SULFÚRICA REALIZADA PARA DETERMINAÇÃO DO NITROGÊNIO. PESAGEM DAS AMOSTRAS A SEREM ANALISADAS, ADIÇÃO DO ÁCIDO SULFÚRICO E ALOCAÇÃO DAS AMOSTRAS NO BLOCO DIGESTOR	48
FIGURA 7	- DESTILADOR DE NITROGÊNIO E ESPECTROFOTÔMETROS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DOS NUTRIENTES	49
FIGURA 8	- PROPORÇÃO MÉDIA DOS NUTRIENTES ACUMULADOS POR COMPONENTE DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA, EM PORCENTAGEM COM RELAÇÃO AO CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES	84
FIGURA 9	- DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE FOLHAS E DE GALHOS MENORES DO QUE 4 cm DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	104
FIGURA 10	- DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm E MADEIRA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	105
FIGURA 11	- DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE CASCA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	106
FIGURA 12	- DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE FOLHAS + GALHOS MENORES DO QUE 4 cm E LENHA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	110
FIGURA 13	- DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) PARA TODA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	111
FIGURA 14	- DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE FOLHAS E GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	115

FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm E DE MADEIRA PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	116
FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE CASCA PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	117
FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE FOLHAS + GALHOS MENORES DO QUE 4 cm E LENHA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	121
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	122

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - MODELOS MATEMÁTICOS COM SEUS RESPECTIVOS AUTORES OU DENOMINAÇÕES ENCONTRADOS NA LITERATURA FLORESTAL	55
QUADRO 2 - MODELOS MATEMÁTICOS MODIFICADOS AJUSTADOS PARA OS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DA COPA DAS ÁRVORES	56
QUADRO 3 - MODELOS MATEMÁTICOS MODIFICADOS AJUSTADOS PARA OS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DO FUSTE DAS ÁRVORES	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- TEORES MÉDIOS DE MATÉRIA SECA (%) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA	61
TABELA 2	- PERCENTUAIS MÉDIOS DO PESO SECO DOS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA EM RELAÇÃO AO PESO SECO TOTAL PARA BRACATINGA	62
TABELA 3	- PESO SECO MÉDIO PARA CADA COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA E PARA O TOTAL, EM Kg POR ÁRVORE	63
TABELA 4	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DOS NUTRIENTES POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES	64
TABELA 5	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS	69
TABELA 6	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm	69
TABELA 7	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm	70
TABELA 8	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA	71
TABELA 9	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA	71
TABELA 10	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS	74
TABELA 11	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm	74
TABELA 12	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm	75
TABELA 13	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA	75
TABELA 14	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA	76
TABELA 15	- CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS	78

TABELA 16 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm	78
TABELA 17 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm	79
TABELA 18 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA	79
TABELA 19 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g.kg ⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg ⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA	80
TABELA 20 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA, EM g POR ÁRVORE PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES	82
TABELA 21 - PROPORÇÃO DOS NUTRIENTES ACUMULADOS POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA, EM PORCENTAGEM (%) COM RELAÇÃO AO CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES	83
TABELA 22 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS	85
TABELA 23 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm	86
TABELA 24 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm	86
TABELA 25 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA	87
TABELA 26 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA	88
TABELA 27 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, CONSIDERANDO TODA A BIOMASSA AÉREA DA BRACATINGA	88
TABELA 28 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS	90
TABELA 29 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm	91
TABELA 30 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm	91

TABELA 31 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA	92
TABELA 32 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA	92
TABELA 33 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, CONSIDERANDO TODA A BIOMASSA AÉREA DA BRACATINGA	93
TABELA 34 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS	95
TABELA 35 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm	96
TABELA 36 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm	96
TABELA 37 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA	97
TABELA 38 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA	97
TABELA 39 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, CONSIDERANDO TODA A BIOMASSA AÉREA DA BRACATINGA	98
TABELA 40 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) PARA ÁRVORES INDIVIDUAIS NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	102
TABELA 41 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) PARA OS COMPARTIMENTOS FOLHAS + GALHOS < 4 cm, LENHA E PARA A BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	109
TABELA 42 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) PARA ÁRVORES INDIVIDUAIS NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	114
TABELA 43 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) PARA OS COMPARTIMENTOS FOLHAS + GALHOS < 4 cm, LENHA E PARA A BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	120

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE 1 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO FOLHAS135
- APÊNDICE 2 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4cm135
- APÊNDICE 3 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4cm136
- APÊNDICE 4 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO MADEIRA136
- APÊNDICE 5 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO CASCA137
- APÊNDICE 6 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO FOLHAS137
- APÊNDICE 7 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm138
- APÊNDICE 8 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm138
- APÊNDICE 9 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO MADEIRA139
- APÊNDICE 10 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO CASCA139
- APÊNDICE 11 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO, CONSIDERANDO TODOS OS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA140
- APÊNDICE 12 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE FOLHAS DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA141
- APÊNDICE 13 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA142

APÊNDICE 14 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	143
APÊNDICE 15 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE MADEIRA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	144
APÊNDICE 16 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE CASCA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	145
APÊNDICE 17 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE FOLHAS MAIS GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	146
APÊNDICE 18 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA LENHA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	147
APÊNDICE 19 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	148
APÊNDICE 20 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE FOLHAS DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	149
APÊNDICE 21 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	150
APÊNDICE 22 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	151
APÊNDICE 23 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE MADEIRA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	152
APÊNDICE 24 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE CASCA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	153
APÊNDICE 25 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE FOLHAS MAIS GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	154
APÊNDICE 26 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA LENHA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	155
APÊNDICE 27 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	156

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE	20
3.2 BIOMASSA	24
3.3 NUTRIENTES	28
3.4 MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES	36
4 MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS	44
4.3 COLETA DOS DADOS EM CAMPO	44
4.4 PREPARAÇÃO DOS DADOS EM LABORATÓRIO	46
4.5 ANÁLISES QUÍMICAS	47
4.6 BIOMASSA	49
4.7 CONTEÚDO DE NUTRIENTES	50
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CONCENTRAÇÃO E DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES	51
4.9 MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES	51
4.9.1 Matriz de Correlação	53
4.9.2 Procedimento <i>Stepwise</i>	54
4.9.3 Modelos Matemáticos Tradicionais	55
4.9.4 Modelos Matemáticos Modificados	56
4.9.5 Seleção do Melhor Modelo Ajustado	57
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1 BIOMASSA	61
5.2 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES	63
5.2.1 Concentração de Nutrientes por Compartimento da Biomassa	63
5.2.2 Concentração de Nutrientes por Classe de Sítio	68
5.2.3 Concentração de Nutrientes por Classe de Idade	73
5.2.4 Concentração de Nutrientes por Classe Diamétrica	78

5.3 CONTEÚDO DE NUTRIENTES	81
5.3.1 Conteúdo de Nutrientes por Compartimento da Biomassa	81
5.3.2 Conteúdo de Nutrientes por Classe de Sítio	85
5.3.3 Conteúdo de Nutrientes por Classe de Idade	89
5.3.4 Conteúdo de Nutrientes por Classe Diamétrica	95
5.4 MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES	100
5.4.1 Matriz de Correlação	100
5.4.2 Melhores equações desenvolvidas para estimativa do conteúdo de macronutrientes na biomassa aérea de bracatinga	101
5.4.3 Melhores equações desenvolvidas para estimativa do conteúdo de micronutrientes na biomassa aérea de bracatinga	113
6 CONCLUSÕES	124
6.1 CONCENTRAÇÃO E CONTEÚDO DE NUTRIENTES NOS DIFERENTES COMPOARTIMENTOS DA BIOMASSA, CLASSES DE SÍTIO, IDADE E DIÂMETRO	124
6.2 MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES	125
7 RECOMENDAÇÕES	126
REFERÊNCIAS	127
APÊNDICES	135

1 INTRODUÇÃO

Desde a sua criação, a ciência florestal considera a continuidade e a persistência como os seus mais elevados princípios. A ciência florestal, interpretada nesse sentido, visa o interesse geral e um futuro melhor para a humanidade. Uma floresta, num solo florestal, não deve ser multiplicada e tratada à vontade como um produto industrial qualquer (PRODAN, 1977).

Independentemente da idade de rotação de uma floresta, a sua produção anual deve ser mantida perpetuamente, isso significa que a produção permanece constante. A imagem da rotação de uma floresta regulada deve ser similar ao movimento de um relógio juntamente com a idéia de uma produção constante e perpétua (BUONGIORNO; GILLESS, 1987).

Os parágrafos anteriores apontam a continuidade, persistência e preocupação com o futuro como os princípios da ciência florestal. E um dos fatores cruciais para a continuidade da capacidade produtiva de uma floresta são os nutrientes nela contidos, bem como os seus mais variados fluxos e transformações.

Entender os processos da ciclagem de nutrientes é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias de manejo, particularmente para determinar taxas de fertilização, métodos e números de aplicação (GONÇALVES *et al.*, 2004).

Baggio e Carpanezzi (1997a) chamaram a atenção para o fato de que o sistema agroflorestal da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) implica na exportação de nutrientes pela lenha, colheita de grãos das culturas agrícolas associadas e queima de resíduos pós-exploração. Além disso, em muitos casos, o número de rotações em um mesmo terreno é elevado e a adubação de reposição não é aplicada, causando decréscimos de produtividade. Todos esses fatores tornam ainda mais importante o conhecimento do conteúdo de nutrientes em diferentes compartimentos da biomassa da bracatinga, com diferentes dimensões, idades e em diferentes sítios.

A bracatinga é uma espécie tradicional da região metropolitana de Curitiba e de grande importância econômica, social e ambiental. É manejada sob um sistema agroflorestal tradicional, cujas principais características são: a regeneração induzida pelo fogo; o uso de rotações curtas, juntamente com o rápido crescimento da espécie; a associação com milho e feijão no primeiro ano de desenvolvimento do bracatingal; e a simplicidade das atividades que envolvem a silvicultura, bem como

os processos de corte, extração e carregamento da madeira do bracatingal. Essas características fazem com que a bracatinga seja manejada principalmente em pequenas propriedades rurais próximas a centros consumidores de lenha.

O conhecimento dos conteúdos de nutrientes acumulados na madeira e nos demais compartimentos da biomassa de bracatinga fornece a quantidade de nutrientes potencialmente exportados por meio da exploração da lenha, assim como a quantidade de nutrientes dos ramos e da folhagem que são afetados pelo fogo, orientando assim na sua reposição. A estimativa do conteúdo de macronutrientes em função de variáveis de fácil obtenção por meio de modelos matemáticos pode se constituir em uma ferramenta útil e confiável para conhecimento do balanço de nutrientes dos bracatingais, das suas necessidades nutricionais, bem como, todo o manejo florestal.

Esta dissertação foi desenvolvida em duas partes distintas. A primeira consiste na quantificação da concentração e do conteúdo de nutrientes acumulados na biomassa aérea da bracatinga, bem como avaliação dos efeitos do sítio, da idade e do diâmetro sobre estes. A segunda parte envolveu a modelagem do conteúdo de cada um dos macro e micronutrientes por compartimento da biomassa e para toda a biomassa aérea da árvore.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Quantificar e modelar o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de bracatinga, na região metropolitana de Curitiba.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar as concentrações e os conteúdos de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa e para toda a biomassa aérea de bracatinga.
- Determinar os efeitos dos diferentes compartimentos da biomassa, da qualidade de sítio, da idade e dos diâmetros sobre as concentrações e conteúdos de nutrientes da árvore.
- Determinar as relações entre os conteúdos de nutrientes na biomassa aérea de bracatinga com as variáveis diâmetro à altura do peito (d), altura total (h), altura do fuste (h_f), diâmetro de copa (d_c), altura de copa (h_c), razão de copa (rc), altura dominante (h_{dom}) e idade (l); bem como, suas combinações e forma logarítmica.
- Ajustar e testar diversos modelos matemáticos para estimativa do conteúdo de nutrientes para os diferentes compartimentos da biomassa e para toda a biomassa aérea da árvore.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

De acordo com a classificação de Cronquist a *Mimosa scabrella* pertence à divisão Magnoliophyta (Angiospermae), à classe Magnoliopsida (Dicotyledonae), Ordem Fabales, Família Mimosaceae (Leguminosae Mimosoideae). A bracatinga é uma espécie pioneira, encontrada na natureza em matas secundárias que sofreram a ação do homem e a sua presença caracteriza ainda o estágio inicial da sucessão florestal. A bracatinga é uma espécie de grande aptidão para a colonização de áreas abertas e bem iluminadas, fortemente heliófila em todas as fases de desenvolvimento. No interior da floresta, regenera-se somente em grandes áreas de distúrbio, como clareiras ou estradas (CARPANEZZI, 1988).

Sua área de ocorrência natural compreende os estados do Paraná e Santa Catarina, onde é mais abundante, e com menos frequência nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Segundo Carvalho (2003), a área de ocorrência da bracatinga está entre as latitudes 21°30' S em Minas Gerais e 29°50' S no Rio Grande do Sul, sendo encontrada numa variação altitudinal de 350m a 2000m. A bracatinga ocorre em maior área no tipo climático temperado úmido (Cfb), e em áreas menores nos climas subtropical úmido (Cfa), subtropical de altitude (Cwb), e (Cwa) em Coronel Pacheco, MG. Ocorre associada com o Pinheiro do Paraná e as áreas de ocorrência natural das espécies são coincidentes em grande parte; a bracatinga é característica no Planalto Sul - Brasileiro da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), todavia nos pinheirais não perturbados a bracatinga é pouco abundante (CARVALHO, 2003; CARPANEZZI, 1988; ROTTA; OLIVEIRA, 1981).

Normalmente, a bracatinga ocorre em solos pobres, ácidos, de textura franca a argilosa e bem drenados. É pouco exigente em fertilidade química, mas não se desenvolve adequadamente em solos mal drenados e com alto teor de alumínio. Em plantios, o crescimento das árvores responde à adição de fósforo, bem como à profundidade efetiva do solo (CARPANEZZI; CARPANEZZI, 1992).

A bracatinga é a espécie florestal mais importante para a produção de lenha na região metropolitana de Curitiba. Ela ocupa uma superfície aproximada de 60.000

hectares, distribuídos por cerca de 3.000 propriedades rurais, principalmente pequenas (BAGGIO; CARPANEZZI, 1997b).

Segundo Baggio *et al.* (1986) e Carpanezi (1988), o sistema agrossilvicultural da bracatinga ocorre majoritariamente em propriedades agrícolas, sempre próximas a centros consumidores de lenha. O sistema agrossilvicultural da bracatinga é resultante da experiência prática dos silvicultores por várias décadas, adaptada às condições ambientais e sócio-econômicas. A bracatinga é associada principalmente com milho e feijão; após a colheita destes não é feito nenhum trato cultural no bracingal minimizando os custos de manutenção do sistema de produção na propriedade. Os bracingais que sucedem outros anteriores, em um mesmo local, resultam da queima dos resíduos da colheita do seu antecessor, que quebra a dormência das sementes que existem no solo, desencadeando a germinação de uma enorme quantidade de sementes, formando um novo bracingal com grande densidade de plantas. De acordo com Laurent (1990), o número de plântulas por hectare pode chegar a 100 mil.

Com relação à densidade do bracingal, Campos *et al.* (1986) relataram que a densidade inicial média encontrada foi de 16.200 árvores por hectare no primeiro ano, decrescendo até o décimo ano, onde se reduz a 1.525 árvores por hectare, aproximadamente 9,5% da densidade inicial. Apesar da competição entre as plantas de bracatinga, outras espécies nativas passam a se desenvolver, entram em competição com a bracatinga e a produção volumétrica de tais espécies passa a crescer a partir do quinto ano de idade. Profumo Aguiar (2006) encontrou um valor ainda menor para a densidade de árvores remanescentes, cerca de 5% do número de árvores inicial.

De acordo com Machado *et al.* (2002), as diferentes densidades iniciais do bracingal exerceram efeitos significativos na produção em volume e área basal por hectare. De acordo com os resultados encontrados, a densidade inicial de 4.000 plantas por hectare gerou os maiores valores de volume e área basal por hectare na idade de corte do bracingal.

Téo *et al.* (2008) encontraram uma grande diminuição do número de árvores por hectare com relação ao aumento do diâmetro médio quadrático dos bracingais da região metropolitana de Curitiba, quando comparados com povoamentos de outras espécies. Esse fato pode ser explicado por algumas características peculiares

da bracatinga, como: altas densidades iniciais, caráter fortemente heliófilo, alto índice de mortalidade e baixa longevidade.

De acordo com Carvalho (1981), em povoamentos mais velhos há acentuada mortalidade de bracatingas a cada ano, mostrando que, pelo aparecimento de sub-bosque constituído por plantas mais exigentes, o povoamento natural passa por intenso processo sucessional.

Campos *et al.* (1986) estudaram a produtividade do bracatingal tradicional em Colombo, PR. O bracatingal apresentou uma fase crescente e outra decrescente de produtividade, atingindo seu máximo no sétimo ano de idade. Nesta idade a produção encontrada foi de 135,8 m³/ha. Profumo Aguiar (2006) apresentou valores de produção para os bracatingais tradicionais da região metropolitana de Curitiba de 107,7 m³/ha aos nove anos de idade. Diferentes pesquisas mostraram que o incremento médio anual em volume da bracatinga fica em torno de 10 a 20 m³/ha.ano, podendo alcançar mais de 30 m³/ha.ano em plantios experimentais (CARVALHO; COSTA, 1981).

Rochadelli (1997) destacou que a agrossilvicultura da bracatinga vem de encontro à realidade do produtor rural por ser de pouca complexidade e não depender de altos níveis de tecnologia, e que a mão de obra na maioria das propriedades é familiar ou pela contratação de terceiros, que recebem em moeda ou na forma de produto. Alguns autores denominam o sistema agrossilvicultural da bracatinga como “poupança verde” devido à expectativa de obter renda monetária segura com minimização da mão de obra. Em várias propriedades as culturas agrícolas são destinadas à subsistência e a lenha de bracatinga é o produto comercial quase que exclusivo, correspondendo em até 70% da renda líquida da propriedade.

Segundo Graça *et al.* (1986), o sistema agrossilvicultural da bracatinga apresentou-se como alternativa econômica melhor do que o *Pinus elliottii* e o *Eucalyptus viminalis* em pequenas propriedades, na região de ocorrência natural da espécie.

O mais importante uso da madeira de bracatinga é para energia, e secundariamente, como carvão. A madeira roliça é muito procurada para escoras de construção civil e peças finas retiradas aos dois anos, são usadas como varas de escora em horticultura. A madeira serrada da bracatinga é usada na construção civil e em partes internas de móveis. Outras utilizações da bracatinga são: para celulose,

como planta apícola, como forrageira e para o sombreamento de cafezais. Além disso, é recomendada para recuperação de áreas degradadas por ser uma espécie agressiva, de rápido crescimento e com deposição expressiva de material orgânico e nitrogênio no solo.

De acordo com Pereira e Lavoranti (1986), a bracatinga se mostrou de boa qualidade para a produção de energia, com densidade básica, rendimento em carvão e teor de carbono fixo superiores àqueles relatados em pesquisas realizadas com espécies de eucalipto.

3.2 BIOMASSA

Entende-se por biomassa, a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. O termo biomassa florestal significa toda a biomassa existente na floresta ou apenas na sua fração arbórea e, em se tratando de biomassa de origem vegetal, também vem sendo empregado o termo fitomassa.

As florestas são caracterizadas pela acumulação de biomassa e estão entre os ecossistemas terrestres que apresentam a maior quantidade de biomassa por unidade de área. A maior parte da biomassa florestal é formada pelas árvores que compõem o dossel da floresta (SATOO; MADGWICK, 1982).

Apesar de ter ganho mais atenção após a crise do petróleo, a utilização da biomassa para fins energéticos (lenha, resíduos animais, agrícolas e florestais) é mais antiga do que a própria história da civilização. A grande maioria da população dos países em desenvolvimento continua empregando biomassa como fonte primária de energia, principalmente para o cozimento e outros usos domésticos (CARIOCA; ARORA, 1985).

Young (1968) apresentou o conceito de utilização da árvore completa para atender à crescente demanda por produtos florestais. O termo árvore completa se refere à árvore incluindo desde as raízes capilares até as folhas. Com a utilização dos diversos compartimentos, se fez necessária a criação de uma medida para avaliar de forma prática e precisa a quantidade de folhas, galhos finos e raízes, devido à grande dificuldade de avaliar os seus volumes, diferentemente do volume do fuste, o qual se assemelha a sólidos geométricos.

O volume é uma unidade de medida amplamente aceita pelos florestais e tem sido uma unidade de medida satisfatória para a porção comercial do fuste das árvores. No entanto, o volume não é satisfatório como unidade de medida para as inúmeras pequenas raízes, pequenos galhos, ou para folhas e acículas. Com o advento da utilização completa da árvore, por razões biológicas, tecnológicas e práticas se fez necessária uma unidade de medida alternativa, a qual fosse apropriada para todos os compartimentos da árvore, das raízes finas até as folhas. Tal alternativa foi a biomassa (YOUNG, 1973).

Descobertas independentes da possibilidade de utilização de outras porções da árvore, além do fuste, ocorreram por diferentes povos em diferentes épocas. Até o final da década de 1960, não havia uma literatura contínua sobre o assunto,

porque as pesquisas acerca desse tema surgiram em reação às pressões na economia local. Um registro parcial do conceito de utilização da árvore completa foi feito por Evelyn¹ (1670, citado por Young, 1968), que propôs a utilização do toco e das raízes das árvores para aliviar a escassez de madeira para energia. Young (1968) destacou inúmeros trabalhos que versavam sobre a utilização e quantificação dos diversos compartimentos da árvore, durante a Segunda Guerra Mundial, em diversos países, como: Dinamarca, Finlândia (ALESTALO, 1973), Inglaterra, Rússia, Canadá e Japão.

O motivo principal pelo qual surgiu a utilização dos diferentes compartimentos da biomassa florestal, bem como, a biomassa como variável de melhor qualidade para a avaliação dos recursos da floresta foi a escassez.

Mais recentemente, na década de 1970 com a crise do petróleo, surgiram vários trabalhos sobre a utilização dos diferentes compartimentos da biomassa da árvore como fonte de energia e outros produtos. Como um exemplo é possível citar o trabalho de Young (1975), que discutiu o potencial energético da floresta no conceito da utilização da árvore completa.

A utilização completa da árvore envolveu uma rede de trabalho altamente complexa relacionada com o manejo florestal, rotação, erosão do solo, métodos de colheita florestal, métodos de transporte da árvore e o desenvolvimento de técnicas e equipamentos para o descascamento, cavaqueamento e fabricação de polpa dos diferentes compartimentos da biomassa (KEAYS, 1971).

Com as propostas para um manejo florestal mais intensivo e utilização da árvore completa, vieram os estudos a respeito da avaliação do ecossistema florestal incluindo princípios ecológicos para manter o ecossistema em equilíbrio. Entre esses estudos é possível destacar aqueles sobre a exportação de nutrientes com o advento da utilização da árvore completa.

Segundo Satoo e Madgwick (1982), a crise do petróleo da década de 1970 levou um grande número de pesquisadores a estudar a produtividade da floresta como fonte de energia e estoque de nutrientes. Esses estudos freqüentemente eram relacionados com tentativas de definir o potencial de exportação de nutrientes sob diferentes sistemas de colheita florestal, o sistema convencional, sistema de árvore inteira e sistema de árvore completa, proposto por Young.

¹ Evelyn, J. *Sylva*. 2. ed. London: Royal Society, 1670. 245 p.

Além dos estudos de quantificação da biomassa para fins energéticos e ciclagem de nutrientes, Silveira *et al.* (2008) acrescentaram sua importância como base de informação para estudos de seqüestro de carbono.

Tanto os estudos de ciclagem de nutrientes como os de seqüestro de carbono necessitam das informações fornecidas pela avaliação da biomassa florestal. A avaliação do carbono ou dos nutrientes contidos na biomassa florestal é dada em uma quantidade relativa ao peso seco dos diferentes compartimentos da árvore. Esta informação, por sua vez, é fornecida por meio da avaliação da biomassa florestal.

A quantificação de biomassa florestal, conforme Salati² (1994, citado por Silveira *et al.*, 2008), divide-se em métodos diretos e indiretos. Métodos diretos implicam determinações, pelo fato de as árvores serem cortadas e seus componentes separados e pesados. Nos métodos indiretos são feitas estimativas baseadas principalmente em dados advindos dessas determinações, assim como de dados originados de inventários florestais.

Juntamente com o desenvolvimento de técnicas e equipamentos para a utilização da biomassa florestal surgiram diferentes maneiras de estimar a biomassa de árvores em pé em um povoamento. Satoo e Madgwick (1982) descreveram três métodos: o método da árvore média, o método da razão de área basal e a técnica de regressão. Dentre os três, a técnica de regressão é o método mais amplamente usado para estimativas da biomassa do povoamento.

Segura³ *et al.* (2000, citados por Koehler *et al.*, 2002) destacaram a avaliação da biomassa como um dos aspectos mais relevantes nos estudos de fixação de carbono nas florestas, a qual precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais. Essa mesma afirmação pode ser feita com relação aos estudos de quantificação de nutrientes na biomassa florestal.

A avaliação da biomassa florestal envolve um trabalho muito duro e dispendioso. De acordo com Young (1973), o processo de cubagem de uma árvore

² SALATI, E. Emissão x seqüestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1., 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994, p. 15-37.

³ SEGURA, M.; KANNINEN, M.; ALFARO, M.; CAMPOS, J. J. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona atlántica de Costa Rica, Turrialba. **Revista Forestal Centroamericana**, Turrialba, n. 30, p. 23-28, 2000.

de 30 cm de diâmetro e 20 m de altura, incluindo o tempo despendido no corte e derrubada, pode levar menos de uma hora. Para estimar a biomassa de uma árvore similar seriam necessários dois trabalhadores durante pelo menos meio dia de trabalho. Esse tempo seria necessário somente para a obtenção do peso verde. Ainda haveria um trabalho adicional para a determinação do teor de umidade, por meio da pesagem de uma amostra antes e depois da secagem.

Ao se proceder a avaliação da biomassa florestal é necessário ter em mente que a biomassa apresenta um comportamento de variação de acordo com diversos fatores agindo de maneira diferente nos diversos compartimentos da árvore. Como principais fatores que determinam as variações na biomassa florestal, podem ser citados: a idade, a densidade, qualidade de sítio, fertilização, sazonalidade, ano de amostragem, variação genética, etc.

As diferenças na quantidade de biomassa são devidas às diferenças nas taxas de acumulação. Assim, diferenças devido à idade do povoamento refletem o período de tempo de acúmulo, diferenças devido à densidade do povoamento estão relacionadas ao grau de ocupação do sítio e diferenças entre sítios refletem diferentes taxas de produtividade. Dessa forma, diferenças na biomassa entre florestas distintas são resultado da combinação de diversas causas (SATOO; MADGWICK, 1982).

De acordo com Baggio e Carpanezzi (1997c), a biomassa aérea média dos bracatingais manejados sob o sistema tradicional na região metropolitana de Curitiba é de 69.641 kg.ha⁻¹ de matéria seca, aos sete anos de idade. Os autores caracterizaram a produção dos bracatingais manejados sob o sistema tradicional como baixa, quando comparados com outros sistemas de cultivo da espécie.

Urbano (2007), estudando a biomassa aérea de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba de diversas idades e localizações, encontrou que 69,85% do peso seco dos bracatingais correspondem aos fustes das árvores e os 30,15% restantes à copa. A proporção de biomassa do fuste dos bracatingais foi maior quando comparada com uma floresta nativa, pois a bracatinga forma povoamentos puros e densos, características estas que influenciam diretamente a formação das árvores, bem como suas proporções.

3.3 NUTRIENTES

O estudo dos elementos nutritivos e da função desses elementos na vida das plantas é tarefa da nutrição de plantas. A nutrição de plantas tem importância única no âmbito da vida na Terra e nas atividades do homem. Todos os seres vivos consistem de átomos de elementos químicos. Os reservatórios básicos desses elementos na Terra são as rochas, os oceanos e a atmosfera (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Para definir o que são os elementos nutrientes das plantas, é necessário antes ter em mente o que são os componentes inorgânicos das plantas. Quando o material vegetal é seco a 60°C por 48 horas, a matéria seca remanescente terá cerca de 30 a 50% do peso fresco inicial. Mais de 90% do peso seco das plantas consistem nos elementos: carbono, hidrogênio e oxigênio. As plantas contêm esses elementos quase nas mesmas proporções (uma parte de carbono para duas de hidrogênio e uma de oxigênio) de um carboidrato. Essa similaridade reflete o fato de que a maior parte do peso seco é de parede celular, que consiste principalmente em celulose, um polímero de carboidrato (BINKLEY, 1986; PERRY, 1994; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Apesar da grande expressão quantitativa desses três elementos químicos, como as plantas obtêm carbono da atmosfera, hidrogênio da água e oxigênio tanto da atmosfera quanto da água, esses três elementos usualmente não são considerados no domínio da nutrição de plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A pequena fração restante do peso seco representa a constituição mineral da planta, incluindo uma longa lista de elementos essenciais, como: nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio, magnésio, silício e outros elementos absorvidos do ambiente, principalmente do solo. No entanto, a simples presença de um elemento em uma planta não significa por si só que ele tem um papel essencial na vida dela. Solos contêm inúmeros elementos químicos. Uma planta crescendo no solo poderia, conseqüentemente, conter pelo menos traços da maioria dos elementos, aqueles essenciais para seu crescimento, bem como outros que são absorvidos porque os mecanismos de absorção não podem distinguir completamente os essenciais de outros elementos (BINKLEY, 1986; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Se um elemento é conhecido como sendo um componente integral de uma estrutura, composto ou metabólito de plantas, sua essencialidade é óbvia. Nenhuma

planta pode vicejar sem água, conseqüentemente hidrogênio e oxigênio são elementos essenciais. Esse mesmo argumento funciona para o nitrogênio, constituintes dos aminoácidos; do fósforo, importante para a ATP e enzimas; magnésio, constituinte da clorofila e vários elementos adicionais (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Segundo Epstein e Bloom (2006), um elemento é essencial se preenche um, ou ambos dos critérios a seguir: (1) o elemento é parte de uma molécula que é componente intrínseco da estrutura ou do metabolismo da planta; (2) a planta pode ser tão severamente privada do elemento, que exibe anormalidades em seu crescimento, desenvolvimento ou reprodução em comparação com plantas menos privadas.

Por volta dos anos de 1860, pesquisadores comprovaram que as plantas cultivadas em soluções nutritivas poderiam prosperar em meios contendo pelo menos os sete seguintes elementos minerais: nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio, magnésio e ferro. Com exceção do ferro, esses elementos são necessários em quantidades relativamente grandes, então, são referidos como macronutrientes (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Nenhuma adição amplamente aceita foi feita a essa lista clássica de elementos essenciais até por volta de 1920, quando pesquisas confirmaram que o manganês é um elemento nutriente essencial. No entanto, as quantidades de manganês requeridas foram menores que aquelas dos outros elementos então conhecidos como essenciais. Apenas um elemento da lista clássica, o ferro, é necessário em quantidades comparativamente pequenas. A partir de então, várias pesquisas mostraram que outros elementos são essenciais para as plantas, como boro, cobre, zinco, molibdênio, cloro. O níquel é a adição mais recente à lista de elementos conhecidos por serem essenciais às plantas, uma descoberta feita nos anos 1980. Elementos necessários nessas pequenas quantidades são chamados de micronutrientes (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Um dos aspectos mais importantes da nutrição de plantas é a ciclagem de nutrientes. Os dois principais ciclos de nutrientes são: o ciclo geoquímico e o ciclo biológico. O primeiro relata as adições e perdas de nutrientes do ecossistema por meio de alguns processos como precipitação, fertilização, erosão, lixiviação e volatilização. O segundo é relacionado com o fluxo de nutrientes no sistema solo-planta, podendo ser sub-dividido em ciclo bioquímico e biogeoquímico. O ciclo

bioquímico se refere ao movimento de nutrientes entre os tecidos e órgãos de uma árvore individual. Normalmente, a translocação de tecidos senis para tecidos novos em pleno crescimento constitui a principal forma de transferência interna de nutrientes. O ciclo biogeoquímico inclui o ciclo de nutrientes entre o solo e a biomassa, principalmente por meio da deposição, mineralização e reabsorção de nutrientes contidos em materiais vegetais (JORDAN, 1985; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Como a ciclagem de nutrientes estuda as adições e perdas de nutrientes de um ecossistema pelos mais diferentes processos naturais, cabe também a ela o estudo das adições e perdas de nutrientes por meio das intervenções do homem. Nos ecossistemas florestais, a colheita de madeira é uma das atividades que mais contribui para a exportação de nutrientes.

As florestas manejadas com rotações longas e a utilização somente de fuste das árvores fazem com que a quantidade de nutrientes removidos pela exploração da floresta seja menor do que a quantidade de nutrientes no solo e as entradas de nutrientes por diferentes mecanismos (KIMMINS, 1977). No entanto, a partir da década de 1970 com a crise do petróleo, surgiram propostas de utilização dos diferentes compartimentos da biomassa da árvore, em grande escala, como fonte de energia e outros produtos (YOUNG, 1968; YOUNG, 1973; YOUNG, 1975).

Com a intensificação do uso dos diferentes compartimentos da biomassa florestal surgiu a preocupação de qual seriam os efeitos das perdas de nutrientes contidos em tais compartimentos da biomassa, como: folhas, galhos e raízes. Além das perdas de nutrientes provocadas pela exploração dos fustes das árvores, que já vinha ocorrendo.

Segundo Jordan (1985), os fatores importantes no controle da produtividade são a energia, a água e os nutrientes. O engenheiro florestal tem pouca influência sobre alguns fatores determinantes da produtividade, como o clima. Então, os esforços para aumentar a produtividade das florestas têm se focado no manejo nutricional das florestas (BINKLEY, 1986).

O manejo eficiente de uma plantação florestal está ligado, também, à ciclagem de nutrientes, para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo, com a queda do folheto, e o que é assimilado novamente pelas raízes. Portanto, estimar a exportação de macro e micronutrientes através dos diferentes

compartimentos é importante para a compreensão de um manejo conveniente (LA TORRACA *et al.*, 1984).

O ciclo de nutrientes na floresta pode ser analisado por meio da compartimentalização da biomassa acumulada dentro dos diferentes estratos e a quantificação das relações de nutrientes que se movem através dos compartimentos pela serapilheira, decomposição, lixiviação e outros. A biomassa arbórea acima do solo, o solo da floresta, a biomassa de raízes e outros, podem ser considerados compartimentos da floresta (POGGIANI; SCHUMACHER, 2004).

Analisando o complexo e duro trabalho envolvido nos estudos de quantificação de nutrientes na floresta, poder-se-ia afirmar que os trabalhos científicos que tratam desse tema são relativamente recentes na história da ciência florestal. No entanto, assim como em muitos outros campos da ciência, existiram os trabalhos pioneiros. Há mais de um século, Ebermeyer⁴ (1876, citado por Satoo e Madgwick, 1982) mediu a quantidade de folhas e galhos na serapilheira de florestas de diversas espécies importantes na Alemanha, determinando suas composições inorgânicas e analisando os efeitos da remoção da serapilheira nas propriedades dos solos e no crescimento da floresta.

Mais recentemente, Kimmins (1977) avaliou as conseqüências para a produtividade futura das perdas de nutrientes por meio da exploração florestal no sistema de árvore completa. O autor destacou que a utilização dos diversos compartimentos da árvore e a adoção de rotações mais curtas tornam o manejo dos nutrientes de um sítio muito mais importante.

A partir de então, surgiram vários trabalhos acerca da quantificação de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa florestal, para os mais diferentes tipos florestais, espécies e locais. Também surgiram pesquisas sobre a viabilidade econômica da utilização completa da árvore, bem como a análise dos custos de reposição dos nutrientes por meio da fertilização.

Wise e Pitman (1981) estudaram a exportação de nutrientes juntamente com a reposição dos nutrientes na forma de fertilizantes, utilizando dados de biomassa e nutrientes encontrados na literatura, para plantações de eucalipto com rotações curtas na Austrália. Os autores concluíram que em sítios pobres pode não ser

⁴ EBERMEYER, E. **Die gesamte lehre der waldstreu mit rucksicht auf die chemische statik des waldbaues**. Berlin: Springer, 1876. 416 p.

econômica a utilização da árvore completa, principalmente devido à exportação de nutrientes pelas folhas. No entanto, em sítios bons, a utilização completa da árvore pode ser factível.

Singh (1982) estudou a relação entre o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa e a idade de *Pinus patula* na Índia. O autor concluiu que não houve mudanças significativas na concentração dos nutrientes na biomassa das árvores com relação à idade. Já o conteúdo de nutrientes aumenta com a idade do povoamento, enquanto que as proporções entre os elementos permanecem razoavelmente constantes.

No Brasil, Castro *et al.* (1980) avaliaram a distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* Schiede, com diferentes idades. Os autores concluíram com relação à exportação de nutrientes, que não é conveniente a utilização integral da árvore, principalmente nos regimes de rotações curtas, visto que a exploração da copa representa apenas um pequeno acréscimo em biomassa, enquanto que ocorre uma forte exportação de nutrientes do sítio.

Ainda na década de 1980 foram realizados diversos trabalhos, os quais tratavam da quantificação e exportação de nutrientes, como: Zen *et al.* (1981), Poggiani e Couto (1983), Poggiani *et al.* (1983), La torraca *et al.* (1984), Pereira *et al.* (1984), Timoni e Pagano (1986). Todas essas pesquisas foram realizadas com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, os quais possuem as maiores áreas plantadas no Brasil.

Tendo em vista a maior exigência nutricional e as elevadas taxas de exportação de nutrientes, o gênero *Eucalyptus* foi o escolhido na maioria dos trabalhos acerca da quantificação e exportação de nutrientes. Como exemplo, é possível citar os trabalhos de Santana *et al.* (1999), Vital *et al.* (1999), Schumacher e Caldeira (2001) e Freitas *et al.* (2004).

A grande maioria das pesquisas com espécies de eucalipto destacam as grandes concentrações de cálcio e magnésio encontradas na casca das árvores. Quando a madeira e a casca do fuste são consideradas, representam uma alta proporção do conteúdo de nutrientes os quais podem ser exportados por meio da colheita.

Baggio e Carpanezzi (1997a) estimaram a quantidade e distribuição de nutrientes na biomassa aérea da bracatinga explorada no sistema tradicional, assim como o potencial econômico dos nutrientes e as perdas causadas pela exportação.

Esses autores alertaram para o fato de que nos bracatingais não se faz qualquer adubação de reposição, assim a exportação de nutrientes pela lenha tende a empobrecer os sítios ao longo de sucessivas rotações. As frações ramos finos e folhas também contribuem para a exportação de nutrientes, ao serem queimadas como resíduos, assim como a colheita das culturas agrícolas consorciadas no começo de cada rotação. De acordo com os resultados encontrados, esses autores constataram que a maior parte dos nutrientes analisados foi encontrada na lenha, com 71,3% do conteúdo de nutrientes.

Baggio e Carpanezzi (1997b) estimaram a quantidade de nutrientes retida nos resíduos de exploração dos bracatingais, bem como o potencial econômico dos nutrientes equivalentes em fertilizantes. Esses autores destacaram a importância da reincorporação dos diferentes tipos de resíduos encontrados no bracatingal, principalmente a serapilheira, que acumulou 55,3% do conteúdo dos nutrientes dos resíduos.

As simulações feitas por Somarriba e Kass (2001), visando quantificar o conteúdo de nutrientes dos bracatingais da região metropolitana de Curitiba em diferentes idades, confirmam que o comprimento da rotação usual entre 6 e 8 anos é ótimo do ponto de vista nutricional. Os resultados mostraram que a deposição de nutrientes no solo por meio da reincorporação da biomassa atinge seu ponto culminante durante o sexto ano do bracatingal, resultando numa melhora significativa da fertilidade do solo antes da colheita.

Caldeira (2003a) determinou os teores e a quantidade de macro e micronutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa acima do solo em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná. Dentre as espécies estudadas, a bracatinga, juntamente com outras duas espécies, apresentou altas concentrações de nitrogênio nas folhas, em relação às demais espécies da Floresta Ombrófila Mista.

Foram realizados estudos sobre a nutrição da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), uma espécie folhosa plantada na região Sul do Brasil, da família Mimosaceae, semelhante à bracatinga. Caldeira *et al.* (2000a), Caldeira *et al.* (2000b) e Caldeira *et al.* (2001a) quantificaram o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de acácia-negra. Todos os três trabalhos destacaram os altos teores de nutrientes nas folhas, principalmente do nitrogênio. Além do grande acúmulo de nutrientes na copa das árvores.

De acordo com Moura *et al.* (2006), as maiores concentrações de todos os nutrientes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth., em povoamentos no estado de Pernambuco, encontram-se nas folhas, com exceção do Ca que apresenta as maiores concentrações na casca.

Como é possível observar nas pesquisas com espécies leguminosas, entre elas a bracatinga, citadas anteriormente, os relatos de que as folhas contêm as maiores concentrações para a maioria dos nutrientes é uma constante. De acordo com vários autores citados por Caldeira *et al.* (2001a), isso pode ser explicado pelo fato de que nas folhas encontram-se a maioria das células vivas, as quais tendem a acumular maiores quantidades de nutrientes, em função dos processos de transpiração e fotossíntese. Além disso, em espécies leguminosas, é possível atribuir os altos valores de nitrogênio à capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico pelo efeito sinérgico da ação das bactérias diazotróficas e micorrizas.

As maiores concentrações de nutrientes, principalmente de nitrogênio, nas folhas das espécies leguminosas demonstram um maior potencial de ciclagem de nutrientes dessas espécies, via serapilheira, quando comparadas com outras espécies como, por exemplo, os eucaliptos (CALDEIRA *et al.*, 2001a).

Na nutrição de plantas, a diagnose foliar tem como premissa o fato de que a maioria dos processos fisiológicos ocorrem nas folhas e os conteúdos de nutrientes estão relacionados com o desenvolvimento e produção da planta. Isso faz com que a análise foliar seja o critério mais apropriado para determinar o estado nutricional de plantas perenes, juntamente com a análise de solo (SILVEIRA *et al.*, 2004).

Além da determinação da concentração de nutrientes das folhas, a determinação da quantidade de nutrientes na árvore é uma técnica bastante usada. Isso é tratado como a soma de nutrientes contidos nos diferentes compartimentos da árvore (folhas, galhos, casca, tronco e raízes). Cada um desses compartimentos possui uma concentração de nutrientes minerais relativa à sua função, seguindo o seguinte gradiente de concentração: folhas > casca > galhos > madeira (alburno > cerne). Variações significativas da concentração podem existir dentro de cada compartimento, usualmente devido a diferenças de idade relacionadas a diferenças na atividade fisiológica. Considerando esses fatores, a especificação do material a ser amostrado dentro de cada compartimento se torna de fundamental importância (BELLOTE; SILVA, 2004).

Embora estejam presentes em maiores concentrações nos tecidos da copa (galhos e folhas), as maiores quantidades da maioria dos nutrientes ocorrem no tronco, devido à biomassa desse compartimento ser muito superior a dos demais. Por meio da colheita de madeira, o fuste é o compartimento da biomassa que mais contribui para a exportação de nutrientes de um local (BELLOTE; SILVA, 2004).

3.4 MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES

As equações de volume são amplamente conhecidas no meio florestal. O volume pode ser estimado por meio de uma relação previamente estabelecida entre certa dimensão da árvore e o seu volume. O diâmetro, a altura e a forma são as variáveis independentes, que são comumente usadas para determinar os valores da variável dependente – o volume da árvore (HUSCH *et al.*, 1982). Da mesma maneira que ocorre para o volume, outras variáveis de difícil obtenção podem ser estimadas por meio de uma dimensão da árvore, como a biomassa ou o conteúdo de carbono e nutrientes.

O volume do fuste (Y) é usualmente considerado como uma função do diâmetro à altura do peito (d), da altura (h) e uma expressão da forma da árvore (f). Esta relação pode ser escrita simbolicamente como:

$$Y = f(d, h, f)$$

Existem vários métodos para a construção de equações de volume ou peso, alguns necessitam de uma grande quantidade de dados para estabelecer a relação e têm caráter subjetivo, que requer considerável habilidade e discernimento, como é o caso da curva harmonizada. Há muito tempo a atenção tem se voltado para o uso de funções matemáticas, ou modelos para o desenvolvimento de equações de volume ou peso e não há vantagens em se utilizar outros métodos (HUSCH *et al.*, 1982).

De acordo com Freese (1967), o primeiro passo quando se deseja desenvolver uma equação de regressão linear é representar as variáveis envolvidas graficamente. Se absolutamente nada é conhecido sobre a forma de relação entre duas variáveis, então sugere-se que os dados sejam representados graficamente na tentativa de identificar o modelo apropriado para ajuste. Isto é feito para fornecer evidências se as duas variáveis envolvidas estão relacionadas. Se houver uma relação simples, os pontos representados graficamente formarão um padrão (uma linha reta ou curva). Se a relação for muito forte, esse padrão será facilmente identificado. Se a relação for fraca, os pontos se distribuirão de forma mais esparsa e o padrão será menos definido. Se os pontos parecem se distribuir de forma

aleatória, pode não haver nenhuma relação ou pode ser tão fraca a ponto de ser inviável o ajuste de um modelo matemático para representá-la.

A representação gráfica não é problema quando se tem apenas uma variável independente. Para duas variáveis independentes (chamadas de X_1 e X_2), é possível representar a variável dependente (Y) em função de X_1 para diferentes níveis de X_2 . Se há mais do que duas variáveis independentes, o procedimento torna-se mais complicado. O usual é a representação gráfica para cada variável independente esperando identificar alguma tendência global. Ou então, representar pares de variáveis independentes na tentativa de identificar algumas interações entre as variáveis (FREESE, 1964).

Uma alternativa é a construção de uma matriz de correlação, uma representação tabular dos coeficientes de correlação entre as variáveis envolvidas no estudo. De acordo com Draper e Smith (1980), a variável mais importante para compor o modelo matemático será aquela que apresentar o maior coeficiente de correlação. Uma outra alternativa é a técnica de ajuste *stepwise*, ou regressão passo a passo. A regressão passo a passo fornecerá uma seleção das variáveis, as quais resultam no modelo matemático de melhor performance (FREESE, 1964).

De acordo com Draper e Smith (1980), o *stepwise* é um procedimento estatístico para selecionar variáveis na análise de regressão. Quando se deseja desenvolver uma equação de regressão para um conjunto de dados particular, com uma variável dependente e uma série de variáveis independentes, estão envolvidos dois critérios opostos, os quais resultam na seleção do modelo matemático a ser ajustado. O primeiro critério é que para desenvolver uma equação com propósito de obtenção de estimativas, é desejável que a ela inclua o máximo de variáveis independentes quanto for possível. No entanto, devido aos custos envolvidos na obtenção de muitas variáveis independentes, é desejável que a equação de regressão contemple o mínimo de variáveis quanto for possível. Na tentativa de equilibrar ambos os critérios, faz-se a utilização do procedimento *stepwise*.

O procedimento *stepwise* é uma tentativa de alcançar a melhor equação de regressão por meio da inserção de variáveis. 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. Após a inserção de cada variável, o procedimento

stepwise examina a significância das variáveis que já faziam parte do modelo matemático por meio do valor de “F” parcial. Se a variável apresenta valor de “F” estatisticamente significativo em um determinado nível de probabilidade, essa variável é mantida, caso contrário é eliminada. O procedimento se repete avaliando os coeficientes de correlação parcial e valores de “F” parcial para todas as variáveis independentes. Essa habilidade de eliminar variáveis já no modelo diferencia o procedimento *stepwise* dos procedimentos de adição *forward* e eliminação *backward*. Draper e Smith (1980) relataram que o *stepwise* é o melhor procedimento de seleção de variáveis. Hair Jr. *et al.* (2005) acrescentaram que o procedimento *stepwise* é a abordagem seqüencial mais comum para a seleção de variáveis.

De acordo com Van Lear *et al.* (1984), quando a concentração de nutrientes é multiplicada pela biomassa e estimada por meio do diâmetro, a relação é forte devido à excelente relação entre a biomassa e o diâmetro. O conteúdo de nutrientes pode ser estimado tanto com uma equação de regressão de conteúdo de nutrientes para um sítio específico, ou pela multiplicação da biomassa média dos compartimentos da árvore pela concentração média de nutrientes. Esse autor desenvolveu equações de biomassa e do conteúdo de nutrientes para *Pinus taeda* L. em plantações de 41 anos de idade. As equações desenvolvidas apresentaram bons ajustes para o conteúdo de nutrientes.

Bellote *et al.* (1983) desenvolveram equações para a produção e extração de macro e micronutrientes em função da idade, para *Eucalyptus grandis* (Hill, ex-Maiden) em Mogi-Guaçu, SP. Os autores ajustaram modelos matemáticos polinomiais de até terceiro grau considerando como variável dependente o conteúdo de nutriente e como variável independente a idade da planta. Os modelos que apresentaram os melhores ajustes foram aqueles ajustados para estimar o conteúdo de nutrientes do fuste. Já os modelos ajustados para estimar o conteúdo de nutrientes das folhas apresentaram os piores resultados.

Ranger *et al.* (1995) estudaram o efeito da idade de povoamentos de *Douglas-fir* (*Pseudotsuga menziesii* Franco) na absorção e estoque de nutrientes da biomassa aérea. Os autores ajustaram modelos para estimar o conteúdo de nutrientes com base na circunferência à altura do peito (cap) e idade. A estatística de ajuste coeficiente de determinação (R^2) apresentou valores altos para as equações estimativas de todos os nutrientes em todos os compartimentos da

biomassa aérea, porém os maiores valores foram verificados para as equações estimativas do conteúdo de nutrientes dos compartimentos do fuste.

De acordo com Ranger e Gelhaye (2001), o modelo matemático polinomial de segundo grau usando o diâmetro à altura do peito como variável independente foi consistente tanto para as estimativas da biomassa, como para as estimativas do conteúdo de nutrientes nos compartimentos da biomassa abaixo do solo de um povoamento de *Douglas-fir*.

Como pode ser verificado nos trabalhos citados anteriormente, os modelos matemáticos ajustados para predições da biomassa ou conteúdo de nutrientes nos compartimentos maiores (fuste e raízes grossas) apresentaram melhores performances do que os modelos ajustados para predições nos compartimentos menores (folhas e raízes finas). De acordo com Ranger e Gelhaye (2001), isso pode ser explicado pelo fato de que o diâmetro da árvore utilizado no modelo é uma variável cumulativa, porém esse não é o caso da biomassa de raízes finas e folhas, ou do conteúdo de nutrientes nesses compartimentos da biomassa.

Laclau *et al.* (2000) utilizaram o procedimento estatístico *forward* para selecionar variáveis na análise de regressão, com o objetivo de desenvolver equações para estimar o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa em plantações clonais de eucalipto na República Democrática do Congo. A maioria dos modelos matemáticos ajustados por Laclau *et al.* (2000) explicaram em torno de 90% da variabilidade do conteúdo de nutrientes, para todos os compartimentos da biomassa, exceto galhos.

Hoppe (2003) desenvolveu equações de regressão linear visando estimativas do conteúdo dos nutrientes para os diferentes compartimentos da biomassa de *Platanus x acerifolia*. A equação que apresentou os melhores ajustes para os compartimentos folhas, casca e madeira foi a equação da variável combinada de Spurr. Já para o compartimento Galhos, a equação que apresentou melhores ajustes possuía como variável independente o diâmetro à altura do peito elevado a segunda potência. Considerando as estatísticas de ajuste e precisão, os modelos ajustados para estimar o conteúdo de macronutrientes na madeira do fuste apresentaram os melhores resultados, já os modelos ajustados para os compartimentos folhas, galhos e casca apresentaram piores desempenhos.

Silva (1996) selecionou modelos matemáticos para estimativa do acúmulo e exportação de nutrientes em diferentes estágios do ciclo de corte, para *Eucaliptus*

grandis. Os modelos matemáticos foram obtidos após a definição e escolha das melhores correlações e das análises de regressão. A escolha do melhor modelo foi feita através das comparações dos coeficientes de determinação (R^2), valores de F calculado, erro padrão da estimativa em porcentagem (syx %) e da distribuição gráfica dos resíduos.

Silva (1996), diferentemente dos trabalhos citados anteriormente, reportou que variáveis de fácil obtenção como diâmetro e altura total não apresentaram boas correlações com o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa. O uso dos modelos matemáticos para estimar o conteúdo dos nutrientes não eliminou o trabalho de coleta de tecido vegetal e análise em laboratório, já que os modelos utilizaram como variável independente o conteúdo de nutriente em um disco amostrado do tronco da árvore.

Moro *et al.* (2007) desenvolveram modelos matemáticos para estimar a exportação de nutrientes na colheita de uma floresta de *Pinus taeda* L. no Paraná. Assim como no trabalho de Silva (1996), as variáveis independentes dos modelos ajustados foram o próprio conteúdo de nutrientes em uma dada amostra do fuste da árvore. As equações desenvolvidas apresentaram ótimos valores para as estatísticas de ajuste e precisão e distribuições de resíduos homogêneas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados utilizados para este estudo provieram de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba, estado do Paraná. Os dados foram coletados na porção norte da região metropolitana de Curitiba, onde há maior ocorrência de bracatingais. Os municípios incluídos foram os seguintes: Almirante Tamandaré, Campina Grande do Sul, Campo Magro e Colombo. A localização dos municípios no estado do Paraná e dentro da região metropolitana de Curitiba é apresentada na Figura 1.

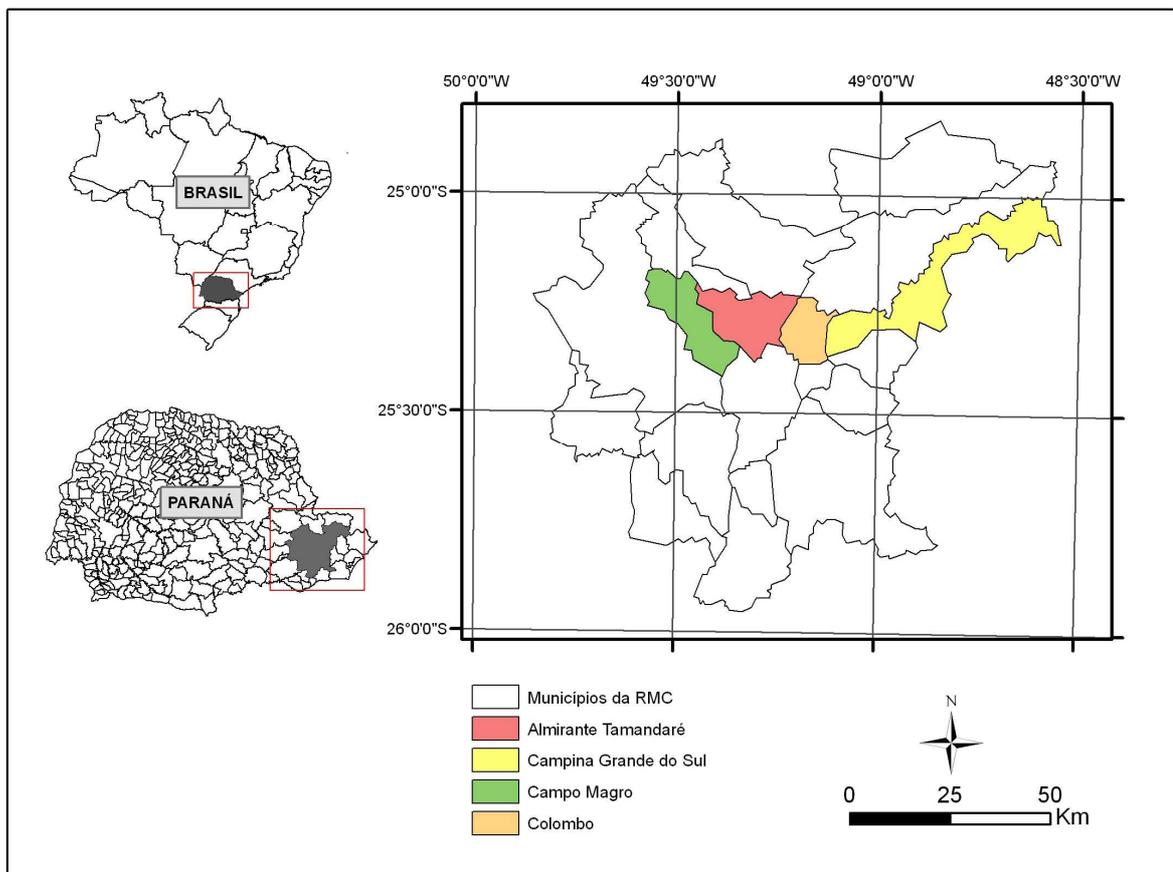


FIGURA 1 - MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (RMC), COM OS QUATRO MUNICÍPIOS ONDE ESTÁ LOCALIZADA A ÁREA DE ESTUDO

Dos 4 municípios da área de estudo, o município de Campina Grande do Sul se localiza mais ao Norte e a Leste, e o município de Campo Magro, mais ao Sul e a Oeste. Em média, a altitude da região metropolitana de Curitiba é de 950 metros acima do nível do mar.

Maack (2002) distinguiu cinco grandes regiões de paisagens naturais no estado do Paraná: o litoral, a serra do Mar e o primeiro, segundo e terceiro planalto do Paraná. A porção norte do primeiro planalto do Paraná, onde está localizada a área de estudo deste trabalho, é recortada por uma paisagem recente de elevações devido aos afluentes do profundo vale do rio Ribeira, sendo que cabeços de estratos se elevam como pontos mais resistentes sobre o nível geral do planalto.

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 mais rico em chuva é janeiro com 190,7 milímetros, o mês mais pobre em chuva é o mês de agosto com 78,2 milímetros e a precipitação anual fica em torno de 1.500 milímetros (MAACK, 2002).

A bracatinga é característica da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), vegetação predominante do primeiro planalto do Paraná. De acordo com Maack (2002), a região de estudo deste trabalho foi classificada como mata secundária na zona de araucária.

Conforme Theodorovicz *et al.* (1999a), em termos geológicos, pedológicos e fisiográficos, a região metropolitana de Curitiba é uma das mais diversificadas do Brasil. Isso se deve à superposição de vários eventos geotectônicos que aconteceram e estão acontecendo, a cada evento e em momentos distintos, diferentes ambientes de formação, geração e deformação de rochas aconteceram. Isso se reflete na imensa variedade de tipos de terrenos hoje verificada na região.

De acordo com Theodorovicz *et al.* (1994), a maior parte da região metropolitana de Curitiba é constituída de relevo cárstico, unidade com altíssimo potencial hidrogeológico e de extrema fragilidade ambiental para qualquer forma de uso. Os terrenos cársticos dominam quase toda porção centro-norte da região metropolitana de Curitiba. Na área de estudo também existem terrenos

montanhosos, sustentados por rochas xistosas e filíticas de origem vulcânica e sedimentar.

Quanto à hidrografia, a área de estudo está localizada dentro da bacia Atlântica do Estado do Paraná. O rio Ribeira e seus afluentes entalharam profundamente a região montanhosa da parte norte do primeiro planalto, em consequência de sua força de erosão. O ribeirão Ribeirinha, o rio Açunguí e Pardo com os inúmeros afluentes são os principais rios da cabeceira do rio Ribeira (MAACK, 2002).

De acordo com Embrapa (1984), os bracatingais estão inseridos no tipo de vegetação a qual está relacionada com os seguintes solos: 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. A maioria dos solos citados apresentam horizonte A proeminente.

Somarriva e Kass (2001), baseados em extensa revisão bibliográfica, reportaram que os solos dos bracatingais quase invariavelmente são de baixa fertilidade, com 6 a 8% de matéria orgânica (0 – 20 cm de profundidade), com valores de pH freqüentemente menores do que 4,0, 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. A maioria dos solos é classificada como Cambissolos álicos, variando de profundo a pouco profundo, principalmente em relevo forte ondulado (ZILLER *et al.*, 1996).

Theodorovicz *et al.* (1999b) classificaram os usos do solo da região metropolitana de Curitiba. Foram identificados cinco grandes categorias de usos com detalhamento: área construída; área agrícola; pastagem; área florestal; e mineração.

Dentre as principais atividades econômicas da região metropolitana de Curitiba destaca-se, em primeiro lugar, com participação em 40% dos municípios, a indústria de transformação, representada pela indústria química, metalúrgica, mecânica e materiais de transporte e elétrico, produtos alimentares, madeiras, bebidas e transformação de bens minerais não metálicos (cerâmica, louça, cimento e cal). A agricultura e o setor de comércio e serviços respondem pela segunda

atividade econômica mais importante da região. Na agricultura destacam-se o plantio de olerícolas, grãos e a fruticultura (THEODOROVICZ *et al.*, 1999b).

A silvicultura e a mineração estão relacionadas como principal atividade econômica em 13% dos municípios, 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.*, 1999b).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados para realização deste estudo provieram de 25 árvores de bracatingais de sete localidades diferentes, distribuídas pela área de estudo (FIGURA 1). Os trabalhos de campo e coletas de amostras para análise dos nutrientes ocorreram no final do mês de junho e início do mês de julho do ano de 2007. As árvores amostradas apresentaram diâmetro médio de 11,2 cm, variando de 7,0 a 20,0 cm; altura total média de 14,3 m, variando de 10,2 a 19,5 m; e idade entre 6 e 14 anos.

4.3 COLETA DOS DADOS EM CAMPO

Os bracatingais selecionados para a amostragem abordaram toda a variação de sítios da região, com base no trabalho de Machado *et al.* (1997), que desenvolveram curvas de índice de sítios para florestas de bracatinga da região metropolitana de Curitiba. As árvores amostradas para o levantamento de biomassa foram selecionadas com o objetivo de abranger as diferentes classes diamétricas e sociológicas nos bracatingais.

Para a obtenção da biomassa das árvores de bracatinga as seguintes etapas foram realizadas:

- Marcação e medição do diâmetro à altura do peito da árvore selecionada (FIGURA 2);
- Medição do diâmetro de copa (dc), composto por duas medidas transversais da projeção da copa no piso da floresta;

- Derrubada da árvore com a utilização de uma motosserra;
- Medição da altura total (h) e altura do fuste (hf);
- Seccionamento da árvore nos diferentes compartimentos da biomassa: fuste, galhos maiores ou iguais a 4 cm de diâmetro, galhos menores do que 4 cm de diâmetro e folhas;
- Pesagem de cada compartimento da biomassa da árvore por meio de uma balança de vara (FIGURA 2);
- Retirada de amostras de cada um dos compartimentos da biomassa da árvore (FIGURA 3).



FIGURA 2 - MEDIÇÃO DO DIÂMETRO E PESAGEM DAS FOLHAS DA ÁRVORE AMOSTRADA

Foram retiradas três amostras do fuste da árvore: uma a 50 cm da base do fuste, uma exatamente na metade da altura do fuste da árvore e uma a 50 cm abaixo do topo do fuste ou ponto de inversão morfológico. As amostras consistiam em discos com 5 cm de espessura, em média. As amostras dos galhos, tanto maiores ou iguais, quanto menores do que 4 cm de diâmetro foram retiradas abrangendo galhos finos, médios e grossos dentro dessas duas classes pré-estabelecidas. Por fim, foram retiradas amostras das folhas com aproximadamente 150 g de peso fresco (FIGURA 3).



FIGURA 3 - AMOSTRAS DE CADA UM DOS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DA ÁRVORE. DA ESQUERDA PARA A DIREITA TÊM-SE AS AMOSTRAS DO FUSTE, GALHOS ≥ 4 cm, GALHOS < 4 cm, E FOLHAS

4.4 PREPARAÇÃO DOS DADOS EM LABORATÓRIO

As amostras de cada compartimento da biomassa da árvore foram identificadas e embaladas em sacos plásticos para que não perdessem umidade e encaminhadas ao laboratório para a realização das seguintes atividades:

- Pesagem das amostras dos diferentes compartimentos da biomassa. Nessa etapa as amostras do fuste foram separadas em madeira e casca (FIGURA 4);
- Fracionamento das amostras visando favorecer os processos posteriores de secagem e moagem;
- As amostras foram acondicionadas em embalagens de papel, devidamente identificadas para serem encaminhadas à estufa de secagem;
- Secagem das amostras em estufa de ventilação forçada com temperatura de 65°C (WESTERMAN, 1990) até atingirem peso constante (FIGURA 4);
- Obtenção do peso seco das amostras de cada compartimento da biomassa;
- Moagem das amostras em moinho de facas com peneira de malha 30 “mesh” (FIGURA 4);
- Aproximadamente 15 g das amostras em pó foram recolhidas e acondicionadas em frascos plásticos, sendo feita uma secagem adicional a 65°C visando remover qualquer umidade adquirida durante o processo de moagem.

- Os frascos plásticos foram então fechados e mantidos em local seco, fresco e abrigados da luz, até se proceder à análise química para determinação dos nutrientes.



FIGURA 4 - PESAGEM DAS AMOSTRAS, SECAGEM EM ESTUFA DE VENTILAÇÃO FORÇADA (65°C) E MOAGEM NOS EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES DA UFPR

FONTE: URBANO (2007)

4.5 ANÁLISES QUÍMICAS

Posteriormente, foram realizadas as determinações dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn utilizando-se os equipamentos do Laboratório de Biogeoquímica e Nutrição de plantas do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Os extratos da matéria seca para análise desses nutrientes foram obtidos por meio da digestão via seca com solubilização em $\text{HCl } 3 \text{ mol.L}^{-1}$ (MARTINS; REISSMANN, 2007) (FIGURA 5). Após a digestão via seca o P foi determinado por colorimetria, o K por meio de um fotômetro de chama e os demais nutrientes foram determinados num espectrofotômetro de absorção atômica (FIGURA 7). Para o nutriente N foi utilizada a digestão sulfúrica

(FIGURA 6) e sua determinação foi realizada utilizando-se um destilador de nitrogênio e posterior titulação das amostras, por meio do método chamado *Kjeldahl* (Figura 7).



FIGURA 5 - DIFERENTES ETAPAS DA DIGESTÃO VIA SECA REALIZADA PARA DETERMINAÇÃO DOS NUTRIENTES. PESAGEM DAS AMOSTRAS A SEREM ANALISADAS, QUEIMA EM MUFLA (500°C) E FILTRAGEM DAS AMOSTRAS



FIGURA 6 - DIFERENTES ETAPAS DA DIGESTÃO SULFÚRICA REALIZADA PARA DETERMINAÇÃO DO NITROGÊNIO. PESAGEM DAS AMOSTRAS A SEREM ANALISADAS, ADIÇÃO DO ÁCIDO SULFÚRICO E ALOCAÇÃO DAS AMOSTRAS NO BLOCO DIGESTOR



FIGURA 7 - DESTILADOR DE NITROGÊNIO E ESPECTROFOTÔMETROS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DOS NUTRIENTES

4.6 BIOMASSA

Estudos de biomassa florestal sempre implicam em obter determinações e estimativas de massa seca. No campo, isso não é possível na maioria dos casos, havendo necessidade de retirar frações menores da biomassa verde pesada no local para estimar a massa seca em condições de laboratório. Após a pesagem do material e a determinação da massa seca, são estabelecidas as relações entre ambas, sendo a massa seca usada para relacionar com teores de carbono, por exemplo, ou outras substâncias de interesse (SANQUETTA, 2002).

O peso seco de cada compartimento da biomassa da árvore foi obtido por meio da multiplicação do peso verde, determinado no campo, pelo teor de matéria seca, correspondente a cada compartimento da biomassa da árvore (folhas, galhos < 4 cm, galhos \geq 4 cm, madeira e casca).

O teor de matéria seca para cada compartimento da biomassa da árvore foi calculado da seguinte forma:

$$Tms = \frac{Ps}{Pv} * 100$$

onde:

Tms = teor de matéria seca;

Ps = peso seco da amostra;

Pv = peso verde da amostra.

4.7 CONTEÚDO DE NUTRIENTES

As análises dos diferentes nutrientes obtidas em laboratório forneceram as concentrações dos macronutrientes em gramas por quilograma de matéria seca ($g.kg^{-1}$), para cada amostra dos diferentes compartimentos da biomassa da árvore. A obtenção dos conteúdos de macronutrientes, em gramas, por compartimento da biomassa para cada árvore foi obtida da seguinte maneira:

$$y = Conc * Ps$$

onde:

y = conteúdo de macronutriente dos compartimentos da biomassa (g);

Conc = concentração de nutriente em $g.kg^{-1}$;

Ps = peso seco da biomassa por compartimento (kg).

As concentrações de micronutrientes são dadas em miligramas por quilograma ($mg.kg^{-1}$). O conteúdo de micronutrientes foi calculado da mesma forma, porém o resultado obtido foi dado em miligramas por compartimento da biomassa para cada árvore.

Esse cálculo foi realizado para cada um dos compartimentos da biomassa da árvore, separadamente. O conteúdo de nutriente de uma árvore inteira foi calculado por meio da soma dos conteúdos de nutrientes de cada um dos seus compartimentos da biomassa.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA CONCENTRAÇÃO E DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES

Após a obtenção das concentrações e dos conteúdos de nutrientes para os diferentes compartimentos da biomassa e para toda a biomassa aérea das árvores, foi realizada a análise estatística. Esta análise teve o propósito de verificar os efeitos dos diferentes compartimentos da biomassa, da qualidade de sítio, classes de idade e classes de diâmetros sobre as concentrações e conteúdos de nutrientes da árvore.

Primeiramente, foi realizado um delineamento inteiramente casualizado onde cada compartimento da biomassa constituiu um tratamento e as 25 árvores amostradas as repetições. Em seguida, as árvores foram separadas de acordo com suas classes de sítio, com base no trabalho de Machado *et al.* (1997), onde cada classe de sítio constituiu um tratamento e as árvores as repetições de um delineamento inteiramente casualizado. Da mesma maneira, as árvores foram agrupadas em classes de idade e de diâmetros, onde essas constituíram os diferentes tratamentos de delineamentos inteiramente casualizados. Os delineamentos estatísticos foram realizados considerando as concentrações e conteúdos de cada nutriente em cada compartimento da biomassa como uma variável diferente. No caso das concentrações foram 9 nutrientes x 5 compartimentos da biomassa, perfazendo um total de 45 delineamentos estatísticos e para os conteúdos, 9 nutrientes x 6 compartimentos da biomassa, pois também foram considerados os conteúdos de nutrientes em toda a biomassa aérea. Esse mesmo procedimento de análise estatística foi utilizado por Baggio (1994) e Urbano (2007) para nutrientes e carbono na biomassa de bracatinga, respectivamente.

A análise estatística iniciou-se com o teste de Bartlett, para verificação da homogeneidade das variâncias dos tratamentos, posteriormente a análise de variâncias e, se necessário, teste de comparação de médias de Tukey (5%).

4.9 MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES

De acordo com Draper e Smith (1980), as técnicas de regressão linear são muito úteis, porém podem ser muito perigosas se forem interpretadas ou usadas de maneira inapropriada. Sendo assim, antes de iniciar um grande trabalho envolvendo regressão linear é necessário planejá-lo.

O primeiro passo do planejamento da construção de um modelo matemático com o propósito de obtenção de estimativas é a definição do problema, bem como das variáveis independentes e resposta. Neste trabalho, as variáveis resposta foram o conteúdo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn) totais e para os diferentes compartimentos da biomassa da árvore (em gramas, no caso dos macronutrientes e miligramas para os micronutrientes). As variáveis independentes foram: diâmetro à altura do peito (d), altura total (h), altura do fuste (h_f), diâmetro de copa (d_c), altura de copa (h_c), razão de copa (rc), altura dominante (h_{dom}) e idade; bem como, suas combinações e forma logarítmica.

Para a modelagem, foram levados em consideração os conteúdos de nutrientes nos seguintes compartimentos da biomassa: folhas; galhos menores do que 4 cm de diâmetro; galhos maiores ou iguais a 4 cm de diâmetro; madeira e casca. Além desses, foram considerados os conteúdos de nutrientes nos compartimentos: folhas + galhos menores do que 4 cm; lenha (madeira + casca + galhos maiores ou iguais a 4 cm) e a na biomassa aérea total. Tal compartimentalização foi realizada levando em consideração a utilização da biomassa da bracatinga e para possibilitar a construção de cenários de exportação de nutrientes dos bracatingais quando as equações de melhor desempenho forem utilizadas para estimativa do conteúdo de nutrientes.

Após ter especificado os objetivos da análise de regressão, selecionado as variáveis dependentes e independentes, abordado questões de planejamento da pesquisa e avaliado se as variáveis atendem os pré-requisitos da regressão, os modelos de regressão a serem ajustados foram especificados e avaliados.

Conforme recomendado por Draper e Smith (1980), foi construída uma matriz de correlação com todas as variáveis envolvidas no estudo e para selecionar as variáveis mais apropriadas para constituir o modelo matemático foi utilizado o procedimento *stepwise*.

Além da construção da matriz de correlação e do procedimento *stepwise*, foram ajustados diversos modelos matemáticos encontrados na literatura florestal, muito utilizados para obtenção de estimativas de volume individual das árvores.

Depois de ajustados, os diversos modelos matemáticos foram avaliados e selecionados de acordo com as suas estatísticas de ajuste e precisão, bem como, de acordo com a análise dos resíduos em porcentagem.

Após a verificação dos ajustes, precisão e ausência de padrões ou tendências na distribuição de resíduos dos modelos matemáticos, a atenção foi voltada para os aspectos práticos do modelo matemático. Os modelos matemáticos foram avaliados quanto à aceitabilidade e utilidade, isto é, se as variáveis independentes são realmente apropriadas para fornecer as estimativas desejadas.

Por fim, é possível se fazer previsões com o modelo matemático ajustado, aplicando o modelo a um novo conjunto de valores das variáveis independentes e calculando os valores da variável dependente. No entanto, fazendo isso, é necessário considerar os seguintes fatores que podem ter um sério impacto na qualidade das novas estimativas: (1) lembrar que as estimativas agora têm, não apenas as variações amostrais em relação à amostra original, mas também aquelas da amostra recém obtida; (2) assegurar que as condições e relações medidas no momento em que a amostra original foi obtida não mudaram substancialmente; (3) não usar o modelo para estimar além da amplitude das variáveis independentes encontradas na amostra (HAIR JR. *et al.*, 2005).

4.9.1 Matriz de Correlação

Foi construída uma matriz de correlação com os dados das 25 árvores amostradas. Entre variáveis diretamente medidas e as resultantes de combinações e transformações matemáticas somaram-se, ao todo, 42 variáveis independentes, as quais foram relacionadas com os conteúdos de nutrientes dos diferentes compartimentos da biomassa aérea da árvore e para a biomassa aérea total. Ao todo, foram 72 variáveis dependentes, entre conteúdo de macronutrientes (em g) e micronutrientes (em mg) por árvore, nos diferentes compartimentos da biomassa aérea da bracatinga (folhas; galhos < 4 cm; galhos \geq 4 cm; madeira e casca), para a biomassa aérea total, para biomassa de lenha (galhos \geq 4 cm + madeira + casca) e folhas + galhos < 4 cm.

Posteriormente, essas variáveis foram utilizadas no procedimento *stepwise* de seleção de variáveis na análise de regressão.

4.9.2 Procedimento *Stepwise*

Cada uma das 42 variáveis independentes foram avaliadas pelo procedimento *stepwise* quanto à sua contribuição na provisão de cada variável dependente, e assim, acrescentadas ou eliminadas do modelo de regressão.

Conforme relatado por Hair Jr. et al. (2005), no procedimento *stepwise* há múltiplos testes de significância para a seleção de variáveis na construção do modelo matemático. Dessa forma, deve se definir um nível de significância para que os valores de “F” parcial de cada variável do modelo matemático sejam testados. Nesta pesquisa o nível de significância utilizado para a inserção ou eliminação de variáveis foi de 10%.

4.9.3 Modelos Matemáticos Tradicionais

Além da construção da matriz de correlação e do procedimento *stepwise*, foram ajustados diversos modelos matemáticos encontrados na literatura florestal, originalmente utilizados para obtenção de estimativas de volume individual de árvores. Os modelos matemáticos são apresentados no Quadro 1, a seguir.

Denominação (Autor)	Modelo matemático
Kopezki & Gerhardt	$y = b_0 + b_1 d^2$
Hohenadl & Krenn	$y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
Husch	$\ln y = b_0 + b_1 \ln d$
Brenac	$\ln y = b_0 + b_1 \ln d + b_2 d^{-1}$
Spurr	$y = b_0 + b_1 d^2 h$
Spurr (forma logarítmica)	$\ln y = b_0 + b_1 \ln d^2 h$
Fator de forma constante	$y = b_1 d^2 h$
Variáveis combinadas generalizadas	$y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h + b_3 d^2 h$
Schumacher & Hall	$\ln y = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$
Näslund	$y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 dh^2 + b_4 h^2$
Meyer	$y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h + b_5 h$
Meyer (modificado)	$y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h$
Ogaya	$y = d^2 (b_0 + b_1 h)$
Takata	$y = \frac{d^2 h}{(b_0 + b_1 h)}$
Péllico Netto	$y = h(b_0 + b_1 d + b_2 d^2)$

QUADRO 1 - MODELOS MATEMÁTICOS COM SEUS RESPECTIVOS AUTORES OU DENOMINAÇÕES ENCONTRADOS NA LITERATURA FLORESTAL

FONTE: LOETSCH *et al.* (1973), PRODAN *et al.* (1997) e PÉLLICO NETTO (1986).

onde:

y = conteúdo de nutriente (g/mg);

d = diâmetro à altura do peito (cm);

h = altura total (m);

\ln = logaritmo natural.

4.9.4 Modelos Matemáticos Modificados

Para as estimativas dos conteúdos de nutrientes nos compartimentos da biomassa da copa e do fuste, foram ajustados modelos matemáticos que continham variáveis dendrométricas da copa e do fuste, respectivamente. Tais variáveis são: o diâmetro de copa (dc), a altura de copa (hc) e altura do fuste (hf), bem como suas combinações e formas logarítmicas. Os modelos ajustados para os compartimentos da biomassa da copa e do fuste são apresentados nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

Os modelos matemáticos modificados foram criados com base nos modelos tradicionais (QUADRO 1), porém as variáveis independentes foram selecionadas de acordo com os valores dos coeficientes de correlação com as variáveis dependentes, obtidos por meio da construção da matriz de correlação. As variáveis com os maiores coeficientes de correlação foram inseridas nos modelos matemáticos no lugar do diâmetro à altura do peito e da altura total, tradicionalmente utilizadas nos modelos do Quadro 1.

Modelos matemáticos modificados
$y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 dc^2$
$y = b_0 + b_1 dc^2 h$
$y = b_0 + b_1 d^2 hc$
$y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 dc^2 + b_3 hc + b_4 dc^2 h$
$y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 dc^2 + b_3 h + b_4 dc^2 h$
$y = b_0 + b_1 dc^2 + b_2 h + b_3 d^2 h + b_4 dc^2 h + b_5 dc^2 h^2$
$y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 hc + b_3 hc^2 + b_4 d^2 hc$
$y = b_0 + b_1 d^2 h + b_2 d^2 h^2 + b_3 hc + b_4 d^2 hc$
$\ln y = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln hc$
$\ln y = b_0 + b_1 \ln dc + b_2 \ln hc$

QUADRO 2 - MODELOS MATEMÁTICOS MODIFICADOS AJUSTADOS PARA OS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DA COPA DAS ÁRVORES

Modelos matemáticos modificados

$$y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 dc^2$$

$$y = b_0 + b_1 d^2 hf$$

$$\ln y = b_0 + b_1 \ln d^2 hf$$

$$y = b_0 + b_1 d^2 + b_2 hf + b_3 d^2 hf + b_4 dc^2 hf$$

$$\ln y = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln hf$$

QUADRO 3 - MODELOS MATEMÁTICOS MODIFICADOS AJUSTADOS PARA OS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DO FUSTE DAS ÁRVORES

onde:

y = conteúdo de nutriente (g/mg);

d = diâmetro à altura do peito (cm);

h = altura total (m);

dc = diâmetro de copa (m);

hc = altura de copa (m);

hf = altura do fuste (m);

\ln = logaritmo natural.

4.9.5 Seleção do Melhor Modelo Ajustado

A seleção do melhor modelo matemático ajustado foi feita com base nas seguintes estatísticas de ajuste e precisão: coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.), erro padrão da estimativa em porcentagem (syx%) e análise gráfica dos resíduos.

O R^2 aj. expressa a proporção da variação total da variável dependente explicada pela regressão, quanto mais próximo de 1, melhor terá sido o ajuste. 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 (HAIR JR. *et al.*, 2005; SCOLFORO, 1993). O R^2 aj. foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$R^2_{aj.} = 1 - \left[\left(\frac{\text{S.Q.res.}}{\text{S.Q.total}} \right) * \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right]$$

onde:

S.Q.res. = soma de quadrados do resíduo;

S.Q.total = soma de quadrados total;

n = número de observações;

p = número de coeficientes do modelo matemático.

O erro padrão da estimativa mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, sendo que, quanto mais baixo for o valor do syx%, melhor será a precisão da equação de regressão. O cálculo do syx e posteriormente do syx% foi feito da seguinte maneira:

$$\text{syx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \quad \text{syx}\% = \frac{\text{syx}}{\bar{Y}} * 100$$

onde:

syx = erro padrão da estimativa;

syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem;

Y_i = conteúdo de nutriente observado;

\hat{Y}_i = conteúdo de nutriente estimado;

\bar{Y} = conteúdo de nutriente médio observado;

n = número de observações;

p = número de coeficientes do modelo matemático.

Alguns modelos matemáticos ajustados apresentavam a variável dependente transformada matematicamente. Para tais modelos as estatísticas de ajuste e precisão devem ser recalculadas levando em consideração a variável de interesse, neste caso, o conteúdo de nutrientes. No entanto, para os modelos matemáticos logarítmicos não é suficiente calcular o antilogaritmo do resultado fornecido para

obter o conteúdo de nutrientes. Quando tal operação matemática é realizada, existe um erro devido a este artifício matemático chamado de discrepância logarítmica. Para corrigir esta diferença existe o Fator de correção de Meyer (Fm), para modelos que utilizam o logaritmo na base 10 e o logaritmo natural. Como os modelos matemáticos utilizavam logaritmo natural o Fator de Correção de Meyer utilizado foi:

$$F_m = e^{0,5 * (s_{yx}^2)}$$

onde:

e = base do logaritmo natural, 2,718281828...;

s_{yx} = erro padrão da estimativa.

Os modelos matemáticos de Ogaya, Takata e Péllico Netto também foram ajustados para uma variável dependente transformada, porém sem a utilização do logaritmo. No entanto, da mesma maneira que para os modelos logarítmicos, as estatísticas de ajuste e precisão foram recalculadas para a variável de interesse, conteúdo de nutrientes em g ou em mg.

A análise gráfica dos resíduos indica se o ajuste foi bom ao longo de toda a linha estimativa, se há ou não tendenciosidade e se a variância é homogênea. A análise gráfica dos resíduos tem sido considerada fundamental para o julgamento na análise de regressão. Embora seja subjetiva, é um teste indispensável. De acordo com Hair Jr. *et al.* (2005), qualquer violação dos pré-requisitos necessários para a análise de regressão podem ser identificados por padrões específicos do gráfico de resíduos. Para a construção dos gráficos, foram utilizados os resíduos em porcentagem (res. %).

$$\text{res. \%} = \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) * 100$$

onde:

Y_i = conteúdo de nutriente observado;

\hat{Y}_i = conteúdo de nutriente estimado.

Espera-se que o modelo matemático ajustado produza resíduos independentes, com a média igual, ou em torno de zero, com variância constante ao longo do eixo das abscissas e sem nenhuma tendência forte para ser maior ou menor que zero. Os gráficos de resíduos foram construídos sobre as variáveis conteúdo de nutrientes estimado e diâmetro à altura do peito.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 BIOMASSA

Na Tabela 1 são apresentados os teores de matéria seca (MS%) para os diferentes compartimentos da biomassa aérea da árvore. Os resultados apresentados foram obtidos calculando-se as médias dos teores de matéria seca para as 25 árvores amostradas.

TABELA 1 - TEORES MÉDIOS DE MATÉRIA SECA (%) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA

Componentes		MS %
Fuste	Madeira	50,78
	Casca	45,09
Copa	Galhos \geq 4 cm	51,60
	Galhos < 4 cm	51,97
	Folhas	41,10

Os teores de matéria seca para os compartimentos madeira e galhos apresentaram valores parecidos. No entanto, o compartimento galhos menores do que 4 cm de diâmetro apresentaram os maiores teores de matéria seca, dentre todos os outros compartimentos. Já as folhas apresentaram os menores teores de matéria seca. Urbano (2007) também encontrou maiores teores de matéria seca no compartimento galhos menores do que 4 cm e os menores teores de matéria seca nas folhas.

Os teores de matéria seca encontrados neste estudo são ligeiramente maiores do que os encontrados por Urbano (2007), para todos os compartimentos da biomassa, exceto casca. De acordo com Urbano (2007), há diferenças significativas entre o teor de matéria seca para os diferentes compartimentos da biomassa de bracatinga.

A Tabela 2 mostra o percentual do peso seco de cada compartimento da biomassa aérea em relação ao peso seco total da árvore. São apresentados os percentuais médios considerando todas as 25 árvores amostradas nos diferentes bracatingais da região metropolitana de Curitiba.

A maior proporção da biomassa aérea de bracatinga é composta pelo compartimento madeira do fuste. Em seguida, verificam-se as proporções de casca

do fuste e de galhos (10%) e com menores representatividades em termos de peso seco, encontram-se os compartimentos folhas e galhos secos.

TABELA 2 - PERCENTUAIS MÉDIOS DO PESO SECO DOS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA EM RELAÇÃO AO PESO SECO TOTAL PARA BRACATINGA

Componentes		Peso Seco %
Fuste	Madeira	65,09
	Casca	10,00
Copa	Galhos \geq 4 cm	9,57
	Galhos < 4 cm	9,70
	Galhos Secos	2,84
	Folhas	4,32

Os valores apresentados na Tabela 2 são muito semelhantes aos encontrados por Urbano (2007), porém o percentual de peso seco do fuste apresentado neste trabalho foi ligeiramente maior. São compatíveis aos apresentados por Baggio e Carpanezi (1997a), que também estudaram a biomassa de bracatinga em povoamentos da região metropolitana de Curitiba. Carbonera Pereira *et al.* (1997) e Schumacher e Caldeira (2001) encontraram valores semelhantes para a distribuição da biomassa aérea em diferentes compartimentos para *Acacia mearnsii* com 9 anos de idade e *Eucalyptus globulus* com 4 anos de idade, respectivamente.

A Tabela 3 apresenta o peso seco médio para cada compartimento da biomassa aérea e para o total. Com base nas 25 árvores amostradas nos diferentes bracatingais amostrados da região metropolitana de Curitiba.

O peso seco médio da porção aérea da árvore ficou em torno de 60 kg. As proporções do peso seco dos compartimentos da biomassa são compatíveis àquelas apresentadas na Tabela 2. Os resultados encontrados neste estudo para o peso seco das árvores de bracatinga foram muito maiores do que os obtidos por Baggio e Carpanezi (1997a), que encontraram peso seco médio de 32,32 kg por árvore. Esses autores realizaram um estudo de quantificação da biomassa em diversos povoamentos de bracatinga na região metropolitana de Curitiba, todos com idade de 7 anos. Já os resultados deste estudo são baseados em árvores de diversas idades, majoritariamente superiores a 7 anos, justificando assim a divergência com os resultados encontrados por Baggio e Carpanezi (1997a).

TABELA 3 - PESO SECO MÉDIO PARA CADA COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA E PARA O TOTAL, EM kg POR ÁRVORE

Componentes		Peso Seco (kg)
Fuste	Madeira	37,215
	Casca	5,417
Copa	Galhos \geq 4 cm	7,498
	Galhos < 4 cm	5,144
	Galhos Secos	1,680
	Folhas	2,428
Total		58,183

No entanto, os resultados de biomassa aérea total apresentados na tabela 3 são próximos aos encontrados por Carbonera Pereira *et al.* (1997) para *Acacia mearnsii* com 9 anos de idade e Hoppe (2003) para *Platanus x acerifolia* com 5,5 anos de idade.

5.2 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

A seguir as concentrações de nutrientes são apresentadas para cada compartimento da biomassa aérea separadamente, devido às grandes diferenças que existem entre cada compartimento. Posteriormente, as concentrações de nutrientes de cada compartimento são apresentadas segundo as diferentes classes de sítio, classes de idade e de diâmetro, para tornar evidente possíveis diferenças nas concentrações de nutrientes de acordo com cada um desses três fatores.

5.2.1 Concentração de Nutrientes por Compartimento da Biomassa

A análise estatística para detectar os efeitos dos diferentes compartimentos da biomassa sobre as concentrações de nutrientes não pôde ser concluída, já que a grande maioria dos delineamentos experimentais apresentaram valores do qui-quadrado significativos (nível de significância de 5%) no teste de Bartlett, mesmo com as variáveis do estudo sendo transformadas por meio de diferentes operações matemáticas. Isso se deve ao fato de que as variâncias dos tratamentos são proporcionais as suas médias, como os valores das concentrações de nutrientes das folhas são muito superiores aos valores da madeira, por exemplo, então as variâncias também apresentaram uma grande diferença e conseqüentemente valor do qui-quadrado significativo.

Embora a análise estatística não tenha sido concluída, é conhecido que cada compartimento da biomassa possui uma concentração de nutriente relativa à sua função, geralmente, apresentando o seguinte gradiente de concentração: folhas > casca > galhos > madeira (alburno > cerne), conforme mencionado por Bellote e Silva, (2004).

Na Tabela 4 são apresentadas as concentrações médias de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa aérea, calculadas com base nas 25 árvores amostradas.

TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DOS NUTRIENTES POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA, EM g.kg^{-1} PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg^{-1} PARA OS MICRONUTRIENTES

Nutrientes	Copa			Fuste	
	Folha	Galhos < 4	Galhos \geq 4	Madeira	Casca
N	25,01	12,81	8,27	2,06	15,44
P	1,47	0,26	0,17	0,09	0,32
K	4,96	3,31	3,74	2,50	4,87
Ca	6,47	5,65	3,73	1,07	12,56
Mg	1,78	0,50	0,42	0,20	0,62
Fe	118,54	32,53	10,08	63,86	77,73
Mn	193,82	74,83	45,76	17,76	112,58
Cu	20,61	17,63	17,59	4,50	14,30
Zn	18,94	3,40	3,56	3,03	7,02

Os nutrientes N, P, K, Mg, Mn e Zn apresentaram a seguinte ordem decrescente de concentração relativa aos diferentes compartimentos da biomassa: folhas > casca > galhos > madeira. O Ca apresentou as maiores concentrações no compartimento casca, seguido pelo compartimento folhas, galhos e por último, madeira. Para o Fe ocorreu uma inversão na posição entre os compartimentos madeira e galhos, pois a madeira apresentou maior concentração do que os galhos. Para o Cu ocorreu uma inversão na posição entre os compartimentos casca e galhos, pois os galhos apresentaram maiores concentrações desse nutriente do que a casca.

Todos os nutrientes apresentaram as maiores concentrações nas folhas, exceto o Ca, o qual apresentou a maior concentração para o compartimento casca. Esse mesmo resultado foi encontrado por Caldeira *et al.* (2000a), Carbonera Pereira *et al.* (2000) e Caldeira *et al.* (2001a) para *Acacia mearnsii*. Das seis espécies de

eucalipto estudadas por Wise e Pitman (1981), quatro apresentaram as maiores concentrações de Ca na casca.

Drumond *et al.* (1997) estudaram a distribuição de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de várias espécies da Mata Atlântica. De modo geral, os nutrientes apresentaram a seguinte ordem decrescente de concentração relativa aos diferentes compartimentos da biomassa: folhas > galhos > casca > madeira. No entanto, os autores ressaltaram que a concentração de Ca na casca é uma exceção a essa afirmativa, visto que ela é, em geral, superior à concentração nos galhos e nas folhas. Com relação ao nutriente Ca, o mesmo comportamento foi observado por Caldeira (2003a), para a maioria das espécies da Floresta Ombrófila Mista Montana.

Pereira *et al.* (1984), Timoni e Pagano (1986) e Freitas *et al.* (2004), além do Ca, encontraram maiores concentrações de outros elementos, como P, Mg e Fe, na casca, quando comparados com os demais compartimentos da biomassa, para espécies de eucalipto e pinus.

Baggio e Carpanezzi (1997a) encontraram que todos os nutrientes apresentaram as maiores concentrações nas folhas da bracatinga, quando comparados com os demais compartimentos da biomassa. No entanto, esses autores não apresentaram as concentrações de nutrientes para a casca separadamente. Resultados semelhantes aos de Baggio e Carpanezzi (1997a) foram encontrados por Moura *et al.* (2006), para *Mimosa caesalpiniaefolia*; Caldeira *et al.* (2000b), para *Acacia mearnsii*; e Castro *et al.* (1980), para *Pinus oocarpa*.

De maneira geral, a ordem das concentrações dos nutrientes analisados para os diferentes compartimentos da biomassa foi: N > Ca > K > Mg > P > Mn > Fe > Cu > Zn. No entanto, ocorreram algumas inversões nas posições de alguns nutrientes em alguns compartimentos da biomassa. Nos galhos maiores ou iguais a 4 cm a concentração de K foi superior a de Ca e na madeira foi superior até mesmo da de N. Na madeira a concentração de Fe foi superior a de Mn e nos galhos maiores ou iguais a 4 cm foi inferior a concentração de Cu.

Baggio e Carpanezzi (1997a) encontraram uma ordem semelhante das concentrações dos nutrientes para todos os compartimentos da biomassa de bracatinga, porém foi verificada a predominância do K sobre o Ca e do Zn sobre o Cu.

Na maioria dos trabalhos encontrados na literatura, para diversas espécies florestais, há predominância do nutriente K sobre o Ca (BAGGIO; CARPANEZZI, 1997a; CASTRO *et al.*, 1980; POGGIANI; COUTO, 1983; PEREIRA *et al.*, 1984; CALDEIRA *et al.*, 2000a; CALDEIRA *et al.*, 2000b; CALDEIRA *et al.*, 2001a).

Entretanto, há relatos da predominância do Ca sobre o K nas pesquisas desenvolvidas por Singh (1982), para *Pinus patula*; Drumond *et al.* (1997), para várias espécies da Mata Atlântica e Carbonera Pereira *et al.* (2000), para *Acacia mearnsii*.

É importante ressaltar que o K apresentou concentrações maiores que o Ca e até mesmo que o N, para o compartimento madeira. Esse mesmo resultado comparativo entre as concentrações de K, Ca e N na madeira foi encontrado por Caldeira *et al.* (2000a), Caldeira *et al.* (2000b), Caldeira *et al.* (2001a).

De acordo com Caldeira *et al.* (2001b) e Caldeira *et al.* (2003b), a concentração de Fe foi superior a de Mn em todos os compartimentos da biomassa de *Acacia mearnsii*, contrário do que pode ser observado para os resultados deste estudo para bracatinga. E as concentrações de Zn foram sempre superiores as de Cu, semelhante aos resultados encontrados por Baggio e Carpanezi (1997a).

O nitrogênio e o fósforo fazem parte do grupo de nutrientes que formam fortes ligações com o carbono ou oxigênio. A combinação desses elementos com moléculas orgânicas produzem estruturas básicas como as proteínas (no caso do nitrogênio), os fosfolipídios (fósforo) e ácidos nucleicos. Além disso, o fósforo é um constituinte essencial dos sistemas de transporte e energia celular (PERRY, 1994; BINKLEY, 1986).

As concentrações médias de N nas folhas e nos galhos apresentadas na Tabela 5 são compatíveis às apresentadas por Baggio e Carpanezi (1997a) para bracatinga, embora esses autores tenham encontrado valores um pouco mais altos para a concentração de N nas folhas. Ainda assim, os resultados das concentrações de nitrogênio nas folhas e nos galhos encontradas neste estudo foram superiores à maioria das concentrações encontradas para diferentes espécies florestais leguminosas (CALDEIRA *et al.*, 2000a; CALDEIRA *et al.*, 2000b; CALDEIRA *et al.*, 2001a; MOURA *et al.*, 2006). Os resultados da concentração de N nas folhas encontradas neste estudo estão dentro dos limites usuais indicados por Perry (1994) e por Epstein e Bloom (2006), porém acima dos indicados por Binkley (1986). As concentrações de N na casca e na madeira da bracatinga foram semelhantes às

encontradas por Caldeira *et al.* (2000a), Caldeira *et al.* (2000b) e Caldeira *et al.* (2001a), para *Acacia mearnsii* e por Moura *et al.* (2006), para *Mimosa caesalpiniaefolia*.

As concentrações de P apresentadas na Tabela 5 foram semelhantes às encontradas por Baggio e Carpanezzi (1997a), em todos os compartimentos da biomassa de bracatinga. As concentrações de P foliares apresentaram valores dentro dos limites usuais indicados por Perry (1994).

O grupo dos nutrientes potássio, cálcio e magnésio desempenham inúmeras funções na fisiologia das plantas. O K é o elemento mais eficiente para ativar mais de 60 tipos de enzimas diferentes, entre 15 e 20% do Mg na célula vegetal faz parte da molécula de clorofila e o Ca, além de componente estrutural da lamela média, é requerido nos processos de alongamento, divisão celular e na membrana plasmática das células (PERRY, 1994; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

As concentrações de K foram sempre mais baixas quando comparadas com outros estudos, envolvendo bracatinga (BAGGIO; CARPANEZZI, 1997a) e outras espécies florestais leguminosas (CALDEIRA *et al.*, 2000a; CALDEIRA *et al.*, 2000b; CALDEIRA *et al.*, 2001a; MOURA *et al.*, 2006). As diferenças foram mais acentuadas para as concentrações de K nas folhas e menos acentuadas na madeira. A concentração de K nas folhas encontrada neste estudo está próxima ao limite inferior de variação usual e dentro da zona de deficiência relatados por Perry (1994) para folhagem de espécies florestais.

O Ca apresentou concentrações mais altas quando comparado com os trabalhos de Baggio e Carpanezzi (1997a), Caldeira *et al.* (2000a), Caldeira *et al.* (2000b) e Caldeira *et al.* (2001a), em todos os compartimentos da biomassa, principalmente na casca e nas folhas. No entanto, quando comparadas com os resultados encontrados por Moura *et al.* (2006), as concentrações de Ca encontradas neste estudo foram ligeiramente mais baixas, exceto para a madeira.

As concentrações de Mg nas folhas de bracatinga encontradas neste estudo foram compatíveis com as encontradas por Baggio e Carpanezzi (1997a), Caldeira *et al.* (2000a), Caldeira *et al.* (2000b) e Caldeira *et al.* (2001a). Todavia, as concentrações de Mg nos demais componentes da biomassa apresentaram valores um pouco aquém dos encontrados por esses autores.

Todos os micronutrientes, exceto o Boro, são essenciais para a atividade de uma ou mais enzimas. Além das suas funções na atividade enzimática, o Fe e o Mn

desempenham importante papel em alguns processos da fotossíntese (PERRY, 1994).

De maneira geral as concentrações de Fe nas folhas e nos galhos encontradas neste estudo foram menores do que as encontradas por Baggio e Carpanezi (1997a), para bracinga e Caldeira *et al.* (2001b), Caldeira *et al.* (2003b), para *Acacia mearnsii*. Entretanto, as concentrações de Fe na madeira foram maiores do que as encontradas por esses autores.

As concentrações de Mn apresentadas na Tabela 5 foram menores em todos os compartimentos da biomassa aérea de bracinga, quando comparadas com os resultados encontrados por Baggio e Carpanezi (1997a), porém maiores quando comparadas aos de Caldeira *et al.* (2001b) e Caldeira *et al.* (2003b).

As concentrações de Cu apresentadas foram altas se comparadas com os trabalhos de Baggio e Carpanezi (1997a), Caldeira *et al.* (2001b) e Caldeira *et al.* (2003b), em geral o dobro. Entretanto, o oposto pôde ser verificado para as concentrações de Zn, em todos os compartimentos da biomassa.

5.2.2 Concentração de Nutrientes por Classe de Sítio

Nas Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9 são apresentadas as concentrações médias dos nutrientes analisados para as diferentes classes de sítio, para cada um dos compartimentos da biomassa. As árvores foram agrupadas por classe de sítio segundo as curvas de sítio desenvolvidas por Machado *et al.* (1997). O teste de Tukey foi aplicado com nível de significância de 5% para verificar quais classes de sítio apresentavam concentrações de nutrientes diferentes.

Os valores de “F” das análises de variância (APÊNDICE 1) detectaram diferenças significativas apenas nas concentrações de P e K nas folhas. Na Tabela 5 é possível observar que esses dois nutrientes apresentaram tendência de diminuição das concentrações no compartimento folhas à medida que piora a qualidade do sítio. Essa mesma tendência pode ser observada para os nutrientes Ca, Fe e Cu, porém sem significância estatística, dessa maneira, essa tendência vale somente para a amostra tomada neste estudo e não pode ser generalizada para todos os bracingais da região metropolitana de Curitiba. Os demais nutrientes não apresentaram qualquer tendência definida, dificultando a interpretação das variações com relação às diferentes classes de sítio.

TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	25,89	1,75	5,70	8,52	2,39	138,26	173,90	21,18	22,42
	-	a	a	-	-	-	-	-	-
II	26,07	1,53	4,95	7,21	1,67	132,73	146,78	20,81	16,48
	-	ab	ab	-	-	-	-	-	-
III	24,25	1,33	4,91	6,09	1,51	103,41	159,74	20,66	19,32
	-	b	ab	-	-	-	-	-	-
IV	23,95	1,29	4,32	4,14	1,60	102,30	300,54	19,78	17,48
	-	b	b	-	-	-	-	-	-

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

No compartimento galhos menores do que 4 cm, os nutrientes P, Mg e Mn apresentaram concentrações significativamente diferentes de acordo com os valores de “F” da análise de variância (APÊNDICE 2). As concentrações de P e Mg apresentaram os maiores valores para as melhores classes de sítio, já o Mn apresentou maior e único valor significativamente diferente para a pior classe de sítio, conforme apresentado na Tabela 6. Os nutrientes N, K e Ca apresentaram as maiores concentrações na classe de sítio I, porém não apresentaram diferenças significativas com as demais classes de sítio. Os nutrientes Fe, Cu e Zn não apresentaram uma distribuição de valores consistente, nem qualquer tendência definida.

TABELA 6 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	13,48	0,31	4,46	6,52	0,76	25,66	68,58	18,86	2,55
	-	a	-	-	a	-	b	-	-
II	11,83	0,27	3,13	5,36	0,35	39,42	43,64	15,53	3,38
	-	ab	-	-	b	-	b	-	-
III	13,24	0,23	3,35	5,33	0,48	28,59	51,19	18,96	4,52
	-	b	-	-	ab	-	b	-	-
IV	12,63	0,24	2,28	5,47	0,41	37,11	139,85	16,96	2,97
	-	b	-	-	b	-	a	-	-

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

De acordo com os valores de “F” da análise de variância para as diferentes concentrações de nutrientes no compartimento galhos maiores ou iguais a 4 cm (APÊNDICE 3), apenas o Cu apresentou diferenças significativas entre as classes de sítio, apresentando os maiores valores para as melhores classes de sítio. Conforme pode ser observado na Tabela 7, os nutrientes N, P e Mg apresentaram os maiores valores para a classe de sítio I; o contrário pode ser observado para as concentrações de Mn, porém sem significância estatística. Os demais nutrientes não apresentaram qualquer tendência definida.

TABELA 7 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg^{-1} PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg^{-1} PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	9,88	0,20	4,01	3,79	0,54	7,65	37,18	19,01	2,53
	-	-	-	-	-	-	-	a	-
II	8,21	0,17	3,80	3,85	0,32	11,76	37,58	17,52	2,28
	-	-	-	-	-	-	-	ab	-
III	7,13	0,13	4,08	4,09	0,45	8,28	48,26	16,88	5,40
	-	-	-	-	-	-	-	b	-
IV	8,39	0,19	2,39	2,59	0,33	14,98	70,59	17,04	3,56
	-	-	-	-	-	-	-	b	-

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Conforme os valores de “F” da análise de variância para as diferentes concentrações de nutrientes no compartimento madeira (APÊNDICE 4), somente o Mn apresentou diferenças significativas entre as diferentes classes de sítio (TABELA 8), apresentando os maiores valores para as piores classes de sítio. Essa mesma tendência foi observada para os compartimentos galhos menores e maiores ou iguais a 4 cm. De acordo com as concentrações de nutrientes apresentadas na Tabela 8, o P, K, Ca, Mg e Fe apresentaram os maiores valores para as melhores classes de sítio, contudo sem significância estatística. Os nutrientes N, Cu e Zn não apresentaram qualquer tendência definida.

TABELA 8 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	1,86	0,10	2,80	1,25	0,27	67,59	15,97	4,37	2,16
	-	-	-	-	-	-	ab	-	-
II	2,06	0,09	2,54	1,02	0,17	60,04	9,00	4,24	4,49
	-	-	-	-	-	-	b	-	-
III	2,32	0,08	2,80	1,09	0,18	65,12	18,28	4,76	2,58
	-	-	-	-	-	-	ab	-	-
IV	1,95	0,09	1,79	0,93	0,19	62,47	27,69	4,57	2,96
	-	-	-	-	-	-	a	-	-

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Da mesma maneira que nas folhas, somente os nutrientes P e K apresentaram concentrações significativamente diferentes de acordo com os valores de “F” da análise de variância (APÊNDICE 5) para o compartimento casca. Como pode ser observado na Tabela 9, as concentrações de P e K apresentam tendência de diminuição à medida que piora a qualidade do sítio. Todos os demais nutrientes não apresentaram uma distribuição de valores consistente, nem qualquer tendência definida. Entretanto, vale ressaltar que a maior concentração de Mn ocorreu na pior classe de sítio, da mesma maneira que ocorreu para outros compartimentos da biomassa aérea de bracatinga.

TABELA 9 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	15,35	0,34	6,57	12,84	0,64	65,49	110,64	14,50	6,39
	-	ab	a	-	-	-	-	-	-
II	14,37	0,37	4,72	13,83	0,47	94,22	79,84	14,80	7,17
	-	a	ab	-	-	-	-	-	-
III	15,95	0,27	4,71	13,05	0,74	69,41	91,76	13,94	7,04
	-	b	ab	-	-	-	-	-	-
IV	15,98	0,30	3,50	10,45	0,61	83,20	171,56	14,03	7,49
	-	ab	b	-	-	-	-	-	-

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

De acordo com Silveira *et al.* (2004), os nutrientes nas folhas estão relacionados com o desenvolvimento e produção da planta. Isso faz com que a análise foliar seja o critério mais apropriado para determinar o estado nutricional de plantas perenes, juntamente com a análise de solo. Com isso em mente e observando os valores da Tabela 5, a qual apresenta as concentrações de nutrientes nas folhas nos diferentes níveis de produtividade (sítios), é possível supor que P e K são os nutrientes que mais afetam a produtividade e o desenvolvimento dos bracatingais da região metropolitana de Curitiba.

A respeito do fósforo, Jordan (1985) relatou forte gradiente na concentração de P foliar em diferentes sítios florestais, contudo não encontrou correlação do P foliar com o P total contido no solo. Jordan (1985) sugeriu então, que a disponibilidade do P no solo era o ponto crítico e não o P total contido no solo. Por sua vez, a disponibilidade do P depende do pH e do cálcio disponível no solo (BRADY⁵, 1974, *apud* JORDAN, 1985). Os bracatingais mais produtivos avaliados por Ziller *et al.* (1996), na região metropolitana de Curitiba, correspondiam aos solos com pH menos ácidos, maiores concentrações de Ca, maior soma de bases e, teoricamente, maior disponibilidade de P.

Na Tabela 5 observa-se um gradiente de concentração de K da melhor classe de sítio para a pior, em que os maiores valores ocorrem para a melhor classe de sítio. Apenas a classe de sítio I apresentou concentração fora da zona de deficiência relatada por Perry (1994), de 5 g.kg⁻¹, todavia até mesmo o valor de 5,7 g.kg⁻¹ da classe de sítio I é considerado baixo.

O nitrogênio, assim como potássio, é um dos nutrientes mais importantes quantitativamente para o desenvolvimento das plantas. Contudo, conforme os resultados desta pesquisa, a concentração de nitrogênio não apresentou influências significativas das diferentes classes de sítios. O fato do nitrogênio não ser um dos nutrientes que influenciam a produtividade dos bracatingais provavelmente está relacionado ao fato de que a bracatinga é uma espécie leguminosa e tem capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico por meio de associações simbióticas com bactérias do solo, coletivamente chamadas de rizóbios (EPSTEIN; BLOOM, 2006). É possível afirmar então, que a capacidade de absorção de N, seja

⁵ BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. New York: Macmillan, 1974. 639 p.

por meio de associações simbióticas com bactérias ou outro processo, não foi influenciada pelas diferentes classes de sítio dos bracatingais.

Em todos os compartimentos da biomassa o manganês apresentou as maiores concentrações na pior classe de sítio, mesmo sem significância estatística para a maioria dos compartimentos da biomassa essa tendência sempre apareceu. De forma contrária, o magnésio sempre apresentou as maiores concentrações para a classe de sítio I, exceto para o compartimento casca (TABELAS 5 a 9). Dentre as funções desses dois nutrientes está a ativação de um considerável número de enzimas e em algumas dessas ativações o Mn pode substituir o Mg e vice-versa (PERRY, 1994; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

5.2.3 Concentração de Nutrientes por Classe de Idade

As Tabelas 10, 11, 12, 13 e 14 apresentam as concentrações de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de bracatinga em cada classe de idade.

De acordo com os valores de “F” apresentados no Apêndice 1, os nutrientes P, Ca, Mg e Mn foliares apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as classes de idade. Nota-se, na Tabela 10, que os nutrientes P, Ca e Mg apresentaram as maiores concentrações para a menor classe de idade, porém uma tendência evidente de diminuição da concentração de nutrientes com o aumento da idade pode ser notada somente para o magnésio. O Mn não apresentou nenhuma tendência definida de aumento ou diminuição com relação à idade. Os demais nutrientes, exceto o nitrogênio, apresentaram as maiores concentrações para a menor classe de idade.

Nos galhos menores do que 4 cm, as concentrações de N, P, Mn e Cu apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as diferentes classes de idade (APÊNDICE 2 e TABELA 11). As concentrações de P possuem tendência de diminuição à medida que a idade das árvores aumenta, já as concentrações de N e Cu apresentaram o comportamento oposto. O Mn não tem uma distribuição de valores consistente, a classe de idade de 8 a 9,9 anos contém os maiores valores enquanto que a classe de 6 a 7,9 os menores. Assim como o fósforo, Ca, Mg e Fe apresentaram os maiores valores para a menor classe de idade, porém sem significância estatística. Entretanto, K e o Zn apresentaram os maiores valores para as maiores classes de idade, mas também sem significância estatística.

TABELA 10 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	22,53 -	1,68 a	5,39 -	9,04 a	2,30 a	144,15 -	105,53 b	21,28 -	20,41 -
8,0-9,9	22,90 -	1,25 b	4,35 -	4,57 b	1,63 ab	85,77 -	339,78 a	20,09 -	17,93 -
10,0-11,9	28,69 -	1,51 ab	4,80 -	4,80 b	1,44 b	115,05 -	208,77 ab	19,68 -	16,65 -
12,0-	28,31 -	1,17 b	4,91 -	4,96 b	1,19 b	100,71 -	209,67 ab	20,99 -	19,98 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

TABELA 11 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	11,86 b	0,30 a	3,40 -	6,01 -	0,57 -	37,57 -	35,63 b	15,13 c	2,70 -
8,0-9,9	12,11 ab	0,25 bc	2,47 -	6,09 -	0,42 -	36,40 -	146,39 a	16,18 bc	3,44 -
10,0-11,9	14,57 a	0,26 ab	3,36 -	4,90 -	0,53 -	27,17 -	87,12 ab	21,29 a	3,05 -
12,0-	13,44 ab	0,20 c	4,04 -	5,34 -	0,37 -	23,16 -	64,96 ab	20,22 ab	5,62 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

De acordo com os valores de “F” (APÊNDICE 3), as concentrações de N, Mn e Cu nos galhos maiores ou iguais a 4 cm apresentaram valores significativamente diferentes entre as classes de idade. O Mn apresentou a menor concentração para a menor classe de idade, o contrário pode ser observado para o Cu, contudo nenhum dos dois elementos apresenta tendência clara de diminuição ou aumento com relação às classes de idade. Os demais nutrientes também não apresentaram tendências claras, exceto o Zn, o qual apresentou aumento com idade, contudo sem significância estatística (TABELA 12).

TABELA 12 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	8,09 a	0,18 -	3,44 -	4,29 -	0,47 -	8,57 -	29,29 b	18,27 a	3,10 -
8,0-9,9	8,42 a	0,19 -	2,46 -	2,77 -	0,25 -	12,18 -	64,37 a	16,31 b	3,11 -
10,0-11,9	10,47 a	0,19 -	4,11 -	3,43 -	0,48 -	13,82 -	53,91 ab	17,92 ab	3,44 -
12,0-	5,31 b	0,12 -	4,53 -	3,42 -	0,29 -	6,82 -	61,28 a	16,22 b	5,02 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Na madeira, as concentrações de K, Mn e Cu apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as diferentes classes de idade (APÊNDICE 4). Na Tabela 13, é possível observar que as menores concentrações de K, Mn e Cu ocorreram para as menores classes de idade, entretanto, somente o Cu apresenta uma tendência de aumento bem definida com relação à idade. É possível notar uma leve tendência de aumento das concentrações de N e Zn com relação à idade, contudo sem significância estatística. Os demais nutrientes não apresentaram tendências claras de aumento ou diminuição com relação à idade.

TABELA 13 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	1,83 -	0,10 -	2,08 ab	1,12 -	0,21 -	63,42 -	8,66 b	3,98 b	3,02 -
8,0-9,9	1,87 -	0,09 -	1,67 b	0,98 -	0,19 -	62,15 -	27,14 a	4,44 ab	3,24 -
10,0-11,9	2,33 -	0,10 -	3,06 ab	0,92 -	0,25 -	61,00 -	20,20 ab	5,04 a	2,24 -
12,0-	2,44 -	0,07 -	3,71 a	1,29 -	0,12 -	71,39 -	25,13 a	5,06 ab	3,95 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

De acordo com os valores de “F” apresentados no Apêndice 5, as concentrações de N, P, Ca e Mn na casca da bracatinga apresentaram diferenças significativas para as diferentes classes de idade. Para as concentrações de P e Ca, os maiores valores foram encontrados para a menor classe de idade, já para o N e Mn não (TABELA 14). Entretanto, nenhuma tendência clara de aumento ou diminuição das concentrações em relação à idade pode ser identificada. Os demais nutrientes também não apresentaram uma distribuição de valores consistente que permitisse identificar tendências de aumento ou diminuição com a idade, exceto para o Fe, o qual apresentou leve tendência de diminuição com o aumento da idade.

TABELA 14 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	14,08 b	0,35 a	5,41 -	14,74 a	0,70 -	87,02 -	62,45 b	14,66 -	6,28 -
8,0-9,9	15,96 ab	0,29 ab	3,59 -	10,79 b	0,54 -	75,35 -	162,71 a	13,47 -	7,71 -
10,0-11,9	17,07 a	0,35 a	4,96 -	10,99 b	0,61 -	70,16 -	150,17 a	14,68 -	6,71 -
12,0-	15,72 ab	0,23 b	4,96 -	11,68 ab	0,54 -	68,87 -	118,88 ab	13,87 -	8,50 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Segundo Laclau *et al.* (2000), a idade teve efeito estatisticamente significativo na concentração de todos os macronutrientes, nos compartimentos da biomassa aérea de eucalipto, com raras exceções. De maneira geral, os nutrientes apresentaram tendência de diminuição com o aumento da idade das árvores, em todos os compartimentos da biomassa. No entanto, em alguns casos as concentrações de nutrientes permaneceram relativamente estáveis, ou até mesmo aumentaram com a idade, principalmente na casca.

Pereira *et al.* (1984) e Ranger *et al.* (1995) encontraram diferenças significativas entre as concentrações de nutrientes em diferentes idades, para *Eucalyptus grandis* e *Pseudotsuga menziesii*, respectivamente. De maneira geral, a concentração dos nutrientes apresentou tendência de diminuição com o aumento da idade.

De acordo com Ranger *et al.* (1995), o decréscimo na concentração de nutrientes ao longo da idade é controlado por três processos: i) o decréscimo da biomassa foliar com a idade, juntamente com a queda das folhas e acúmulo de serapilheira no piso da floresta; ii) a diminuição do incremento corrente anual; iii) o decréscimo da taxa de imobilização dos nutrientes com a idade de acordo com o chamado efeito de diluição, ligado ao crescimento acumulado da árvore.

Por outro lado Singh (1982), não encontrou tendências estatisticamente significativas da concentração de nutrientes com relação à idade de árvores de *Pinus patula*. Entretanto, observou tendências de diminuição da concentração dos nutrientes na madeira com o aumento da idade, exceto para o Ca, mesmo que sem significância estatística. As concentrações de K, P e Mg nas folhas foram um pouco maiores nas árvores mais velhas, enquanto que as concentrações de N, Ca e Na foram menores.

É possível notar que muitas concentrações de nutrientes apresentadas (TABELAS 10 a 14) não possuem tendências bem definidas com relação à idade. Por exemplo, o Mn apresentou diferenças significativas entre as diferentes classes de idade em todos os compartimentos da biomassa, e apresentou as maiores concentrações na classe de idade de 8 a 9,9 anos. Isso pode ser atribuído a outros fatores que não a idade, no caso do Mn pode ser atribuído ao sítio, já que a maioria das árvores da classe de idade de 8 a 9,9 anos pertencem à classe de sítio IV, justamente a que apresentou as maiores concentrações de Mn (TABELAS 5 a 9). Este problema poderia ter sido solucionado com a ampliação da amostragem abrangendo uma maior variação etária, juntamente com o controle desses outros fatores tais como o sítio dentro de cada classe de idade.

TABELA 17 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	7,64	0,17	3,32	3,46	0,46	14,00	54,40	17,12	4,49
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0-12,9	8,92	0,18	4,28	4,19	0,37	9,67	47,86	17,84	3,18
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13,0-	8,18	0,16	3,59	3,53	0,42	7,50	37,44	17,72	3,20
	-	-	-	-	-	-	-	-	-

No compartimento madeira, as concentrações de P e Ca apresentaram diferenças significativas entre as classes de diâmetro (APÊNDICE 4). Mesmo apresentando diferenças significativas de acordo com o teste de “F”, as concentrações de fósforo não apresentaram diferenças significativas segundo o teste de Tukey (5%). Mesmo assim, verifica-se que as maiores concentrações de P ocorreram nas menores classes de diâmetro. As maiores concentrações de Ca ocorreram na classe diamétrica intermediária. Para a maioria dos demais nutrientes, a classe diamétrica intermediária apresentou as maiores concentrações, porém sem apresentar diferenças estatisticamente significativas (TABELA 18).

TABELA 18 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	1,99	0,10	2,18	0,94	0,19	58,43	19,66	4,45	2,95
	-	a	-	b	-	-	-	-	-
10,0-12,9	2,29	0,10	3,18	1,41	0,24	73,37	18,83	4,58	4,76
	-	a	-	a	-	-	-	-	-
13,0-	1,93	0,08	2,29	0,94	0,19	62,32	14,45	4,49	1,62
	-	a	-	b	-	-	-	-	-

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

TABELA 19 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g.kg⁻¹ PARA OS MACRONUTRIENTES E mg.kg⁻¹ PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	15,18	0,31	4,54	11,71	0,66	84,59	133,64	13,99	7,94
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0-12,9	14,59	0,33	5,76	12,74	0,54	78,97	91,66	14,77	6,66
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13,0-	16,49	0,32	4,50	13,48	0,64	68,09	104,57	14,29	6,20
	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Baggio (1994) analisou as concentrações de nutrientes para diferentes classes de diâmetro à altura do peito para bracatingais da região metropolitana de Curitiba. Dentre os nutrientes analisados, poucos apresentaram diferenças significativas entre as classes diamétricas e mesmo os que apresentaram diferenças significativas não apresentaram uma distribuição constante ao longo das diferentes classes diamétricas, o que impossibilitou a interpretação do sentido geral da variação.

No entanto, Ranger *et al.* (1995) construíram uma matriz de correlação entre os parâmetros dendrométricos e as concentrações de nutrientes na biomassa de *Pseudotsuga menziesii* e verificaram correlações negativas entre essas variáveis, inclusive diâmetro à altura do peito e concentração de nutrientes. Os mesmos resultados foram encontrados por Laclau *et al.* (2000) para as dimensões de árvores de eucalipto e suas concentrações de nutrientes nos compartimentos da biomassa com maior lignificação (madeira, casca e galhos). Isso pode ser atribuído ao fato de que a proporção de tecidos funcionais dos compartimentos da biomassa com menor lignificação é maior nas árvores menores e mais jovens (RANGER *et al.*, 1995).

Como pode ser observado nas Tabelas 15 a 19, muitos nutrientes apresentaram as maiores concentrações na classe diamétrica intermediária. Isso pode ser atribuído ao fato de que a maior parte das árvores dessa classe diamétrica pertencerem aos sítios I e II.

5.3 CONTEÚDO DE NUTRIENTES

Da mesma maneira que para as concentrações, os conteúdos de nutrientes são apresentados para cada compartimento da biomassa aérea, visando identificar os diferentes potenciais de exportação de nutrientes para cada compartimento. Os conteúdos de nutrientes também são apresentados segundo as diferentes classes de sítio, classes de idade e de diâmetro, para evidenciar possíveis diferenças com relação a cada um desses três fatores. Convém salientar que os conteúdos de nutrientes resultam tanto da concentração dos nutrientes como do peso seco para cada um dos compartimentos da biomassa.

5.3.1 Conteúdo de Nutrientes por Compartimento da Biomassa

Da mesma maneira que para as concentrações de nutrientes, a análise estatística para detectar os efeitos dos diferentes compartimentos da biomassa sobre os conteúdos de nutrientes não pôde ser concluída, pois a grande maioria dos delineamentos experimentais apresentou valores do qui-quadrado significativos (nível de 5%) no teste de Bartlett, mesmo com as variáveis do estudo sendo transformadas por meio de diferentes operações matemáticas.

O conteúdo ou quantidades de nutrientes médias para cada compartimento da biomassa são apresentadas na Tabela 20. Também é apresentada a soma dos conteúdos de nutrientes de todos os compartimentos da biomassa aérea de bracinga, correspondendo ao total de nutrientes, em g para os macronutrientes e mg para os micronutrientes.

Para o conteúdo total de nutrientes na biomassa aérea, verifica-se a seguinte ordem decrescente: $N > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Cu > Zn$. Se a seqüência decrescente dos conteúdos de nutrientes for comparada com a das concentrações, é possível verificar que ocorreram algumas trocas de posições, do K com o Ca e do Fe com o Mn. Embora o Ca tenha apresentado maiores concentrações para a maioria dos compartimentos da biomassa, o K apresentou as maiores concentrações para a madeira, a qual possui maior peso seco, resultando num maior conteúdo de nutrientes. O mesmo acontece com o Fe e Mn.

TABELA 20 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA, EM g POR ÁRVORE PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES

Nutrientes	Copa			Fuste		Total
	Folha	Galhos < 4	Galhos ≥ 4	Madeira	Casca	
N	63,47	66,86	60,58	75,90	86,05	343,18
P	3,65	1,38	1,17	3,33	1,73	11,07
K	12,47	17,63	23,95	100,76	27,60	178,58
Ca	14,63	28,17	27,58	40,20	67,92	174,08
Mg	4,00	2,72	3,04	7,79	3,24	20,30
Fe	279,56	162,85	58,53	2378,96	393,83	3264,36
Mn	456,99	382,78	271,94	661,21	641,13	2370,53
Cu	50,30	94,61	132,98	169,59	77,66	503,86
Zn	47,73	17,26	23,23	95,08	37,21	216,81

Essa mesma seqüência foi encontrada por Baggio e Carpanezzi (1997a) quando considerados os macronutrientes, todavia ocorreram diferenças quanto aos conteúdos de micronutrientes. Semelhante ao que aconteceu com as concentrações de nutrientes, Baggio e Carpanezzi (1997a) encontraram maiores conteúdos de Mn com relação ao Fe, e maiores conteúdos de Zn do que de Cu.

As mesmas seqüências do conteúdo de macronutrientes encontradas neste estudo foram observadas por Caldeira *et al.* (2000b) e Caldeira *et al.* (2001a) para *Acacia mearnsii* com 2,4 anos de idade. Já Caldeira *et al.* (2000a) e Carbonera Pereira *et al.* (2000), também para *Acacia mearnsii*, reportaram o predomínio do Ca sobre o K, assim como foi verificado por Baggio e Carpanezzi (1997a) para bracatinga. Quanto aos micronutrientes, Caldeira *et al.* (2001b) e Caldeira *et al.* (2003) encontraram que o Fe foi o micronutriente que apresentou as maiores quantidades na biomassa aérea de *Acacia mearnsii*, seguido pelo Zn, Mn e, por último Cu.

É comum encontrar resultados em que o Ca aparece como o nutriente de maior conteúdo na biomassa para diferentes espécies de eucalipto, como pode ser observado nas pesquisas de Santana *et al.* (1999), Schumacher e Caldeira (2001) e Freitas *et al.* (2004).

Para verificar qual a participação de cada compartimento da biomassa no conteúdo dos nutrientes, foi construída a Tabela 21, a qual apresenta as proporções do conteúdo de nutrientes de cada compartimento da biomassa com relação ao conteúdo total.

TABELA 21 - PROPORÇÃO DOS NUTRIENTES ACUMULADOS POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA, EM PORCENTAGEM (%) COM RELAÇÃO AO CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES

Nutrientes	Copa			Fuste	
	Folha	Galhos < 4	Galhos ≥ 4	Madeira	Casca
N	18,32%	21,05%	13,90%	23,05%	26,62%
P	31,63%	13,23%	7,97%	31,72%	16,72%
K	8,32%	10,76%	11,99%	54,08%	16,76%
Ca	8,37%	17,91%	11,53%	23,36%	40,68%
Mg	22,67%	13,66%	10,55%	36,57%	18,24%
Fe	8,58%	5,68%	1,33%	71,25%	13,36%
Mn	19,22%	16,57%	12,67%	26,76%	26,81%
Cu	10,58%	20,34%	18,61%	35,72%	17,73%
Zn	24,53%	9,73%	9,72%	37,33%	20,24%

Em média, a madeira foi o compartimento da biomassa aérea de bracatinga que acumulou a maior quantidade de nutrientes, seguido pela casca, folhas, galhos menores do que 4 cm e, por último, os galhos maiores ou iguais a 4 cm. Apesar da madeira apresentar as menores concentrações para a maioria dos nutrientes estudados, ela é o compartimento da biomassa que apresenta os maiores valores de peso seco, justificando assim as maiores proporções para os conteúdos de nutrientes. Convém salientar as grandes quantidades de K e Fe na madeira, muito superiores quando comparadas com os demais compartimentos da biomassa. Na casca é possível observar a grande quantidade de Ca, com relação aos demais compartimentos, pois além de apresentar as maiores concentrações só possui menor biomassa do que a madeira.

Na copa, as folhas apresentaram as maiores proporções de nutrientes. Ao contrário da madeira, apresentaram os menores valores de biomassa, porém os maiores valores para as concentrações de nutrientes. É importante ressaltar as grandes quantidades de P, Mg e Zn nas folhas, com relação aos demais compartimentos da biomassa.

Para melhor ilustrar a representatividade de cada compartimento da biomassa no conteúdo de nutrientes, são apresentadas na Figura 8 as proporções médias do conteúdo de nutrientes de cada compartimento da biomassa, considerando todos os nutrientes.

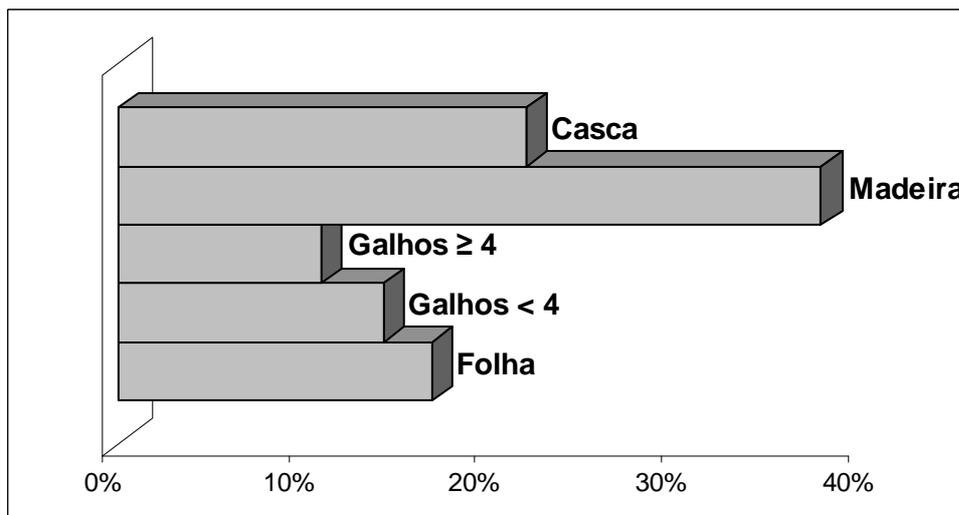


FIGURA 8 - PROPORÇÃO MÉDIA DOS NUTRIENTES ACUMULADOS POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA, EM PORCENTAGEM COM RELAÇÃO AO CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES

Na Figura 8, visualiza-se um resumo dos valores apresentados na Tabela 21, onde as proporções médias de todos os nutrientes são apresentadas para cada compartimento da biomassa. Em média, a madeira acumulou 37,5% dos nutrientes analisados, seguida da casca com 21,8%, folhas com 16,8%, galhos menores do que 4 cm com 14,3% e, por último, galhos maiores do que 4 cm com 11,6%.

Se for feita distinção entre fuste (madeira e casca) e copa (galhos e folhas), o fuste apresenta cerca de 60% dos nutrientes acumulados na biomassa aérea de bracatinga, enquanto a copa 40%. Sabe-se que os galhos da bracatinga, até o diâmetro de cerca de 4 cm, também são utilizados como lenha. Dessa maneira, a lenha (madeira, casca e galhos maiores ou iguais a 4 cm) da bracatinga acumula cerca de 70% dos nutrientes da biomassa aérea.

Baggio e Carpanezi (1997a) relataram que 71,3% do conteúdo total de nutrientes está na lenha de bracatinga, muito próximo do valor encontrado neste estudo, embora esses autores tenham considerado a lenha como sendo o material lenhoso com casca, de diâmetros iguais ou maiores que 3 cm, e não 4.

Valores superiores para a proporção de nutrientes na biomassa do fuste de *Acacia mearnsii*, com 9 anos de idade, foram encontrados por Carbonera Pereira *et al.* (2000), em torno de 75%. Valores semelhantes foram reportados por Santana *et al.* (1999) e Freitas *et al.* (2004) para diferentes espécies de eucalipto. Já Schumacher e Caldeira (2001), relataram que pouco mais de 50% do conteúdo de

nutrientes da biomassa aérea de *Eucalyptus globulus*, com 4 anos de idade, encontra-se no fuste. Isso pode ser explicado pelo fato de que o povoamento estudado tinha pouca idade e provavelmente a biomassa dos fustes das árvores não tinham a mesma representatividade da biomassa aérea, se comparada a este trabalho ou aos demais trabalhos citados anteriormente.

5.3.2 Conteúdo de Nutrientes por Classe de Sítio

Nas Tabelas 22 a 27 são apresentados os conteúdos médios de nutrientes analisados para as diferentes classes de sítio, para cada um dos compartimentos da biomassa e considerando toda a biomassa aérea da árvore. As curvas utilizadas para a classificação dos sítios foram construídas por Machado *et al.* (1997). O teste de Tukey foi aplicado com nível de significância de 5% para verificar quais classes de sítio apresentavam conteúdos de nutrientes diferentes.

Nas Tabelas 22 e 24 verifica-se que não existem diferenças significativas dos conteúdos de nutrientes nas diferentes classes de sítio, para as folhas e para os galhos maiores ou iguais a 4 cm. Mesmo sem apresentar diferenças significativas entre os conteúdos de nutrientes, é possível identificar uma tendência de diminuição do conteúdo da maioria dos nutrientes da classe de sítio I para IV. Contudo, essa tendência de diminuição do conteúdo de nutrientes não é clara, principalmente quando os valores das classes de sítio II e III são analisados.

TABELA 22 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	78,76	4,85	15,76	18,66	5,71	362,9	610,0	57,1	63,5
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	53,79	3,17	9,98	15,19	3,53	248,9	293,6	44,2	34,9
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	76,16	4,09	15,76	17,62	4,13	304,8	493,3	62,6	55,6
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IV	43,05	2,40	7,83	6,52	2,60	197,5	425,0	35,1	35,6
	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nos galhos menores do que 4 cm, as concentrações de Ca e Mg apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as diferentes classes de

sítio (APÊNDICE 7 e TABELA 23). Os conteúdos, tanto de Ca como de Mg, apresentaram diferenças somente entre as classes de sítio I e IV, os maiores valores ocorreram para a classe de sítio I e os menores para a classe IV. Todos os outros nutrientes, exceto Mn, seguiram essa mesma tendência de diminuição da classe de sítio I para IV, embora muitas vezes a classe de sítio III tenha apresentado valores maiores do que a classe de sítio II.

TABELA 23 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	88,72	2,03	30,29	41,50	5,52	172,9	639,3	127,1	19,9
	-	-	-	a	a	-	-	-	-
II	64,41	1,46	15,17	28,42	1,90	223,4	204,1	85,9	19,8
	-	-	-	ab	ab	-	-	-	-
III	69,48	1,23	18,04	27,98	2,30	141,1	291,5	102,8	21,0
	-	-	-	ab	ab	-	-	-	-
IV	44,41	0,81	6,95	14,80	1,21	117,6	411,4	61,3	7,8
	-	-	-	b	b	-	-	-	-

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

TABELA 24 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	105,03	1,98	34,09	42,37	5,83	98,9	264,4	206,7	32,1
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	47,04	1,04	19,43	23,40	2,18	31,0	222,3	123,1	14,4
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	57,37	1,01	28,25	29,53	2,76	64,9	361,9	125,6	30,2
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IV	21,09	0,48	6,07	6,72	0,73	31,5	173,9	47,0	10,0
	-	-	-	-	-	-	-	-	-

De acordo com os valores de "F" apresentados no Apêndice 9, os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Cu na madeira da bracinga apresentaram diferenças significativas para as diferentes classes de sítio. Na Tabela 25, é possível constatar que a maioria dos nutrientes apresentou diferenças estatisticamente significativas apenas entre as classes de sítio I e IV. Em todos os nutrientes analisados, os

maiores valores foram encontrados para a classe de sítio I e os menores para a classe de sítio IV. Essa tendência de diminuição da melhor para a pior classe de sítio não apresentou clareza para as classes de sítio II e III, ora a classe II apresentou maiores conteúdos, ora a classe III.

TABELA 25 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	104,79 a	5,44 a	163,45 a	59,69 a	15,36 a	3576,5 a	1029,4 -	241,5 a	126,7 -
II	74,63 ab	3,30 a	85,75 a	36,72 ab	7,56 ab	2207,1 ab	329,6 -	158,9 ab	132,0 -
III	90,42 a	3,11 ab	122,41 a	48,19 a	5,67 ab	2690,8 ab	836,1 -	200,0 ab	83,9 -
IV	31,36 b	1,48 b	27,83 b	14,86 b	2,91 b	989,5 b	420,6 -	72,9 b	39,6 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

No compartimento casca, os conteúdos de N, P, Ca, Fe e Cu apresentaram diferenças significativas entre as classes de sítio (APÊNDICE 10 e TABELA 26). Para o P, Ca, Fe e Cu somente a classe de sítio IV apresentou conteúdos significativamente diferentes das demais classes de sítio. Todos os nutrientes apresentaram as maiores quantidades no sítio I e as menores no sítio IV. Entretanto, essa tendência de diminuição dos conteúdos de nutrientes da classe de sítio I para a classe de sítio IV não fica evidente quando os valores das classes de sítio II e III são analisados, da mesma maneira que pôde ser observado para os demais compartimentos da biomassa aérea de bracatinga (TABELAS 22 a 25).

TABELA 26 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	114,16 a	2,55 a	49,20 -	88,96 a	4,39 -	477,1 a	1085,7 -	105,5 a	48,9 -
II	84,65 ab	2,03 a	23,19 -	74,91 a	2,69 -	437,2 a	437,1 -	81,3 a	37,4 -
III	104,34 a	1,65 a	29,45 -	81,12 a	4,23 -	445,9 a	633,8 -	88,4 a	44,2 -
IV	38,00 b	0,72 b	8,25 -	24,48 b	1,49 -	206,5 b	409,0 -	33,6 b	17,2 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

A Tabela 27 apresenta os resultados da soma dos nutrientes de todos os compartimentos da biomassa aérea de bracatinga nas diferentes classes de sítio. De acordo com os valores de “F” (APÊNDICE 11), os conteúdos de K, Ca, Mg e Fe apresentaram diferenças significativas entre as classes de sítio. Os conteúdos de K e Ca apenas na classe de sítio IV apresentaram diferenças significativas com relação aos demais, enquanto que para o Mg e Fe somente as classes de sítio I e IV apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Todos os nutrientes apresentaram tendência de diminuição da classe de sítio I para a classe de sítio IV, contudo, assim como em todos os compartimentos da biomassa, essa tendência não se apresentou de maneira clara para as classes de sítio II e III.

TABELA 27 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE SÍTIO, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, CONSIDERANDO TODA A BIOMASSA AÉREA DA BRACATINGA

Sítio	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
I	473,95 -	16,52 -	287,10 a	244,12 a	35,85 a	4671,8 a	3584,9 -	703,6 -	285,7 -
II	324,53 -	10,99 -	153,54 a	178,65 a	17,85 ab	3147,6 ab	1486,7 -	493,5 -	238,5 -
III	397,76 -	11,10 -	213,91 a	204,45 a	19,10 ab	3647,4 ab	2616,6 -	579,3 -	234,8 -
IV	167,36 -	5,65 -	53,89 b	64,03 b	8,59 b	1526,8 b	1753,0 -	226,5 -	105,3 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Segundo Singh (1982), o conteúdo de nutrientes de um povoamento florestal varia substancialmente entre diferentes tipologias florestais, de acordo com o grau de absorção de nutrientes e acúmulo de biomassa, os quais são afetados pela idade das árvores e pela qualidade de sítio, mesmo dentro de uma mesma espécie.

Santana *et al.* (1999) encontraram uma grande variação no conteúdo de nutrientes na biomassa do tronco de árvores de diferentes espécies de eucalipto entre sítios, refletindo, de certa forma, diferenças em produção. Os conteúdos de nutrientes no tronco foram maiores nos sítios mais produtivos e nos materiais genéticos melhor adaptados às condições destes, evidenciando a relação entre nutrição e produção de biomassa.

No entanto, os resultados deste trabalho não apresentaram tendências definidas para os conteúdos de nutrientes para as melhores ou piores classes de sítio, principalmente nas duas classes de sítio intermediárias.

O fato da classe de sítio III, geralmente, apresentar maiores valores para os conteúdos de nutrientes do que a classe II pode ser compreendido quando se observam as idades das árvores que compõem a classe de sítio III. Essa classe de sítio apresenta as árvores mais velhas do banco de dados e, geralmente maiores dimensões e biomassa do que a classe de sítio II. Resultados mais consistentes do conteúdo de nutrientes por classe de sítio poderiam ter sido alcançados com a ampliação da amostragem ou com maior rigor no controle de outros fatores, os quais influenciam o conteúdo de nutrientes, como a idade e as dimensões das árvores, dentro de cada classe de sítio.

5.3.3 Conteúdo de Nutrientes por Classe de Idade

As Tabelas 28 a 33 a seguir apresentam os conteúdos de nutrientes nas diferentes classes de idade, para os diferentes compartimentos da biomassa e considerando a soma dos nutrientes em todos os compartimentos da biomassa aérea de bracatinga.

Para as folhas, apenas o Mn apresentou conteúdos significativamente diferentes entre as classes de idade (APÊNDICE 6 e TABELA 28). Os menores valores do conteúdo de Mn ocorreram para a menor classe de idade e as maiores quantidades de Mn para a classe de idade de 10 a 11,9 anos. Os demais nutrientes também apresentaram os maiores conteúdos para a classe de idade de 10 a 11,9

anos e não apresentaram tendência definida de aumento com relação às classes de idade.

TABELA 28 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	46,66	3,55	11,29	18,87	4,77	301,6	199,7	45,2	44,6
	-	-	-	-	-	-	b	-	-
8,0-9,9	33,37	1,94	6,81	6,59	2,20	121,1	444,6	30,8	33,2
	-	-	-	-	-	-	ab	-	-
10,0-11,9	98,03	5,28	17,01	14,94	4,70	381,7	788,1	66,5	60,2
	-	-	-	-	-	-	a	-	-
12,0-	91,27	3,57	15,68	13,60	3,27	269,4	619,2	63,0	55,2
	-	-	-	-	-	-	ab	-	-

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

De acordo com os valores de “F” apresentados no Apêndice 7, os conteúdos de N, P, K e Cu nos galhos menores do que 4 cm apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as classes de idade. Os conteúdos de N, P e K apresentaram diferenças somente entre as classes de idade dois e três, sendo que a classe de idade de 10 a 11,9 anos apresenta os maiores valores e de 8 a 9,9 anos, os menores (TABELA 29). Todos os demais nutrientes, mesmo sem significância estatística, apresentaram os maiores conteúdos na classe de idade de 10 a 11,9 anos e os menores na classe de 8 a 9,9 anos, exceto para o Mn.

Nos galhos maiores ou iguais a 4 cm de diâmetro não ocorreram diferenças significativas entre os conteúdos de nutrientes nas diferentes classes de idade (APÊNDICE 8 e TABELA 30). Os conteúdos de nutrientes nos galhos maiores ou iguais a 4 cm de diâmetro não apresentaram nenhuma tendência de aumento ou diminuição com relação às diferentes classes de idade.

TABELA 29 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	61,42 ab	1,55 ab	16,16 ab	30,44 -	2,92 -	201,8 -	169,9 -	80,0 b	13,5 -
8,0-9,9	30,99 b	0,63 b	6,39 b	14,35 -	0,96 -	81,5 -	336,6 -	43,0 b	8,5 -
10,0-11,9	106,18 a	1,97 a	27,32 a	37,66 -	4,52 -	207,6 -	806,0 -	158,4 a	25,7 -
12,0-	66,35 ab	0,98 ab	20,83 ab	25,54 -	1,70 -	100,1 -	337,9 -	99,8 ab	24,9 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

TABELA 30 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	74,01 -	1,48 -	24,59 -	36,90 -	4,13 -	51,9 -	246,3 -	176,4 -	20,5 -
8,0-9,9	21,52 -	0,49 -	6,38 -	7,36 -	0,52 -	22,2 -	160,0 -	48,0 -	9,6 -
10,0-11,9	73,54 -	1,27 -	26,74 -	27,53 -	3,27 -	98,3 -	310,5 -	123,1 -	28,5 -
12,0-	30,47 -	0,69 -	27,12 -	16,78 -	1,47 -	32,0 -	327,8 -	92,6 -	28,2 -

Na madeira, os conteúdos de N, P, Ca, Mg, Fe, Mn e Cu apresentaram diferenças significativas entre as classes de idade (APÊNDICE 9 e TABELA 31). De maneira geral, todos os nutrientes apresentaram os maiores conteúdos na classe de idade de 10 a 11,9 anos e os menores na classe de 8 a 9,9 anos. Os conteúdos de K e Zn apresentaram essa mesma tendência, embora sem significância estatística.

Na casca, apenas o conteúdo de K não apresentou diferença estatisticamente significativa entre as classes de idade (APÊNDICE 10 e TABELA 32). Assim como ocorreu para a madeira, a maioria dos nutrientes apresentaram as maiores quantidades para a classes de idade de 10 a 11,9 anos e as menores para a classes de 8 a 9,9 anos.

TABELA 31 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	58,98 bc	3,17 a	62,33 -	36,49 a	6,78 ab	2230,6 ab	286,5 b	133,4 ab	85,6 -
8,0-9,9	28,85 c	1,38 b	24,46 -	15,41 a	2,70 b	945,1 b	389,7 ab	67,6 b	41,7 -
10,0-11,9	127,21 a	5,30 a	179,21 -	52,02 a	15,41 a	3351,8 a	1182,4 a	283,1 a	133,1 -
12,0-	100,06 ab	3,18 ab	174,55 -	62,72 a	5,23 ab	3082,9 a	1155,5 a	217,2 a	128,5 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

TABELA 32 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	63,58 bc	1,54 a	22,80 -	65,56 a	2,98 a	365,8 a	274,6 b	65,8 b	27,3 b
8,0-9,9	35,70 c	0,65 b	8,01 -	24,01 b	1,19 b	172,3 b	358,0 ab	30,0 c	16,7 b
10,0-11,9	145,88 a	3,00 a	46,11 -	96,88 a	4,76 a	546,4 a	1359,6 a	123,2 a	58,4 a
12,0-	115,41 ab	1,68 a	36,31 -	85,26 a	4,18 a	512,0 a	833,7 a	98,6 ab	55,8 a

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

A Tabela 33 apresenta a soma dos conteúdos de nutrientes em todos os compartimentos da biomassa aérea de bracatinga para as diferentes classes de idade. De acordo com os valores de "F" apresentados no Apêndice 11, os conteúdos de N, K, Ca, Mg, Fe e Mn apresentaram diferenças significativas entre as classes de idade. Da mesma maneira que para a maioria dos compartimentos da biomassa aérea de bracatinga, os maiores conteúdos de nutrientes ocorreram na classe de idade de 10 a 11,9 anos e os menores na classe de 8 a 9,9 anos.

TABELA 33 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DE IDADE, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, CONSIDERANDO TODA A BIOMASSA AÉREA DA BRACATINGA

Idade	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
6,0-7,9	297,25 ab	11,14 -	134,71 a	184,56 ab	21,17 ab	3146,4 a	1152,4 b	483,2 -	189,5 -
8,0-9,9	137,53 b	4,80 -	48,22 b	63,30 b	7,25 b	1329,0 a	1592,8 ab	190,5 -	103,9 -
10,0-11,9	550,84 a	16,82 -	296,40 a	229,04 a	32,67 a	4585,7 ab	4446,4 a	754,4 -	305,9 -
12,0-	403,56 ab	10,10 -	274,50 a	203,89 ab	15,86 ab	3996,4 b	3274,1 ab	571,3 -	292,6 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Os conteúdos de nutrientes não apresentaram tendências definidas de aumento ou diminuição com relação às diferentes classes de idade, isso pode ser devido a outros fatores que influenciam os conteúdos de nutrientes além das idades das árvores. Por exemplo, as árvores que pertencem à classe de idade de 10 a 11,9 anos apresentam as maiores dimensões, as quais influenciaram o conteúdo de nutrientes em todos os compartimentos da biomassa. As árvores da classe de idade de 8 a 9,9 anos apresentaram as menores dimensões e a maioria pertence à pior classe de sítio (IV), o que influenciou negativamente a biomassa e a quantidade de nutrientes contidos na biomassa aérea. Da mesma maneira que para as diferentes classes de sítio, valores mais consistentes dos conteúdos de nutrientes por classe de idade poderiam ter sido alcançados com a ampliação da amostragem ou com maior rigor no controle de outros fatores os quais influenciam o conteúdo de nutrientes.

Singh (1982), estudando o conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Pinus patula*, encontrou tendência de aumento do conteúdo de nutrientes na biomassa com a idade. Segundo Singh (1982), esse padrão ocorreu para todos os nutrientes, porque a variação do peso seco com a idade é muito maior do que a variação das concentrações de qualquer um dos nutrientes.

Estudos com diferentes espécies de eucalipto relataram que, de maneira geral, houve um aumento do conteúdo de nutrientes na biomassa com relação à idade (BELLOTE *et al.*, 1983; PEREIRA *et al.*, 1984; LACLAU *et al.*, 2000). De acordo com LACLAU *et al.* (2000), os conteúdos de P e Ca foram incorporados

proporcionalmente ao acúmulo de biomassa, já os conteúdos de N, K e Mg foram incorporados principalmente durante as idades mais jovens.

Castro *et al.* (1980) e Ranger *et al.* (1995) encontraram tendência de aumento do conteúdo de nutrientes com a idade para *Pinus oocarpa* e *Pseudotsuga menziesii*, respectivamente. Entretanto, Ranger *et al.* (1995) relataram que o conteúdo de nutrientes na biomassa da copa das árvores não seguiu essa mesma tendência, ficou estável após os 20 anos de idade. Castro *et al.* (1980) acrescentaram que o aumento da quantidade de nutrientes com a idade não é diretamente proporcional, já que a concentração de nutrientes tende a diminuir a medida que a árvore envelhece.

Entretanto Negi e Sharma (1984), que analisaram o conteúdo de nutrientes na biomassa de *Eucalyptus globulus* nas idades de 5 a 16 anos, não encontraram tendências bem definidas do aumento dos conteúdos de nutrientes com a idade. Embora a biomassa do fuste das árvores tenha aumentado com a idade, o conteúdo de nutrientes aumentou no início, mas diminuiu nas idades mais avançadas. Assim como ocorreu neste trabalho, Negi e Sharma (1984) estudaram o conteúdo de nutrientes em um período de tempo após as árvores atingirem o máximo crescimento. Se os nutrientes tivessem sido analisados desde as primeiras idades da árvore até a sua maturidade, tendências mais evidentes do aumento dos conteúdos de nutrientes poderiam ter sido encontradas.

Somarriva e Kass (2001) realizaram simulações que permitiram tirar conclusões sobre a dinâmica da biomassa e conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de bracatinga. Esses autores reportaram que a metade dos nutrientes na biomassa acima do solo são exportados na forma de colheita de madeira, na idade de seis ou sete anos. No entanto, as altas taxas de mortalidade nas idades de 5 e 6 anos fazem com que uma grande quantidade de biomassa e nutrientes retorne para o solo. Além disso, essa acentuada mudança na estrutura dos bracatingais entre o quinto e o sexto ano faz com que as copas das árvores remanescentes se desenvolvam, aumentando a quantidade de biomassa e nutrientes que retornará ao solo na forma de galhos finos e folhas.

5.3.4 Conteúdo de Nutrientes por Classe Diamétrica

As Tabelas 34 a 39 apresentam os conteúdos de nutrientes nas diferentes classes de diâmetro, para os diferentes compartimentos da biomassa e considerando toda a biomassa aérea de bracinga.

Nas folhas, os conteúdos de todos os nutrientes, exceto o Mn, apresentaram diferenças significativas entre as classes de diâmetro (APÊNDICE 6 e TABELA 34). Os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn apresentaram diferenças estatisticamente significativas somente para a maior classe diamétrica. Para o Fe, somente as classes de diâmetro maior e menor apresentaram diferenças significativas. Todos os nutrientes apresentaram tendência de aumento com relação às classes diamétricas, exceto o Mn, o qual apresentou maior conteúdo na classe diamétrica inferior do que na intermediária.

TABELA 34 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO FOLHAS

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	34,33 b	1,97 b	6,42 b	6,94 b	2,20 b	164,9 b	324,0 -	28,1 b	28,2 b
10,0-12,9	46,45 b	2,61 b	8,96 b	11,92 b	3,00 b	294,3 ab	264,2 -	35,2 b	31,2 b
13,0-	114,79 a	6,65 a	23,11 a	26,60 a	7,12 a	410,0 a	792,0 -	91,2 a	86,7 a

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

De acordo com os valores de “F” no Apêndice 7, os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg e Cu nos galhos menores do que 4 cm apresentaram diferenças significativas entre as classes de diâmetro. Na Tabela 35, é possível verificar que os conteúdos de nutrientes apresentaram tendência crescente com o aumento dos diâmetros, embora, muitas vezes, somente a primeira e a última classe diamétrica apresentassem diferenças significativas. Da mesma maneira como ocorreu para as folhas, o conteúdo de Mn não apresentou tendência bem definida com relação às classes diamétricas.

TABELA 35 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	38,82 b	0,77 b	7,85 b	15,81 b	1,19 b	97,1 -	295,1 -	54,0 b	8,0 -
10,0-12,9	70,23 ab	1,41 a	20,65 a	29,75 a	2,68 ab	184,3 -	200,6 -	91,0 ab	22,5 -
13,0-	98,97 a	2,09 a	27,22 a	42,24 a	4,66 a	226,2 -	651,7 -	148,5 a	24,2 -

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Nos galhos maiores do que 4 cm de diâmetro, os conteúdos de todos os nutrientes apresentaram diferenças significativas entre as classes de diâmetro, exceto Fe (APÊNDICE 8 e TABELA 36). Todos os nutrientes apresentaram tendência crescente com o aumento dos diâmetros. Essa tendência é mais evidente para os nutrientes K e Ca, pois todas as classes de diâmetro apresentaram diferenças significativas entre si (Tukey 5%).

TABELA 36 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	12,48 b	0,28 b	4,27 c	4,63 c	0,54 b	19,3 -	99,9 b	28,7 b	6,3 b
10,0-12,9	31,61 b	0,68 b	13,46 b	15,22 b	1,40 b	28,8 -	155,6 b	65,9 b	13,7 b
13,0-	122,01 a	2,28 a	47,89 a	55,60 a	6,34 a	114,0 -	502,8 a	269,9 a	44,2 a

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Na madeira, todos os nutrientes apresentaram diferenças significativas entre as classes diamétricas, exceto Mn (APÊNDICE 9, TABELA 37). Os conteúdos de todos os nutrientes apresentaram tendência crescente com o aumento dos diâmetros. Ao contrário do que ocorreu para as folhas e galhos menores do que 4 cm de diâmetro, o conteúdo de Mn na madeira apresentou tendência crescente com o aumento dos diâmetros, contudo sem significância estatística.

TABELA 37 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO MADEIRA

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	33,80 b	1,63 b	38,18 b	16,29 b	2,81 b	990,9 c	312,3 -	76,3 c	45,2 a
10,0-12,9	77,13 a	3,71 a	111,86 a	48,04 a	8,68 a	2465,7 b	653,1 -	157,6 b	142,1 a
13,0-	127,45 a	5,11 a	169,29 a	63,22 a	13,23 a	4038,1 a	1104,5 -	296,6 a	116,3 a

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Os conteúdos de nutrientes da casca apresentaram resultados muito semelhantes aos da madeira (APÊNDICE 10, TABELA 38). Todos os nutrientes apresentaram diferenças significativas entre as classes de diâmetro, exceto Mn. E todos apresentaram tendência crescente com o aumento dos diâmetros.

TABELA 38 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, NO COMPARTIMENTO CASCA

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	40,96 c	0,85 b	12,69 b	32,10 c	1,71 b	236,6 b	358,7 -	38,4 b	22,5 b
10,0-12,9	82,04 b	1,81 a	32,35 a	68,35 b	2,93 b	399,6 a	527,7 -	80,6 a	36,6 ab
13,0-	145,92 a	2,77 a	42,07 a	112,31 a	5,43 a	585,3 a	1093,3 -	124,2 a	56,1 a

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Quando os conteúdos de nutrientes em toda a biomassa aérea das árvores são considerados, nota-se que todos os nutrientes apresentam diferenças significativas entre as classes de diâmetro e todos apresentam tendência crescente com o aumento dos diâmetros (APÊNDICE 11, TABELA 39). Os conteúdos de N, P, Ca, Mg, Fe e Cu apresentaram diferenças significativas entre as três classes diamétricas.

TABELA 39 - CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES POR CLASSE DIAMÉTRICA, EM g PARA OS MACRONUTRIENTES E mg PARA OS MICRONUTRIENTES, CONSIDERANDO TODA A BIOMASSA AÉREA DA BRACATINGA

Diâmetro	Nutrientes								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
7,0-9,9	155,40 c	5,40 c	67,70 b	73,92 c	8,23 c	1501,2 c	1350,0 b	214,1 c	107,7 b
10,0-12,9	307,47 b	10,21 b	187,28 a	173,28 b	18,69 b	3372,8 b	1801,2 ab	430,3 b	246,2 a
13,0-	609,14 a	18,90 a	309,57 a	299,97 a	36,79 a	5373,4 a	4144,3 a	930,4 a	327,5 a

NOTA: VALORES SEGUIDOS DA MESMA LETRA NAS COLUNAS NÃO APRESENTARAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS SEGUNDO O TESTE DE TUKEY (5%).

Como pode ser observado nos Apêndices 1 a 5 e nas Tabelas 15 a 19, os efeitos dos diâmetros sobre as concentrações de nutrientes foram menos acentuados do que os efeitos sobre os conteúdos de nutrientes (APÊNDICES 6 a 11 e TABELAS 28 a 39). Como os conteúdos de nutrientes são resultados do produto da biomassa e das concentrações de nutrientes, é possível afirmar que os diâmetros influenciaram substancialmente a produção de biomassa, decorrendo no aumento do conteúdo de nutrientes juntamente com os diâmetros.

Todas as afirmativas feitas acerca dos efeitos da idade sobre os conteúdos de nutrientes nos trabalhos citados anteriormente podem ser estendidas aos efeitos do diâmetro sobre os conteúdos de nutrientes. Uma vez que o aumento do diâmetro, bem como da biomassa, é diretamente proporcional à idade.

Entretanto, de acordo com Ranger e Gelhaye (2001), o diâmetro da árvore é uma variável cumulativa, porém esse não é o caso da biomassa de raízes finas e folhas, ou do conteúdo de nutrientes nesses compartimentos da biomassa. Observando os resultados dos testes de Tukey (5%) nos diferentes compartimentos da biomassa, verifica-se que os diâmetros exerceram um efeito menos acentuado justamente nas folhas e nos galhos menores do que 4 cm. Nos compartimentos da biomassa como madeira e casca ocorreram diferenças mais marcantes dos conteúdos de nutrientes nas diferentes classes de diâmetro, como pode ser observado pela maior frequência de valores seguidos de letras diferentes no teste de Tukey (5%).

Embora a idade tenha influência na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes, como foi relatado em diversas pesquisas, os resultados deste trabalho

mostraram que o efeito das classes diamétricas sobre os conteúdos de nutrientes foi muito mais pronunciado do que o efeito das diferentes idades, como pode ser visto pelos valores de “F” apresentados nos Apêndices 6 a 11.

5.4 MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES

Este subitem destina-se à apresentação dos resultados da matriz de correlação e das melhores equações desenvolvidas para a estimativa dos conteúdos de nutrientes na biomassa aérea de bracinga. Somente as melhores equações para cada nutriente em cada compartimento da biomassa são apresentadas neste capítulo, uma vez que a quantidade de modelos ajustados e de variáveis independentes a serem estimadas foi muito grande. Todavia, as duas melhores equações desenvolvidas e aquela resultante do procedimento *stepwise* constam nos Apêndices 12 a 27. Ainda, visando à melhor exposição, dos resultados obtidos, as equações selecionadas foram apresentadas separadamente para os macro e micronutrientes, possibilitando também melhor redação e discussão dos resultados.

5.4.1 Matriz de Correlação

A matriz de correlação construída neste estudo compreendeu 114 variáveis, entre dependentes e independentes, devido ao seu tamanho acreditou-se que a sua apresentação não seria apropriada, visto que ocuparia um grande espaço e a sua representação tabular não seria de boa qualidade.

Analisando a matriz de correlação, constatou-se que os conteúdos de nutrientes na madeira, casca, lenha (madeira + casca + galhos ≥ 4 cm) e para toda a biomassa aérea apresentaram os maiores coeficientes de correlação com as variáveis dendrométricas. Já os conteúdos de nutrientes nas folhas e nos galhos apresentaram os menores coeficientes de correlação.

As variáveis diâmetro à altura do peito e altura do fuste foram as que apresentaram os maiores coeficientes de correlação com o conteúdo de nutrientes nos compartimentos da biomassa do fuste e para lenha. Já para os compartimentos da biomassa da copa, as variáveis diâmetro de copa, altura de copa e diâmetro à altura do peito foram as que apresentaram os maiores coeficientes de correlação.

Entre os nutrientes analisados, considerando todos os compartimentos da biomassa aérea da árvore, os conteúdos de Cu, N, Ca e K foram os que apresentaram os maiores coeficientes de correlação com as variáveis dendrométricas e os conteúdos de Fe e Zn os piores.

5.4.2 Melhores equações desenvolvidas para estimativa do conteúdo de macronutrientes na biomassa aérea de bracatinga

Na Tabela 40 são apresentadas as melhores equações desenvolvidas para estimativa do conteúdo de macronutrientes (g) nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de bracatinga, obedecendo aos critérios de seleção apresentados. É conveniente salientar que nem sempre os modelos que apresentaram as melhores estatísticas de ajuste e precisão foram selecionados, pois também foram avaliados critérios de aceitabilidade e aplicabilidade, ou seja, se as variáveis independentes dos modelos são realmente as mais apropriadas quanto à viabilidade de medição.

A Tabela 40 também contém as estatísticas de ajuste e precisão das equações selecionadas, coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) e erro padrão da estimativa em porcentagem (syx%), além do fator de correção de Meyer (FM) para as equações logarítmicas.

Entre os diferentes compartimentos da biomassa verificou-se que as piores estatísticas de ajuste e precisão ocorreram para os galhos menores do que 4 cm de diâmetro. Com relação aos demais compartimentos, observa-se que há uma ligeira melhora nas estatísticas de ajuste e precisão para os compartimentos da biomassa do fuste (madeira e casca), principalmente para o syx%. No entanto, a melhor qualidade dos ajustes dos modelos para os compartimentos da biomassa do fuste só é nitidamente verificada quando são analisados os gráficos de resíduos das equações selecionadas (FIGURA 9 a 11).

As Figuras 9 a 11 mostram que os resíduos das equações para estimativa do conteúdo de macronutrientes na biomassa de madeira e casca apresentaram as distribuições de resíduos com menor amplitude de valores e maior uniformidade ao longo do eixo das abscissas (\hat{Y} – conteúdo de macronutrientes estimado em gramas).

TABELA 40 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) PARA ÁRVORES INDIVIDUAIS NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Compartmento da biomassa	Equação Seleccionada		R ² aj.	syx%	FM
Folhas	$N = -306,07 + 104,32 d - 5,5826 d^2 - 3,6704 dh + 0,27262 d^2h$	T	0,808	36,5	
	$P = -15,213 + 4,8732 d - 0,23264 d^2 - 0,16644 dh + 0,011261 d^2h$	T	0,792	35,7	
	$K = -51,302 + 16,308 d - 0,78119 d^2 - 0,55424 dh + 0,037956 d^2h$	T	0,812	34,4	
	$Ca = -10,194 + 0,10831 d^2 + 0,70615 dc^2 + 3,5994 hc - 0,078304 dc^2h$	M	0,729	39,0	
	$Mg = -1,2521 + 0,91232 hc + 0,48093 d - 0,28131 hdom$	S	0,748	36,4	
Galhos < 4cm	$N = -226,79 + 71,672 d - 3,4862 d^2 - 2,1330 dh + 0,15269 d^2h$	T	0,666	34,8	
	$P = -0,061224 + 0,21702 d - 0,11082 I$	S	0,630	39,1	
	$K = 4,2706 + 0,0015138 d^2hf^2 - 0,0077018 dc^2hf^2$	S	0,792	39,8	
	$\ln Ca = -1,7272 + 0,66178 \ln d^2h$	T	0,648	35,6	1,0673
	$Mg = 14,832 + 0,00011674 d^2h^2 - 1,9666 d^2hf - 0,23887 I$	S	0,744	54,6	
Galhos ≥ 4cm	$N = -2,9001 - 0,040484 d^2h + 0,00052671 d^2h^2 + 1,8789 hc + 0,16694 d^2hc$	M	0,882	39,8	
	$P = -0,24993 + 0,0080461 d^2 - 0,26877 hc + 0,078830 hc^2 - 0,00061591 d^2hc$	M	0,950	22,9	
	$K = -24,469 + 0,022421 d^2h - 0,00087805 d^2h^2 + 4,8051 hc + 0,0079117 d^2hc$	M	0,875	33,2	
	$\ln Ca = -5,7122 + 2,1517 \ln d + 2,0971 \ln hc$	M	0,850	46,2	1,1225
	$Mg = 4,3919 - 0,0041289 d^2 - 2,2983 hc + 0,28973 hc^2 + 0,0036504 d^2hc$	M	0,799	57,5	
Madeira	$\ln N = -2,4286 + 0,93038 \ln d^2hf$	M	0,893	23,7	1,0407
	$P = 0,48515 + 0,00074751 d^2h + 0,000060701 d^2hf^2$	S	0,855	26,2	
	$K = 257,97 + 0,15353 dhf^2 + 9,1004 I - 61,542 \ln dhf^2$	S	0,937	26,5	
	$\ln Ca = -4,7983 + 1,1457 \ln d + 2,0897 \ln h$	T	0,652	42,1	1,0578
	$\ln Mg = -5,3513 + 1,9047 \ln d + 1,0944 \ln hf$	M	0,650	60,7	1,2029
Casca	$\ln N = -1,9502 + 0,88279 \ln d^2hf$	M	0,888	22,9	1,0306
	$\ln P = -5,8307 + 1,6813 \ln d + 0,96581 \ln hf$	M	0,880	24,0	1,0246
	$\ln K = -4,7683 + 1,6271 \ln d + 1,7372 \ln hf$	M	0,878	30,5	1,0442
	$Ca = h (-3,4604 + 0,83590 d - 0,010382 d^2)$	T	0,882	20,7	
	$\ln Mg = -4,6921 + 0,76416 \ln d^2h$	T	0,682	38,2	1,0843

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

Nos gráficos de resíduos também foram constatadas algumas tendências nos valores dos resíduos em alguns casos. Para as equações que estimam N, P e K nota-se tendência de subestimativa para os menores valores do conteúdo desses nutrientes na biomassa de folhas. Já nos galhos maiores ou iguais a 4 cm verificam-se resíduos altos para os menores valores de \hat{Y} , principalmente para as equações que estimam nitrogênio e magnésio.

Assim como os resultados encontrados nesse trabalho, a maioria dos trabalhos envolvendo ajuste de modelos matemáticos para estimativa do conteúdo de nutrientes na biomassa de diferentes espécies florestais reportou melhores ajustes para os conteúdos de nutrientes nos compartimentos da biomassa do fuste (BELLOTE *et al.*, 1983; RANGER *et al.*, 1995; LACLAU *et al.*, 2000; HOPPE, 2003)

A qualidade dos ajustes dos modelos foi mais dependente do compartimento da biomassa, como foi relatado anteriormente. Contudo as equações do conteúdo de magnésio foram as que apresentaram as piores estatísticas de ajuste e precisão na maioria dos compartimentos da biomassa. Quando se analisam os gráficos de resíduos para esse nutriente, verifica-se uma distribuição de resíduos sem uniformidade e com tendência de superestimativa, principalmente nos compartimentos madeira e galhos menores do que 4 cm.

O modelo de Meyer modificado (TABELA 40) foi o de melhor desempenho para estimar os conteúdos de N, P e K na biomassa de folhas da bracatinga e também para estimar o conteúdo de nitrogênio na biomassa de galhos menores do que 4 cm. Em muitos casos, o modelo de Meyer apresentou melhores estatísticas de ajuste e precisão do que o modelo de Meyer modificado, porém apresentava distribuição de resíduos com forte tendência de subestimativas para os menores valores de \hat{Y} .

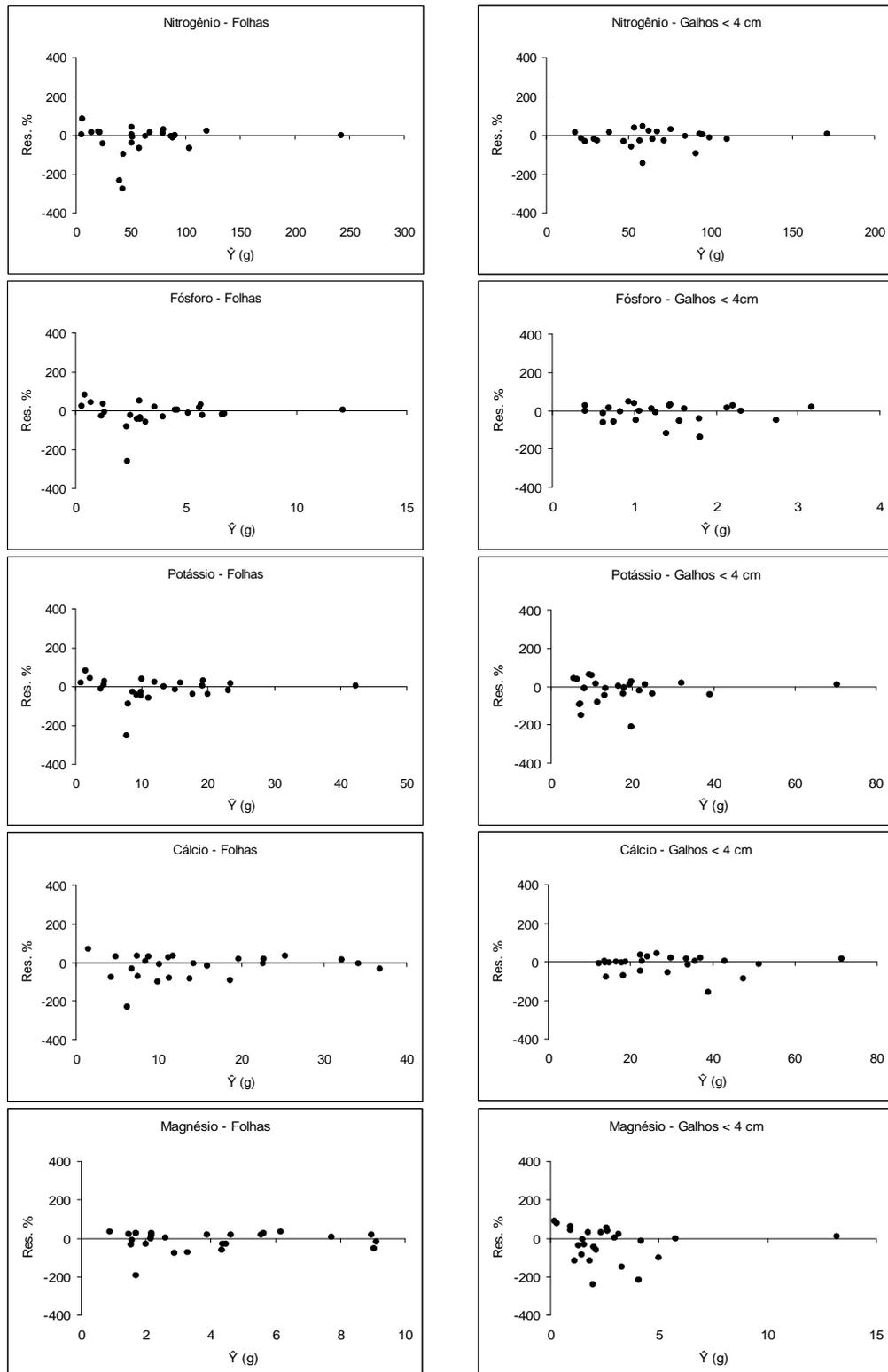


FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE FOLHAS E DE GALHOS MENORES DO QUE 4 cm DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

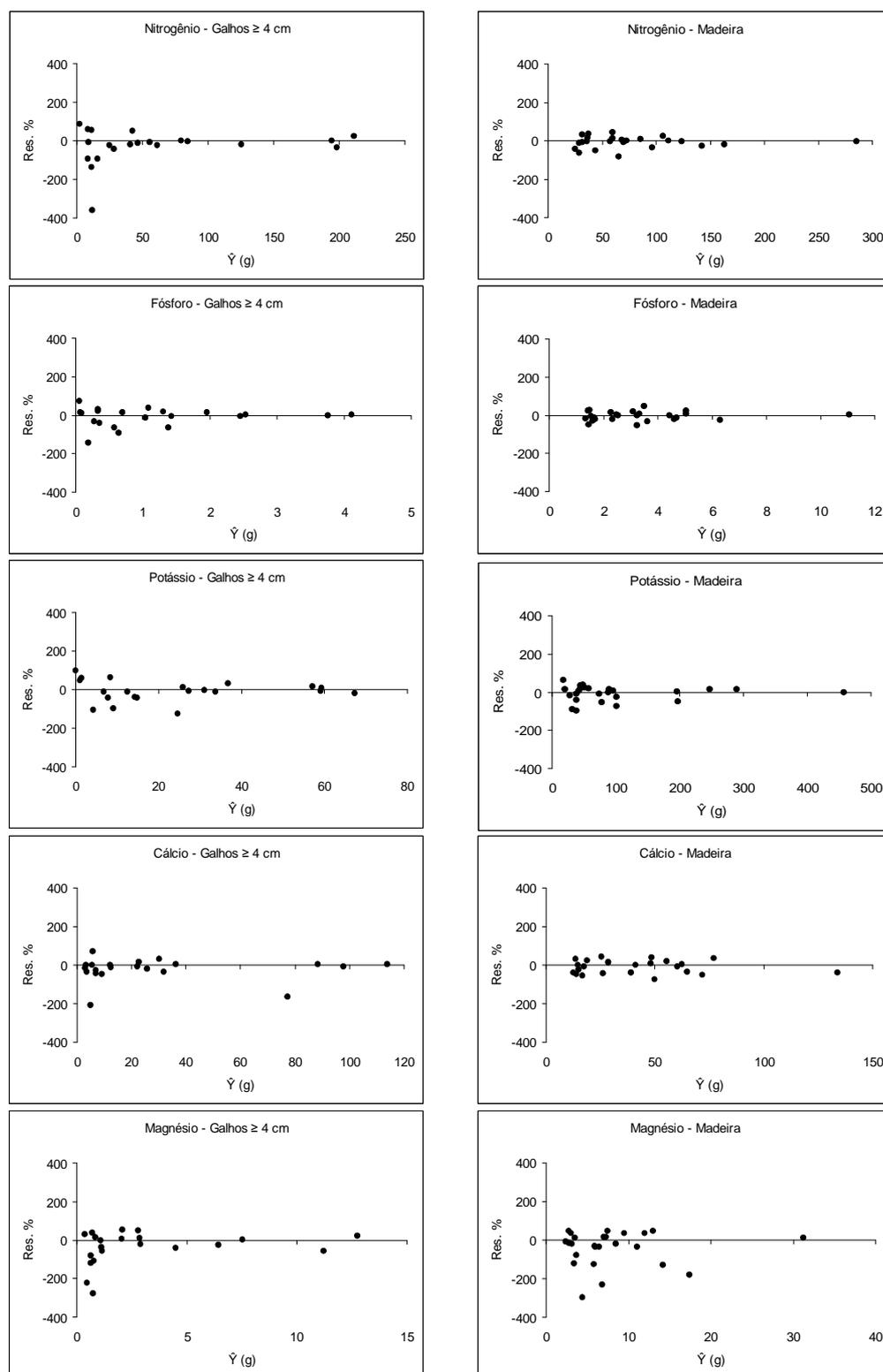


FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm E MADEIRA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

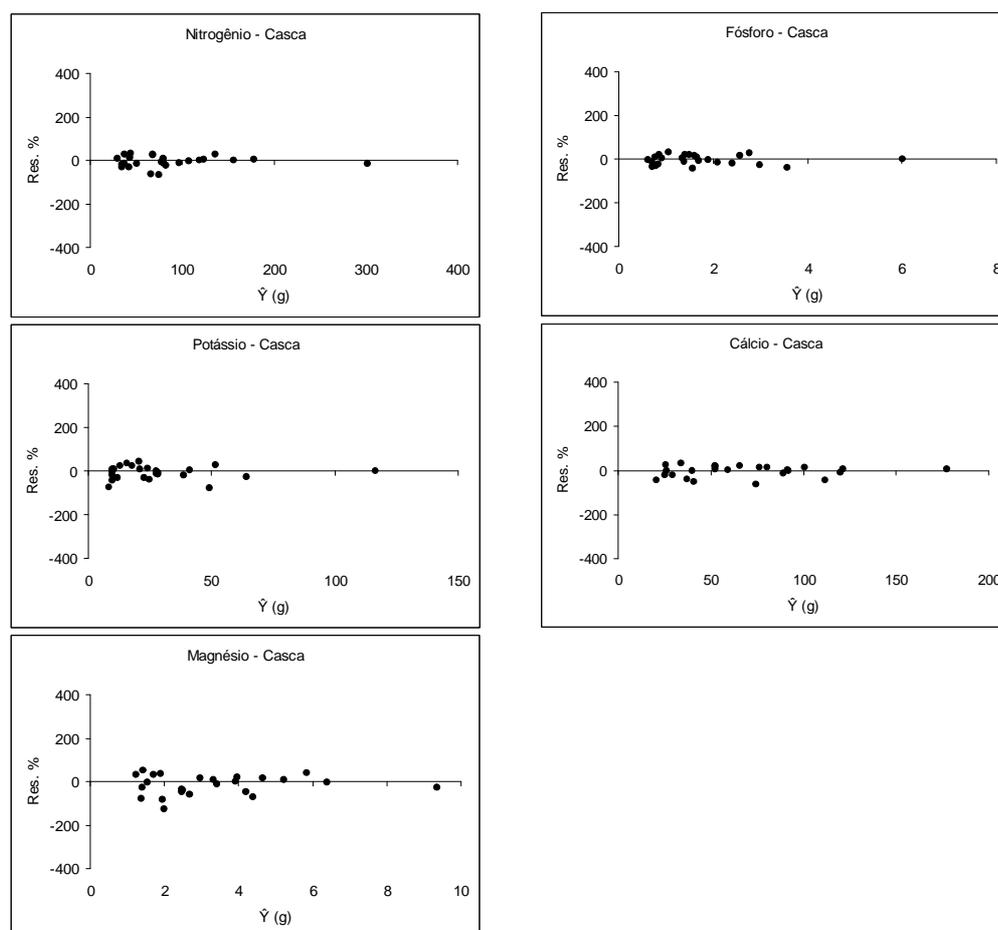


FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE CASCA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Todas as equações selecionadas para estimativa do conteúdo de macronutrientes nos galhos maiores do que 4 cm possuem como variável independente a altura de copa (hc) e a grande maioria das equações selecionadas para estimativa do conteúdo de macronutrientes na madeira e na casca apresentaram como variável independente a altura do fuste (hf) e sua combinação com o diâmetro à altura do peito (d) (TABELA 40). Esses resultados, das equações selecionadas para estimativa dos conteúdos de macronutrientes, confirmam os resultados da matriz de correlação, a qual mostrava os altos valores dos coeficientes de correlação da variável altura de copa com os conteúdos de nutrientes dos compartimentos da biomassa da copa e da variável altura do fuste com os conteúdos de nutrientes da biomassa do fuste.

Na maioria das vezes, as equações resultantes do procedimento *stepwise* apresentaram os melhores valores para as estatísticas de ajuste e precisão (R^2 aj. e $syx\%$), todavia nem sempre foram selecionadas devido às variáveis independentes que continham ou por possuírem pior distribuição dos resíduos. Todas as equações resultantes do procedimento *stepwise* são apresentadas nos Apêndices 12 até 16, juntamente com as duas equações de melhor desempenho e suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão, além do Fator de Correção de Meyer (FM) para equações logarítmicas.

Em alguns casos o procedimento *stepwise* selecionou variáveis como idade (I) e altura dominante (h_{dom}) para composição do modelo matemático. Isso demonstra o efeito significativo dessas variáveis sobre os conteúdos de macronutrientes em alguns compartimentos da biomassa aérea da bracatinga. Nas equações resultantes do procedimento *stepwise* para estimar o conteúdo de macronutrientes na madeira, todas apresentaram a idade como variável independente, exceto no caso do fósforo.

De acordo com Hair Jr. *et al.* (2005) o tamanho da amostra, neste caso um tamanho de amostra pequeno de 25 árvores, tem um impacto direto sobre a adequação e o poder estatístico da regressão múltipla. Amostras pequenas são apropriadas para análises de regressão utilizando poucas variáveis independentes. Mesmo nessas situações, apenas relações muito fortes podem ser detectadas com algum grau de certeza. Do mesmo modo, amostras muito grandes tornam os testes de significância estatística muito sensíveis, muitas vezes indicando que quase qualquer relação é estatisticamente significativa. O tamanho da amostra também afeta a generalização dos resultados pela proporção entre observações e variáveis independentes. Uma regra geral é que a razão jamais deve ficar abaixo de 5 para 1, o que significa que deve haver cinco observações para cada variável independente. Se essa proporção ficar abaixo de 5 para 1, corre-se o risco de “superajustar” a variável dependente com a amostra, tornando os resultados demasiadamente específicos à amostra e assim perdendo a generalização.

Levando isso em consideração, Hair Jr. *et al.* (2005) apresentaram valores de R^2 mínimo que podem ser considerados estatisticamente significativos para um determinado tamanho de amostra e número de variáveis independentes no modelo. Todos os valores de R^2 aj. das equações selecionadas para estimativa de macronutrientes na biomassa de bracatinga (TABELA 40) são maiores do que os R^2

mínimos apresentados por Hair Jr. *et al.* (2005), por conseguinte tais equações atendem aos pré-requisitos de poder estatístico e significância, e podem ser generalizadas para os bracatingais da região metropolitana de Curitiba.

Os resultados do R^2 aj. das equações selecionadas nesta pesquisa são menores do que os encontrados por Ranger *et al.* (1995) para todos os compartimentos da biomassa. Por outro lado, são superiores aos resultados encontrados por Bellote *et al.* (1983) para *Eucalyptus grandis*.

Já Laclau *et al.* (2000) reportaram resultados de R^2 para equações estimativas do conteúdo de macronutrientes na biomassa de diferentes espécies de *Eucalyptus* muito semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

Além das equações desenvolvidas para estimativa do conteúdo de macronutrientes de cada compartimento da biomassa separadamente, são apresentadas na Tabela 41, a seguir, as equações selecionadas para estimativa do conteúdo de macronutrientes considerando a biomassa de folhas + galhos menores do que 4 cm, lenha e toda biomassa aérea da bracatinga. Nessa tabela também são mostradas as respectivas estatísticas de ajuste e precisão das equações e Fator de Correção de Meyer (FM), para equações logarítmicas.

As equações da Tabela 41, para estimativa do conteúdo de macronutrientes dos compartimentos da biomassa aérea somados (folhas + galhos < 4 cm, lenha e toda biomassa aérea) apresentaram melhores desempenhos do que aquelas na Tabela 40.

TABELA 41 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) PARA OS COMPARTIMENTOS FOLHAS + GALHOS < 4 cm, LENHA E PARA A BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Compartmento da biomassa	Equação Seleccionada		R ² aj.	syx%	FM
Folhas + Galhos < 4cm	$N = -532,86 + 175,99 d - 9,0688 d^2 - 5,8034 dh + 0,42531 d^2h$	T	0,855	25,6	
	$\ln P = 5,2674 - 0,44125 \ln d - 29,611 d^{-1}$	T	0,690	40,0	1,0697
	$K = -86,831 + 30,198 d - 1,7688 d^2 - 1,0091 dh + 0,089397 d^2h$	T	0,824	33,1	
	$Ca = -46,154 + 9,2987 d - 0,11376 d^2$	T	0,700	32,6	
	$\ln Mg = -4,2174 + 0,79558 \ln d^2h$	T	0,665	43,6	1,0712
Lenha	$N = 45,298 + 2,8787 d^2 - 0,26968 d^2h + 0,31247 dh^2 - 2,1546 h^2$	T	0,943	17,3	
	$P = -0,30026 + 0,0025022 dh^2$	S	0,896	22,1	
	$K = -158,94 + 0,0059665 d^2hf^2 + 13,574 I + 0,43617 h^2$	S	0,928	25,4	
	$Ca = h \left(-15,816 + 2,9942 d - 0,066973 d^2 \right)$	T	0,938	16,0	
	$Mg = \frac{d^2h}{(199,19 - 0,73669 h)}$	T	0,681	48,8	
Total	$N = -842,38 + 241,42 d - 11,361 d^2 - 6,6780 dh + 0,54259 d^2h$	T	0,960	13,6	
	$P = -27,081 + 8,0756 d - 0,42159 d^2 - 0,21847 dh + 0,019757 d^2h$	T	0,881	23,2	
	$K = -446,63 + 0,0073548 d^2hf^2 + 11,935 I + 52,526 \ln dh^2$	S	0,925	24,9	
	$Ca = h \left(-18,743 + 3,6858 d - 0,081229 d^2 \right)$	T	0,925	16,8	
	$Mg = 67,465 + 0,012953 dh^2 - 11,563 \ln dhf^2$	S	0,849	31,1	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

A melhora nos desempenhos das equações mostradas na Tabela 41 em relação às anteriores é confirmada quando os gráficos de resíduos são analisados (FIGURAS 12 e 13). Tais gráficos possuem distribuições de resíduos com menor amplitude de valores e maior uniformidade ao longo do eixo das abscissas (\hat{Y} – conteúdo de macronutrientes estimado em gramas), quando comparados com aqueles das Figuras 9, 10 e 11. Convém salientar que os gráficos de resíduos das Figuras 12 e 13, por possuírem menores valores de resíduos, são apresentados em escalas diferentes daqueles das Figuras 9 a 11, mesmo assim a melhora na distribuição de resíduos é evidente.

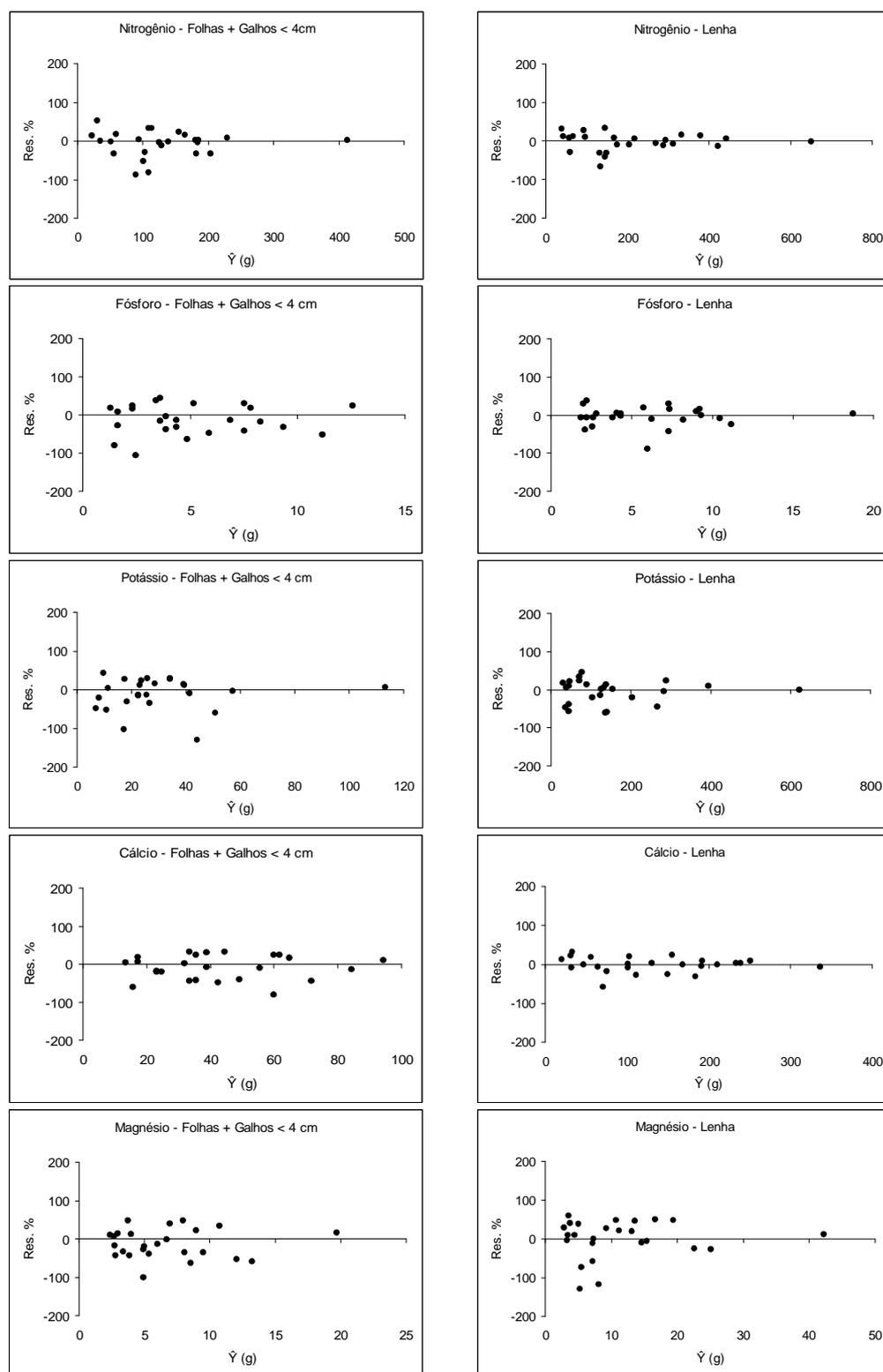


FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE FOLHAS + GALHOS MENORES DO QUE 4 cm E LENHA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

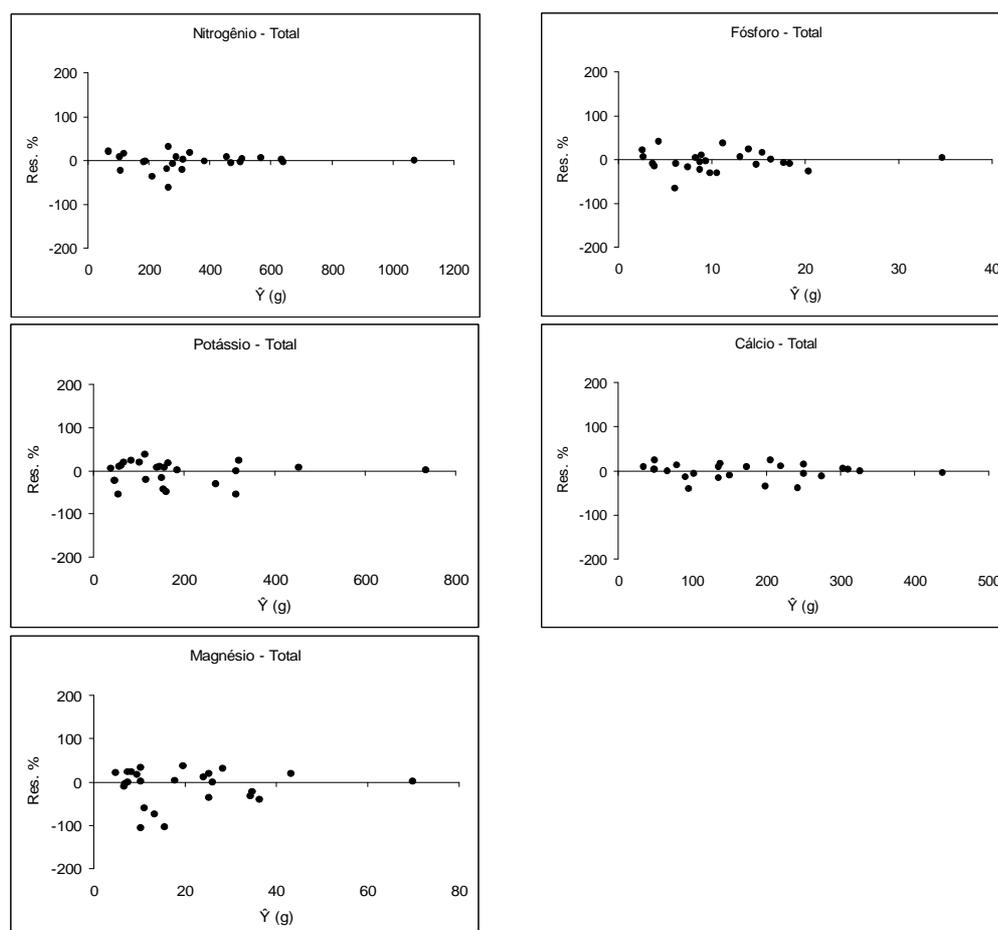


FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) PARA TODA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Assim como pode ser observado para as equações da Tabela 40, as equações para estimativa do conteúdo de macronutrientes dos compartimentos da copa apresentaram os piores valores para as estatísticas de ajuste e precisão. Enquanto que as equações estimativas do conteúdo de macronutrientes na lenha e para toda a biomassa aérea da bracatinga apresentaram melhores valores para as estatísticas de ajuste e precisão.

No entanto, quando os gráficos de resíduos são analisados, não se verificam grandes melhorias nas distribuições dos resíduos das equações selecionadas para lenha e para toda a biomassa aérea, com relação às distribuições de resíduos das equações para copa (folhas + galhos < 4 cm).

Da mesma maneira que ocorreu para as equações da Tabela 40, as equações selecionadas para estimativa do conteúdo de magnésio foram as que

apresentaram as piores estatísticas de ajuste e precisão quando comparadas com as equações para estimar os demais nutrientes.

Como pode ser verificado na Tabela 41, os modelos tradicionais foram os de melhor desempenho para estimativa da maioria dos macronutrientes quando foram considerados os compartimentos da biomassa somados (folhas + galhos < 4 cm; lenha e biomassa aérea). Dentre os modelos tradicionais, merecem destaque os modelos de Meyer modificado e Péllico Netto.

Todas as equações resultantes do procedimento *stepwise* são apresentadas nos Apêndices 17 a 19, juntamente com as duas equações de melhor desempenho e suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão, além do Fator de Correção de Meyer (FM) para equações logarítmicas.

As equações resultantes do procedimento *stepwise* para todos os macronutrientes nas folhas + galhos < 4 cm têm como variáveis independentes dimensões da copa da árvore, como diâmetro de copa (dc), altura de copa (hc) e razão de copa (rc), exceto para o potássio. As equações *stepwise* para a lenha e para toda a biomassa aérea da bracatinga apresentaram como variáveis independentes, tanto dimensões da copa como do fuste das árvores, além do diâmetro à altura do peito e altura total.

Diferentemente do que ocorreu para os compartimentos da biomassa aérea da bracatinga considerados separadamente, variáveis como idade (I) e altura dominante (h_{dom}), geralmente não trouxeram ganhos significativos às equações estimativas do conteúdo de macronutrientes resultantes do procedimento *stepwise*.

5.4.3 Melhores equações desenvolvidas para estimativa do conteúdo de micronutrientes na biomassa aérea de bracatinga

Na Tabela 42 são apresentadas as melhores equações desenvolvidas para estimativa do conteúdo de micronutrientes (mg) nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de bracatinga, obedecendo aos critérios de seleção apresentados. Da mesma maneira que para as equações estimativas de macronutrientes, nem sempre os modelos com as melhores estatísticas de ajuste e precisão foram selecionados, pois também foram avaliados critérios de aceitabilidade e aplicabilidade.

A Tabela 42 mostra o coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.), erro padrão da estimativa em porcentagem (syx%), além do fator de correção de Meyer (FM) para as equações logarítmicas.

Assim como pôde ser observado para as equações para estimativa de macronutrientes deste trabalho e na maioria das pesquisas envolvendo o ajuste de modelos matemáticos visando obter estimativas do conteúdo de nutrientes na biomassa, as equações desenvolvidas para os compartimentos da biomassa do fuste apresentaram as melhores estatísticas de ajuste e precisão, comparativamente com os outros compartimentos.

No entanto, a qualidade dos ajustes das equações variou muito entre os diferentes micronutrientes. Na Tabela 42 são observados alguns valores muito baixos de R^2 aj. e muito altos para o syx% das equações do conteúdo de ferro e zinco. As equações selecionadas para estimativa do conteúdo de ferro mostram uma significativa melhora das estatísticas de ajuste e precisão para os compartimentos da biomassa do fuste (madeira e casca), contudo, tal melhora não ocorre para as equações que estimam o conteúdo de zinco.

Quando os gráficos de resíduos são analisados (Figura 14 a 16) observa-se que as equações para estimativa de ferro e zinco apresentam os maiores valores de resíduos para quase todos os compartimentos da biomassa, tanto é que alguns gráficos são apresentados com escalas diferentes dos demais, pois contêm alguns valores de resíduo em porcentagem altíssimos. Os gráficos em diferentes escalas são: para as equações do conteúdo de zinco nos galhos < 4cm e na madeira e para ferro e zinco nos galhos \geq 4 cm.

TABELA 42 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) PARA ÁRVORES INDIVIDUAIS NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Compartmento da biomassa	Equação Seleccionada		R ² aj.	syx%	FM
Folhas	$Fe = -1110,3 + 315,41 d - 12,442 d^2 - 8,7608 dh + 0,47966 d^2h$	T	0,331	62,7	
	$Mn = 2691,8 + 0,45965 dc^2hf^2 - 498,60 \ln dchf^2$	S	0,856	39,6	
	$Cu = -221,19 + 67,392 d - 2,9946 d^2 - 2,1788 dh + 0,13656 d^2h$	T	0,825	29,9	
	$Zn = -233,57 + 71,823 d - 3,3559 d^2 - 2,3285 dh + 0,15296 d^2h$	T	0,696	43,7	
Galhos < 4cm	$\ln Fe = 1,0707 + 0,50564 \ln d^2h$	T	0,148	70,8	1,2729
	$Mn = -6526,7 + 1559,2 d - 79,179 d^2 - 106,22 dh + 5,4524 d^2h + 453,28 h$	T	0,932	37,0	
	$Cu = -282,38 + 93,788 d - 4,4171 d^2 - 3,1435 dh + 0,21472 d^2h$	T	0,720	35,7	
	$Zn = 0,0070823 d^2h$	T	0,634	77,4	
Galhos ≥ 4cm	$\ln Fe = -3,1594 + 2,2625 \ln d + 0,67800 \ln hc$	M	0,367	119,3	1,5045
	$Mn = -384,80 + 0,70344 d^2h - 0,033046 d^2h^2 + 61,377 hc - 0,060713 d^2hc$	M	0,839	36,4	
	$Cu = 107,40 + 0,54951 d^2 - 82,143 hc + 13,430 hc^2 - 0,0068600 d^2hc$	M	0,951	25,3	
	$Zn = -2,0171 + 0,032375 d^2hc$	M	0,712	55,3	
Madeira	$Fe = 1551,8 + 25,350 d^2 - 3,8018 d^2h + 5,0640 dh^2 - 35,672 h^2$	T	0,861	25,3	
	$Mn = 216,41 + 0,045092 d^2hf^2 + 76,968 I - 65,057 hdom$	S	0,872	40,7	
	$\ln Cu = -1,4693 + 2,1339 \ln d + 0,57272 \ln hf$	M	0,924	19,9	1,0239
	$Zn = 0,037479 d^2h$	T	0,433	112,7	
Casca	$\ln Fe = 0,85589 + 0,70709 \ln d^2hf$	M	0,755	28,0	1,0564
	$Mn = -1179,1 + 845,97 d - 65,188 d^2 - 42,598 dh + 3,9893 d^2h$	T	0,931	31,3	
	$\ln Cu = -1,7450 + 0,84329 \ln d^2hf$	M	0,915	17,4	1,0241
	$Zn = 9,6916 + 0,019338 d^2hf$	M	0,778	31,6	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

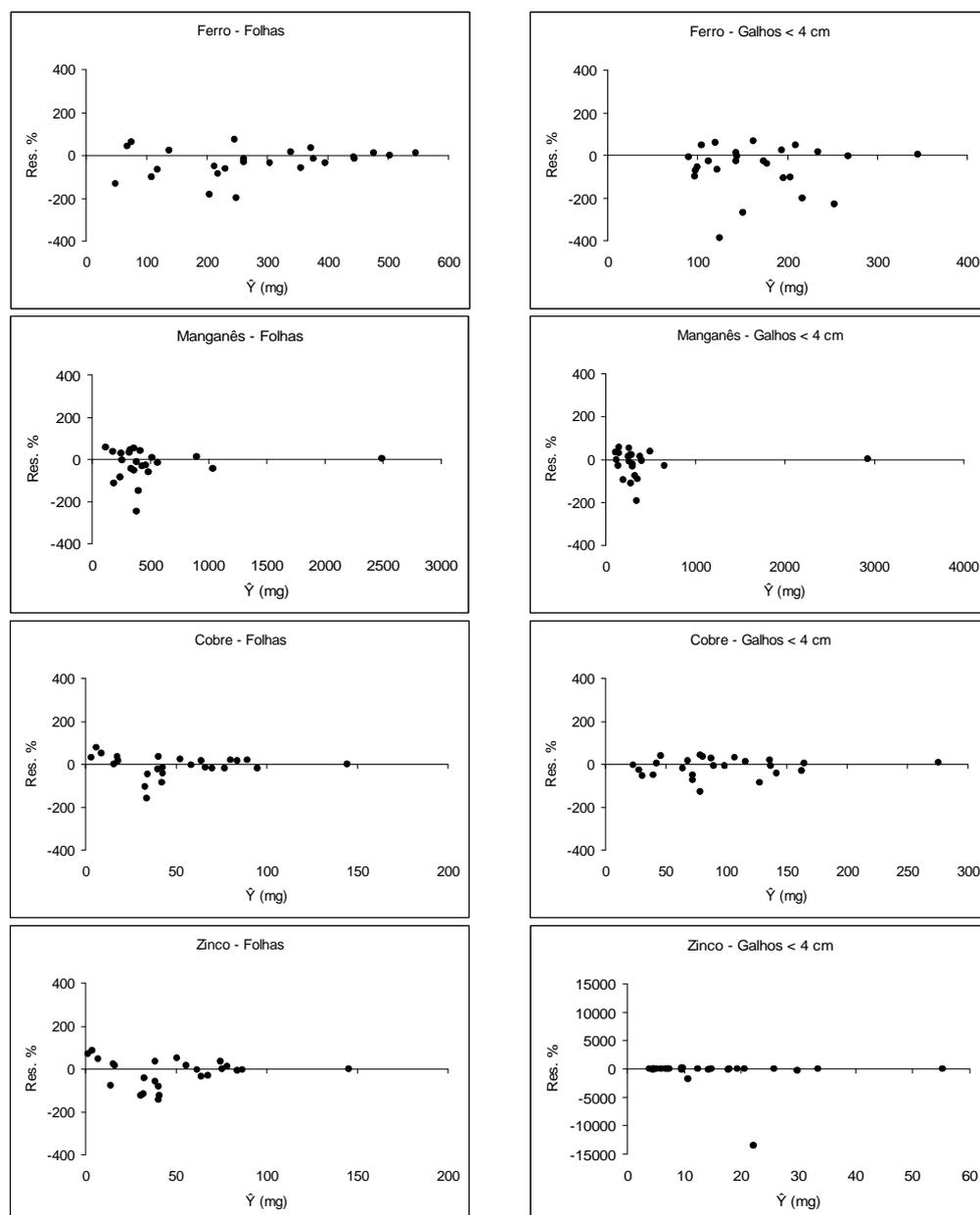


FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE FOLHAS E GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

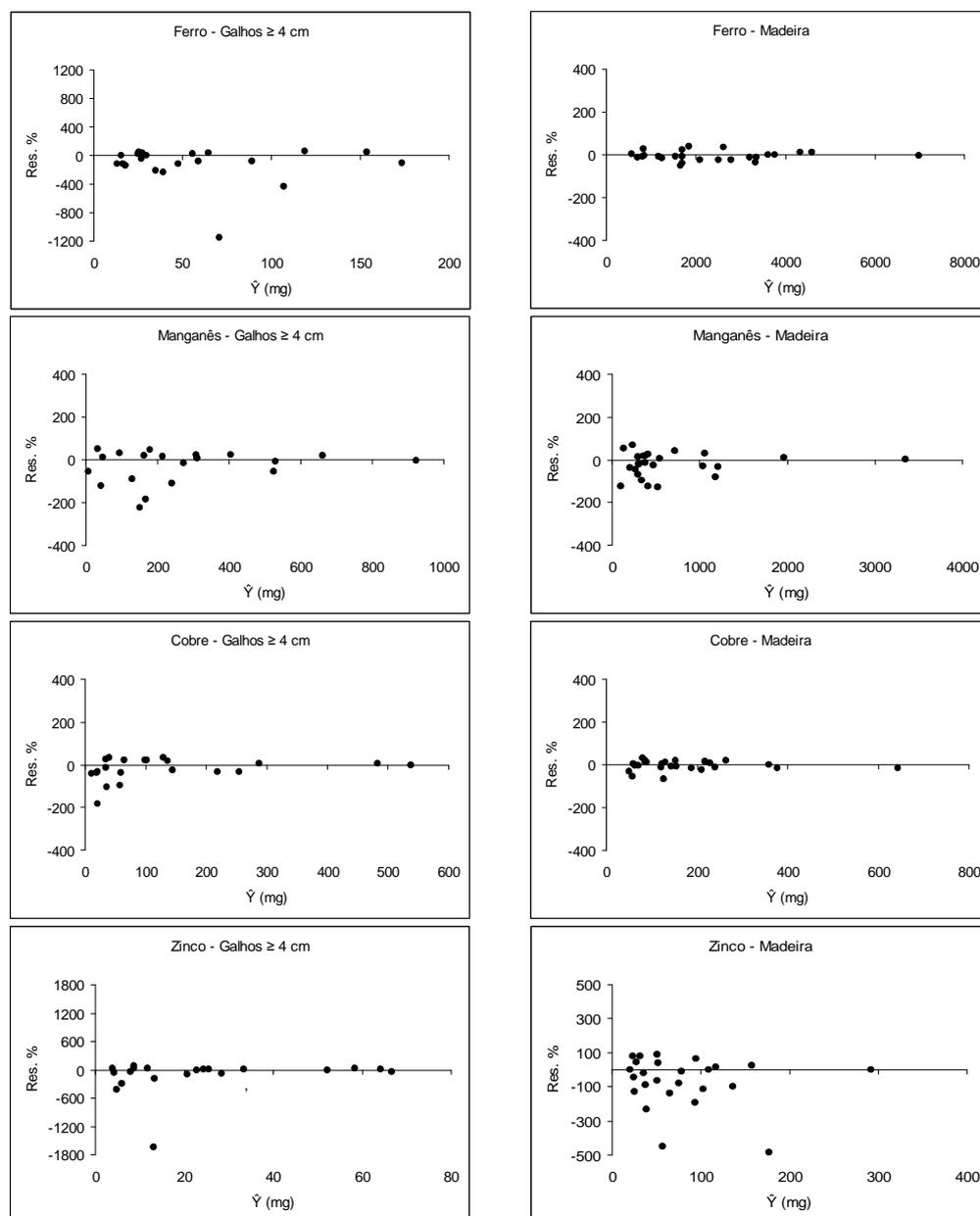


FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm E DE MADEIRA PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

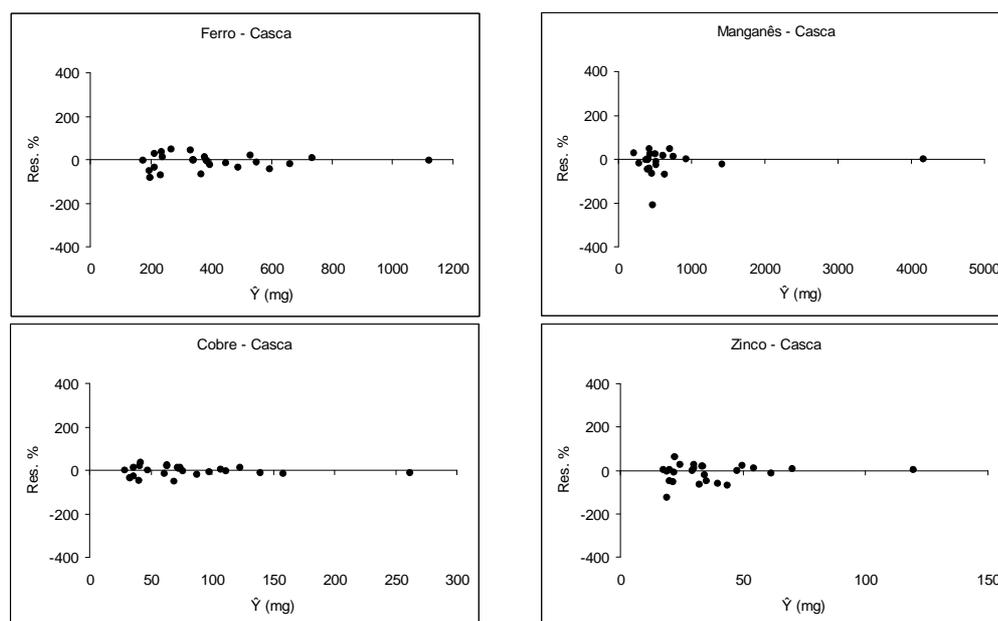


FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE CASCA PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Quando as distribuições de resíduo das equações de ferro e zinco foram analisadas, levantou-se a hipótese de que tais valores altos de resíduo em porcentagem fossem resultado de observações atípicas (*outliers*). Então, como é recomendado, verificou-se a possibilidade de serem resultantes de algum erro de medição ou digitação. Sendo essa possibilidade descartada, foi procedido o ajuste dos modelos matemáticos excetuando-se as observações que resultaram em tais valores altos de resíduos. No entanto, não foram verificadas melhoras significativas nas estatísticas de ajuste e precisão que justificassem a exclusão dessas observações do conjunto de dados.

Nos gráficos de resíduo das equações selecionadas para estimativa do conteúdo de micronutrientes, além dos altos valores de resíduos encontrados para ferro e zinco, nota-se que a distribuição de resíduos da equação para estimativa do conteúdo de manganês não apresenta uma distribuição de resíduos ao longo de toda a linha estimativa (\hat{Y} – conteúdo de micronutrientes estimado em miligramas). Invariavelmente, as observações se concentram nos menores valores do conteúdo de manganês e um único valor alto do conteúdo desse nutriente foi observado. Essa situação pode implicar em valores fictícios para a estatística de ajuste $R^2_{aj.}$, o qual seria mais baixo caso esse único valor alto do conteúdo de manganês não fizesse

parte dos dados amostrados. Além disso, esse único valor pode fazer com que a equação ajustada não represente a verdadeira tendência de aumento ou diminuição do conteúdo de manganês de acordo com as variáveis independentes, já que não há repetição para os valores mais altos do conteúdo desse nutriente.

As equações desenvolvidas para estimativa de cobre foram as que apresentaram as melhores estatísticas de ajuste e precisão entre os micronutrientes. As melhores distribuições de resíduo também podem ser observadas para as equações estimativas do cobre, contudo, mesmo assim é possível notar a presença de tendências nas distribuições de resíduo das equações nos compartimentos folhas e nos galhos ≥ 4 cm. Para o compartimento folhas, a equação selecionada apresentou tendência de subestimativa para os menores valores de \hat{Y} (conteúdo de cobre estimado), já para o compartimento galhos ≥ 4 cm houve tendência de superestimativa para os menores valores de \hat{Y} .

Dentre os modelos de melhor desempenho, merece destaque o modelo de Meyer modificado para estimativa do conteúdo de micronutrientes na biomassa de folhas (TABELA 42).

Assim como pode ser observado para as equações de macronutrientes, todas as equações selecionadas para estimativa do conteúdo de micronutrientes nos galhos maiores ou iguais a 4 cm têm como variável independente a altura de copa (h_c) e a maioria das equações selecionadas para estimativa do conteúdo de micronutrientes na madeira e na casca apresentaram como variável independente a altura do fuste (h_f) e sua combinação com o diâmetro à altura do peito (d) (TABELA 42). Esses resultados confirmam os resultados da matriz de correlação, a qual indica altos valores dos coeficientes de correlação da variável altura de copa com os conteúdos de nutrientes dos compartimentos da biomassa da copa e da variável altura do fuste com os conteúdos de nutrientes da biomassa do fuste.

As equações resultantes do procedimento *stepwise* são apresentadas nos Apêndices 20 a 24. Além das dimensões da copa e do fuste como variáveis independentes, merece destaque a variável altura dominante (h_{dom}) das equações estimativas do conteúdo de ferro e cobre para as folhas e a variável idade (I) para diferentes micronutrientes em diversos compartimentos da biomassa, principalmente cobre. As equações *stepwise* reforçam o efeito significativo das variáveis idade e altura dominante sobre os conteúdos de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa da bracatinga.

Observando os valores de R^2 aj., syx% e os gráficos de resíduos das equações do conteúdo de ferro para os compartimentos da biomassa da copa (folhas e galhos), é possível afirmar que a relação entre as variáveis independentes e o conteúdo de ferro é muito fraca e não pode ser generalizada para todos os bracatingais da região metropolitana de Curitiba com confiabilidade. Essa mesma afirmação pode ser feita para as equações do conteúdo de zinco nos galhos e na madeira da bracatinga. Além disso, as equações do conteúdo de manganês, apesar de terem apresentado boas estatísticas de ajuste e precisão, devem ser tomadas com cautela já que foi observada falta de uniformidade ao longo das distribuições de resíduo.

Bellote *et al.* (1983) não encontraram bons ajustes para equações para estimativa do conteúdo de micronutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa aérea de *Eucalyptus grandis*. As equações desenvolvidas por esses autores apresentaram como variáveis independentes somente a idade das árvores, mesmo assim alguns resultados foram semelhantes aos encontrados nesta pesquisa. As equações do ferro e manganês apresentaram melhores ajustes para os compartimentos da biomassa do fuste e as equações estimativas do conteúdo de zinco foram as que apresentaram os piores ajustes.

Assim como foi observado para o conteúdo de micronutriente em alguns compartimentos da biomassa de bracatinga, Silva (1996) e Moro *et al.* (2007) não encontraram boas relações entre variáveis dendrométricas e o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa para *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*, respectivamente. Entretanto, esses autores trabalharam somente com macronutrientes e como pôde ser visto anteriormente neste trabalho, foram encontradas relações satisfatórias do conteúdo de macronutrientes com as variáveis dendrométricas da bracatinga.

Tendo em vista os baixos valores das estatísticas de ajuste e precisão, além de distribuição de resíduos muitas vezes com grande amplitude de valores e com tendenciosidade para as equações apresentadas na Tabela 42, uma alternativa é mostrada na Tabela 43, a qual contém as equações selecionadas para estimativa do conteúdo de micronutrientes nos compartimentos da biomassa somados, são eles: folhas + galhos < 4 cm; lenha (madeira + casca + galhos \geq 4 cm); e para toda biomassa aérea de bracatinga.

A Tabela 43 também contém o coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.), erro padrão da estimativa em porcentagem (syx%), além do fator de correção de Meyer (FM) para as equações logarítmicas.

TABELA 43 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) PARA OS COMPARTIMENTOS FOLHAS + GALHOS < 4 cm, LENHA E PARA A BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Compartmento da biomassa	Equação Seleccionada		R^2 aj.	syx%	FM
Folhas + Galhos < 4cm	$Fe = -340,64 + 1691,9 \ln d - 461,40 \ln d^2 hf$	S	0,517	45,3	
	$Mn = -8042,2 + 2303,1 d - 127,20 d^2 - 145,22 dh + 8,3975 d^2 h + 489,95 h$	T	0,959	24,2	
	$Cu = -503,57 + 161,18 d - 7,4116 d^2 - 5,3223 dh + 0,35128 d^2 h$	T	0,834	26,9	
	$Zn = -255,96 + 83,155 d - 3,9410 d^2 - 2,8112 dh + 0,18759 d^2 h$	T	0,733	37,6	
Lenha	$Fe = h \left(-168,15 + 37,406 d - 0,47454 d^2 \right)$	T	0,872	23,3	
	$Mn = 6620,6 + 0,11915 d^2 hf^2 - 1151,1 \ln dhf^2 + 116,56 I$	S	0,936	25,2	
	$\ln Cu = 9,3498 - 0,25277 \ln d - 32,852 d^{-1}$	T	0,902	23,5	1,0220
	$\ln Zn = -1,2721 + 0,84514 \ln d^2 hf$	M	0,358	67,6	1,2620
Total	$Fe = -7402,9 + 2012,5 d - 100,83 d^2 - 42,633 dh + 4,2652 d^2 h$	T	0,875	22,0	
	$Mn = 17610,2 + 0,22425 d^2 hf^2 - 2739,7 \ln dhf^2 + 142,10 \ln hf$	S	0,950	23,3	
	$\ln Cu = 10,604 - 0,56252 \ln d - 34,298 d^{-1}$	T	0,928	18,7	1,0172
	$Zn = -666,89 + 229,87 d - 13,004 d^2 - 7,1992 dh + 0,60934 d^2 h$	T	0,566	47,4	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

Como pode ser observado, as equações apresentadas na Tabela 43, geralmente, obtiveram desempenhos um pouco melhores do que aquelas na Tabela 42, para os compartimentos da biomassa aérea separadamente.

As Figuras 17 e 18 apresentam os gráficos de resíduos das equações selecionadas para estimativa do conteúdo de micronutrientes dos compartimentos folhas + galhos < 4 cm, lenha e biomassa aérea. Verifica-se uma melhora na distribuição dos resíduos das equações da Tabela 43 com relação às apresentadas anteriormente, na Tabela 42. Convém ressaltar que os gráficos mostrados nas

Figuras 17 e 18 estão em escalas diferentes daqueles apresentados nas Figuras 14, 15 e 16, devido à menor amplitude de valores dos resíduos.

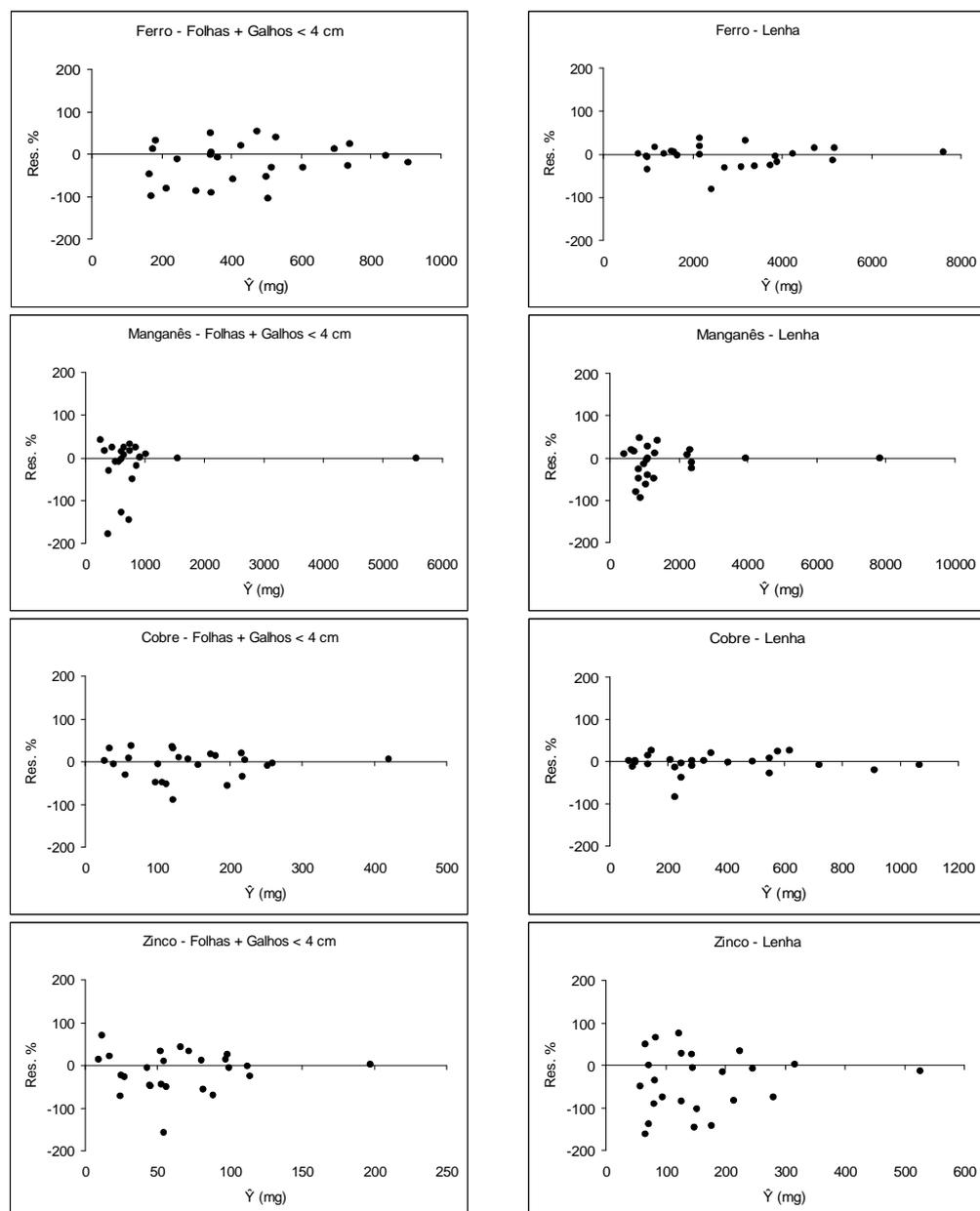


FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE FOLHAS + GALHOS MENORES DO QUE 4 cm E LENHA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Desta vez não foram observados resíduos com valores exorbitantes para as equações dos conteúdos de ferro e zinco nos compartimentos da biomassa da copa.

Sendo assim, todos os gráficos puderam ser apresentados nas mesmas escalas, favorecendo a comparação das distribuições de resíduo para as equações dos diferentes micronutrientes.

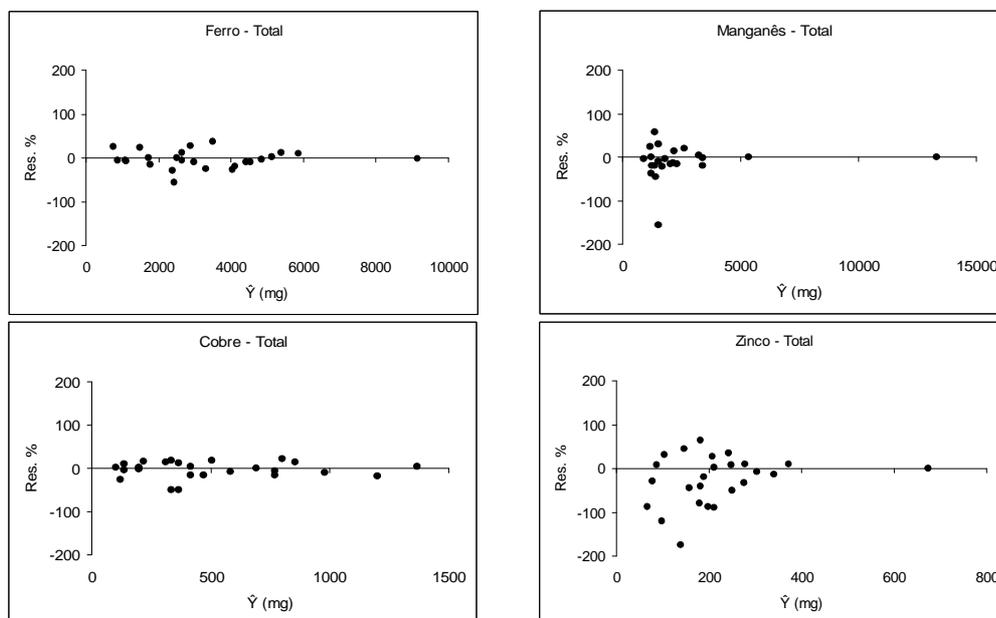


FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Apesar das melhoras na qualidade dos ajustes, e principalmente nos gráficos de resíduo, as equações selecionadas para estimativa de ferro na biomassa de folhas + galhos < 4 cm e de zinco para todos os compartimentos da biomassa, inclusive para toda a biomassa aérea, não apresentaram bons valores para as estatísticas de ajuste e precisão (TABELA 43). Nos gráficos de resíduos para essas equações, geralmente observam-se tendências de superestimativas, principalmente para os menores valores de \hat{Y} .

Da mesma forma que para as equações da Tabela 42, para os compartimentos da biomassa separadamente, as equações estimativas do conteúdo de manganês apresentaram bons valores para as estatísticas de ajuste e precisão, contudo quando os gráficos de resíduo são analisados observa-se o mesmo padrão de distribuição dos resíduos. Novamente, os resíduos se concentram para os menores valores de \hat{Y} e somente um valor alto do conteúdo de manganês é observado.

Por outro lado, as equações do conteúdo de cobre para todos os compartimentos da biomassa e de ferro para a biomassa de lenha e para toda a biomassa aérea apresentaram valores de R^2 aj. altos e $syx\%$ relativamente baixos. Além disso, as distribuições de resíduo apresentaram amplitude de valores baixa, uniformidade e ausência de tendências ao longo da linha estimativa.

Dentre os modelos ajustados que resultaram nas equações selecionadas para estimativa do conteúdo de micronutrientes na biomassa de bracatinga, o que merece destaque é Meyer modificado, o qual apresentou a melhor performance para cobre e zinco na biomassa de folhas + galhos < 4 cm e ferro e zinco para toda a biomassa aérea da árvore.

As equações resultantes do procedimento *stepwise* para estimativa dos conteúdos de micronutrientes na biomassa de folhas + galhos < 4 cm, lenha e para toda a biomassa aérea de bracatinga são apresentadas nos Apêndices 25, 26 e 27, respectivamente. A grande maioria das equações *stepwise* possui como variáveis independentes dimensões da copa e do fuste, como diâmetro de copa (dc), altura de copa (hc) e altura do fuste (hf). Entretanto, a variável idade (I) apareceu com menor frequência e a altura dominante (h_{dom}) não figurou em nenhuma das equações resultantes do procedimento *stepwise*.

6 CONCLUSÕES

6.1 CONCENTRAÇÃO E CONTEÚDO DE NUTRIENTES

- A maioria dos nutrientes apresentou a seguinte ordem decrescente de concentração em relação aos diferentes compartimentos da biomassa: folhas > casca > galhos > madeira.
- De maneira geral, a ordem das concentrações dos nutrientes analisados para a maioria dos compartimentos da biomassa foi: N > Ca > K > Mg > P > Mn > Fe > Cu > Zn.
- O fósforo e o potássio são os nutrientes que mais influenciam a produtividade e o desenvolvimento dos bracatingais da região metropolitana de Curitiba.
- A maioria das concentrações de nutrientes não apresentam diferenças significativas entre as classes de idade e de diâmetro e dificilmente seguiram tendências nítidas de aumento ou diminuição com relação a esses fatores.
- Em média, a madeira foi o compartimento da biomassa aérea de bracatinga que acumulou a maior quantidade de nutrientes.
- O potencial de exportação de nutrientes do sistema de manejo tradicional dos bracatingais é grande, tendo em vista que 70% do conteúdo de nutrientes está contido na lenha e os 30% restantes (nas folhas e galhos finos) são afetados pela prática de queimadas feitas para induzir a regeneração natural da bracatinga para a próxima rotação.
- Os conteúdos de nutrientes não apresentaram tendências definidas de aumento ou diminuição com relação às diferentes classes de sítio e idade; isso pode ser devido a outros fatores que influenciam os conteúdos de nutrientes.
- O efeito dos diâmetros sobre os conteúdos de nutrientes foi significativo para quase todos os nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa. Quanto maiores os diâmetros, maiores são os conteúdos de nutrientes.

6.2 MODELAGEM DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES

- As maiores correlações com as variáveis dendrométricas foram encontradas para os conteúdos de macronutrientes nos compartimentos da biomassa do fuste (madeira e casca).
- De maneira geral, a qualidade dos ajustes melhora significativamente para as equações dos compartimentos da biomassa somados. Sendo assim, a utilização dessas equações para estimativa do conteúdo de nutrientes deve ser preferida.
- As relações entre as variáveis dendrométricas e os conteúdos de macronutrientes foram satisfatórias e permitiram o desenvolvimento de equações aceitáveis, exceto para o magnésio em alguns compartimentos da biomassa.
- As equações do conteúdo de micronutrientes não foram satisfatórias, exceto para o Cobre e, em alguns casos, para Fe.
- Foram verificadas melhoras na qualidade dos ajustes das equações do conteúdo de nutrientes com a inserção de dimensões da copa e do fuste, como variáveis independentes.
- A inserção das variáveis idade (I) e altura dominante (h_{dom}) também apresentou bons resultados para estimativa do conteúdo de nutrientes em alguns casos, comprovando influência significativa sobre os conteúdos de nutrientes na biomassa aérea de bracatinga.

7 RECOMENDAÇÕES

- Para a realização de novos estudos sobre os efeitos dos fatores sítio, idade e diâmetro sobre as concentrações de nutrientes na biomassa das árvores, se recomenda a ampliação da amostragem abrangendo uma maior variação etária e diamétrica, juntamente com o controle rigoroso de outros fatores que possam influenciar as concentrações de nutrientes.
- Melhores ajustes para as equações do conteúdo de nutrientes poderiam ter sido encontrados se os dados utilizados proviessem de uma população com características mais homogêneas, como por exemplo, somente uma classe de sítio e idade. Entretanto, uma amostragem feita tratando cada classe de sítio e idade separadamente incorreria num aumento do número de árvores amostradas, e conseqüentemente, nos custos e no tempo para a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALESTALO, A. On the possibilities of the utilization of needles and bark. In: IUFRO BIOMASS STUDIES, 1., 1973, Nancy and Vancouver. **Anais...** Orono: College of life sciences and agriculture, 1973. p. 429-442.
- BAGGIO, A. J. **Estudio sobre el sistema agroforestal tradicional de la bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) en Brasil:** Productividad, manejo de residuos y elaboracion de compost. 242 f. Tese (Doutorado) – Universidad Politecnica de Madrid, 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.; CECCON, E. Sistema agroforestal tradicional da bracatinga com culturas agrícolas anuais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 12, p. 73-82, 1986.
- BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. OLIVEIRA, G. D. de. Absorção de macronutrientes e micronutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill, ex-Maiden) em função da idade. **Silvicultura**, São Paulo, n. 32, p. 633-643, 1983.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 13-64.
- BINKLEY, D. **Forest Nutrition Management**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 290 p.
- BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. **Forest management and economics**. New York: Macmillan Publishing Company, 1987. 285 p.
- CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de Biomassa e Nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003a.
- CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMACHER, M. V.; SPATHELF, P. Conteúdo e exportação de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na em acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) procedência Lake Geoge Bunge Dore - Austrália. **Floresta**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 99-104, 2001b.

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). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 9-14, 2003b.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SANTOS, E. M. dos. Conteúdo de nutrientes em uma procedência de *Acacia mearnsii* plantada no Rio Grande do Sul - Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, p. 105-121, 2001a.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SANTOS, E. M. dos.; TEDESCO, N.; PEREIRA, J. C. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento jovem de *Acacia mearnsii* De Wild. estabelecido na região sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 53-65, 2000a.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N.; SANTOS, E. M. dos. Ciclagem de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild. V. quantificação do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Acacia mearnsii* De Wild. procedência australiana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 977-982, 2000b.

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, 1986.

CARBONERA PEREIRA, J.; SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M.; CALDEIRA, M. V. W.; SANTOS, E. M. dos. Produção de biomassa em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 521-526, 1997.

CARBONERA PEREIRA, J.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M.; SANTOS, E. M. dos. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 193-199, 2000.

CARIOCA, J. O. B.; ARORA, H. L. **Biomassa**: fundamentos e aplicações tecnológicas. Fortaleza: Ed. da UFC, 1985. 644 p.

CARPANEZZI, A. A.; CARPANEZZI, O. T. B. Cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) no Brasil e prioridades para o seu aperfeiçoamento. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: Ed. da UFSM, 1992. 2 v., p.640-655.

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

CARVALHO, P. E. R. Composição e crescimento de um povoamento natural de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA ALTERNATIVA PARA REFLORESTAMENTO", 4., 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA - URPFCS, 1981. p. 67-75.

CARVALHO, P. E. R.; COSTA, J. M. Comportamento de essências florestais em condições de arboreto em quatro locais do estado do Paraná. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS “BRACATINGA UMA ALTERNATIVA PARA REFLORESTAMENTO”, 4., 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA – URPFC, 1981. p. 161-170.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa, 2003. v. 1, 1039 p.

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

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 1980. 709 p.

DRUMOND, M. A.; BARROS, N. F. de; SOUZA, A. L. de; SILVA, A. F. da; TEIXEIRA, J. L. Composição mineral e demanda nutricional de espécies florestais da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 1-10, 1997.

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

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FREESE, F. **Elementary statistical methods for foresters**. Washington, D.C.: USDA Forest Service, 1967. 87 p.

FREESE, F. **Linear regression methods for forest research**. Medison: USDA Forest Service, 1964. 136 p.

FREITAS, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W.; SPATHELF, P. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização, no município de Alegrete-RS. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.

GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. An evaluation of minimum and intensive soil preparation regarding fertility and tree nutrition. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 13-64.

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.

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

HOPPE, J. M. **Biomassa e nutrientes em *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. estabelecido no município de Dom Feliciano - RS.** 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration.** 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 1982. 402 p.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems.** New York: John Wiley & Sons, 1985. 190 p.

KEAYS, J. L. Complete-tree utilization, resumé of a literature review. In: FOREST BIOMASS STUDIES, 1., 1971, Gainsville. **Anais...** Orono: College of life sciences and agriculture, 1971. p. 91-102.

KIMMINS, J. P. Evaluation of the consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 1, n. 2, p. 169-183, 1977.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Fontes e níveis de erro nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. **As florestas e o Carbono.** Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 251-264.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of Eucalyptus in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 181-196, 2000.

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

LAURENT, J. E.; PEDREIRA, M. do R. R.; CARPANEZZI, O. T. B.; BITTENCOURT, S. M. de. **Melhoramento do sistema agroflorestal da bracinga.** Curitiba: EMATER - Paraná, 1990. 128 p.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory.** München: BLV Verlagsgesellschaft, 1973. v. 2, 469 p.

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

MACHADO, S. A.; OLIVEIRA, E. B.; CARPANEZZI, A. A.; BARTOSZECK, A. C. P. S. Classificação de sítio para bracingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 21-37, 1997.

MACHADO, S. A.; TONON, A. E. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Evolução da área basal e do volume em bracingais nativos submetidos à diferentes densidade iniciais e em diferentes sítios. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 1, p. 61-74, 2002.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007.

MORO, L.; REISSMANN, C. B.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A.; LAVORANTI, O. J. Modelos matemáticos para estimativa de exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 223-230, 2007.

MOURA, O. N.; PASSOS, M. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; MOLICA, S. G.; LIRA JUNIOR, M. A.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. dos. Distribuição de biomassa e nutrientes na parte aérea de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 877-884, 2006.

NEGI, J. D. S.; SHARMA, D. C. Distribution of nutrient in an age series of *Eucalyptus globulus* plantation in Tamil Nadu. **Indian Forester**, Dehradun, v. 110, n. 9, p. 944-953, 1984.

PÉLLICO NETTO, S. Desenvolvimento de uma nova função volumétrica. **Acta Forestalia Brasiliensis**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 9-17, 1986.

PEREIRA, A. R.; BARROS, N. F. de; ANDRADE, D. C. de; CAMPOS, P. T. A. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade cultivado na região do cerrado. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 59, p. 27-37, 1984.

PEREIRA, J. C. D.; LAVORANTI, O. J. Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Mimosa scabrella* Benth. Para fins energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 12, p. 30-34, 1986.

PERRY, D. A. **Forest Ecosystems**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1994. 649 p.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. do. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 23, p. 29-36, 1983.

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**, Piracicaba, n. 25, p. 37-39, 1983.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Nutrient cycling in native forests. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 13-64.

PRODAN, M. A ética da profissão florestal. **Floresta**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 62-67, 1977.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997. 587 p.

PROFUMO AGUIAR, L. **Modelagem do volume do povoamento da *Mimosa scabrella* Benth. 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.

RANGER, J.; GELHAYE, D. Belowground biomass and nutrient content in a 47-year-old Douglas-fir plantation. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 58, n. 4, p. 423-430, 2001.

RANGER, J.; MARQUES, R.; COLIN-BELGRAND, M.; FLAMMANG, N.; GELHAYE, D. The dynamics of biomass and nutrient accumulation in a Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stand studied using a chronosequence approach. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 72, n. 2, p. 167-183, 1995.

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

ROTTA, E.; OLOVEIRA, 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., 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA – URPFCS, 1981. p. 1-23.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. **As florestas e o Carbono.** Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 119-140.

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**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169. 1999.

SATOO, T.; MADGWICK, H. A. I. **Forest biomass.** Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1982. 152 p.

SCHUMACHER, M. V.; 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.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3:** Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SILVA, H. D. da. **Modelos Matemáticos para Estimativa da Biomassa e do Conteúdo de Nutrientes em Plantações de *Eucalyptus gradis* Hill (ex-Maiden) em Diferentes Idades.** 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SILVEIRA, L. V. de A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Evaluation of the nutritional status of eucalypts: visual and foliar diagnoses and their interpretation. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 13-64.

SINGH, B. Nutrient content of standing crop and biological cycling in *Pinus patula* ecosystem. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 4, n. 4, p. 317-332, 1982.

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.

TÉO, S. J.; MACHADO, S. A.; SILVA, L. C. R. da; FIGURA, M. A. Índice de densidade do povoamento para bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba, PR. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 54-61, 2008.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. G.; CANTARINO, S. C. **Atlas geoambiental da região metropolitana de Curitiba: subsídios ao planejamento territorial**. Curitiba: CPMR, 1999a. 48 p.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. G.; CANTARINO, S. C. **Informações básicas sobre o meio físico subsídios para o planejamento territorial: folha Curitiba – 1:100.000**. Curitiba: CPMR, 1994. 109 p.

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, 1999b. 14 p.

TIMONI, J. L.; PAGANO, S. N. Caracterização e quantificação de elementos minerais de um povoamento de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon no Município de Itirapina (SP). In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5., 1986, Olinda. **Anais...** Olinda: SBS, 1986. p. 69.

URBANO, E. **Quantificação e estimativa da biomassa aérea e do carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

VAN LEAR, D. H.; WAIDE, J. B.; TEUKE, M. J. Biomass and nutriente content of a 41-year-old Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation on a poor site in South Carolina. **Forest Science**, Bethesda, v. 30, n. 2, p. 395-404, 1984.

VITAL, A. R. T.; LIMA, W. P.; POGGIANI, F.; CAMARGO, F. R. A. de. Biogeoquímica de uma microbacia após o corte raso de uma plantação de eucalipto de 7 anos de idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 17-28, 1999.

WESTERMAN, R.L. **Soil Testing and Plant Analysis**. 3. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1990. 677 p.

WISE, P. K.; PITMAN, M. G. Nutrient removal and replacement associated with short-rotation eucalypt plantations. **Australian Forestry**, Canberra, v. 44, n. 3, p. 142-152, 1981.

YOUNG, H. E. Challenge of complete tree utilization. **Forest Products Journal**, Medison, v. 18, n. 4, p. 83-85, 1968.

YOUNG, H. E. Growth, yield and inventory in terms of biomass. In: IUFRO BIOMASS STUDIES, 1., 1973, Nancy and Vancouver. **Anais...** Orono: College of life sciences and agriculture, 1973, p. 1-9.

YOUNG, H. E. The enormous potential of the forests: a positive rebuttal to Grantham and Ellis. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 73, n. 2, p. 99-102, 1975.

ZEN, S.; POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. do. Variação da concentração de nutrientes ao longo do caule de *Eucalyptus saligna*: implicações na utilização energética dos resíduos florestais. **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, Circular Técnica n. 136, 1981.

ZILLER, S. R.; RIBASKI, J.; NEVES, E. J. M.; WISNIEWSKI, C.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F. G.; MARTINS, E. G.; MARTINEZ, C. M.; SOUZA, S. L. de; PANZERI, C. G.; MASCHIO, W. Relação entre serapilheira acumulada, características fitossociológicas e pedológicas em quatro capoeiras de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) na região metropolitana de Curitiba - PR. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 911-921, 1996.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO FOLHAS.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	0,1542 ^{ns}	1,7679 ^{ns}	0,3530 ^{ns}
P	7,0759**	12,1994**	1,1162 ^{ns}
K	3,8455*	2,1414 ^{ns}	3,3089 ^{ns}
Ca	-	8,9846**	0,3288 ^{ns}
Mg	2,3002 ^{ns}	4,7273*	0,0278 ^{ns}
Fe	0,9559 ^{ns}	1,7588 ^{ns}	2,5040 ^{ns}
Mn	2,0249 ^{ns}	5,8434**	1,6431 ^{ns}
Cu	0,6635 ^{ns}	1,3110 ^{ns}	0,5713 ^{ns}
Zn	1,0657 ^{ns}	0,5041 ^{ns}	0,4608 ^{ns}

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 2 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4cm.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	-	3,7897*	0,3324 ^{ns}
P	4,9334*	9,2795**	0,1560 ^{ns}
K	2,9391 ^{ns}	1,1328 ^{ns}	1,9994 ^{ns}
Ca	0,9899 ^{ns}	1,0087 ^{ns}	-
Mg	4,8077*	0,7506 ^{ns}	0,3220 ^{ns}
Fe	0,9813 ^{ns}	1,0505 ^{ns}	0,5939 ^{ns}
Mn	4,7769*	7,4150**	2,6045 ^{ns}
Cu	1,1924 ^{ns}	7,5778**	0,5766 ^{ns}
Zn	0,8794 ^{ns}	0,7517 ^{ns}	0,9173 ^{ns}

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 3 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4cm.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	1,5999 ^{ns}	10,1038**	0,5037 ^{ns}
P	2,2774 ^{ns}	2,3082 ^{ns}	0,2568 ^{ns}
K	1,2645 ^{ns}	1,4300 ^{ns}	0,8803 ^{ns}
Ca	1,8677 ^{ns}	2,2261 ^{ns}	1,1552 ^{ns}
Mg	1,2610 ^{ns}	1,3415 ^{ns}	0,3121 ^{ns}
Fe	1,2829 ^{ns}	1,4484 ^{ns}	2,1273 ^{ns}
Mn	1,9719 ^{ns}	4,3795*	1,0022 ^{ns}
Cu	4,0033*	4,5328*	0,5173 ^{ns}
Zn	1,4205 ^{ns}	1,1567 ^{ns}	-

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 4 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO MADEIRA.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	0,9384 ^{ns}	2,4539 ^{ns}	1,0009 ^{ns}
P	1,4019 ^{ns}	1,5408 ^{ns}	3,5439*
K	0,9552 ^{ns}	4,0287*	1,6645 ^{ns}
Ca	1,0468 ^{ns}	1,2449 ^{ns}	8,7756**
Mg	1,1152 ^{ns}	1,1365 ^{ns}	0,5127 ^{ns}
Fe	0,2403 ^{ns}	0,2798 ^{ns}	-
Mn	3,1704*	6,5937**	0,4382 ^{ns}
Cu	0,4532 ^{ns}	3,7536*	0,0521 ^{ns}
Zn	0,1023 ^{ns}	0,1188 ^{ns}	0,6988 ^{ns}

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 5 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO CASCA.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	0,9284 ^{ns}	4,7025*	2,1321 ^{ns}
P	4,4792*	6,5776**	0,1663 ^{ns}
K	4,0891*	1,6566 ^{ns}	1,2181 ^{ns}
Ca	1,6451 ^{ns}	4,6533*	0,8349 ^{ns}
Mg	1,0229 ^{ns}	0,4996 ^{ns}	0,4282 ^{ns}
Fe	-	0,5508 ^{ns}	0,8162 ^{ns}
Mn	-	6,9554**	0,9885 ^{ns}
Cu	0,5929 ^{ns}	1,3250 ^{ns}	0,7373 ^{ns}
Zn	0,2233 ^{ns}	1,1567 ^{ns}	1,4637 ^{ns}

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 6 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO FOLHAS.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	0,6370 ^{ns}	1,8768 ^{ns}	8,2598**
P	0,8304 ^{ns}	1,3022 ^{ns}	13,4766**
K	1,0557 ^{ns}	1,1848 ^{ns}	15,1524**
Ca	1,6752 ^{ns}	1,4969 ^{ns}	17,9881**
Mg	1,2536 ^{ns}	1,0918 ^{ns}	15,3628**
Fe	0,6372 ^{ns}	1,4855 ^{ns}	6,0453**
Mn	-	3,5311*	2,9391 ^{ns}
Cu	0,7355 ^{ns}	1,1604 ^{ns}	19,8938**
Zn	0,8683 ^{ns}	0,5043 ^{ns}	11,9055**

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 7 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO GALHOS MENORES DO QUE 4 cm.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	1,2723 ^{ns}	4,9052**	7,8627**
P	2,2795 ^{ns}	3,1108*	9,0719**
K	2,9469 ^{ns}	3,2347*	10,9908**
Ca	3,2579*	2,0749 ^{ns}	11,6175**
Mg	4,7223*	2,9794 ^{ns}	7,6667**
Fe	0,7502 ^{ns}	1,6703 ^{ns}	2,7314 ^{ns}
Mn	-	2,9641 ^{ns}	1,6066 ^{ns}
Cu	1,1658 ^{ns}	4,8662*	7,5766**
Zn	0,8638 ^{ns}	0,4734 ^{ns}	1,5224 ^{ns}

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 8 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	1,0837 ^{ns}	0,5949 ^{ns}	18,0028**
P	1,1643 ^{ns}	0,5874 ^{ns}	11,4022**
K	1,1622 ^{ns}	0,4256 ^{ns}	35,9894**
Ca	0,7482 ^{ns}	0,5965 ^{ns}	20,4090**
Mg	2,0025 ^{ns}	0,7084 ^{ns}	17,5628**
Fe	0,6515 ^{ns}	0,6257 ^{ns}	3,4543 ^{ns}
Mn	0,5113 ^{ns}	0,2550 ^{ns}	12,1499**
Cu	0,6977 ^{ns}	0,5184 ^{ns}	19,0588**
Zn	1,0039 ^{ns}	0,3706 ^{ns}	9,3966**

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 9 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO MADEIRA.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	4,7240*	9,2522**	28,3304**
P	6,2209**	5,6491**	19,3305**
K	5,2234**	-	10,2622**
Ca	6,3719**	3,1046*	25,2570**
Mg	3,5736*	3,3729*	12,2493**
Fe	4,4055*	4,3397*	40,7893**
Mn	-	4,5338*	3,3304 ^{ns}
Cu	3,7083*	6,5041**	28,2588**
Zn	0,9082 ^{ns}	0,7312 ^{ns}	4,0089*

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 10 - VALORES DE “F” DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO PARA O COMPARTIMENTO CASCA.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	4,0032*	9,7515**	25,4000**
P	7,3935**	10,1666**	23,7016**
K	-	-	12,1983**
Ca	10,0348**	7,9181**	35,1628**
Mg	3,0233 ^{ns}	6,4401**	14,4723**
Fe	3,9611*	7,3900**	12,7495**
Mn	-	7,4640**	2,4737 ^{ns}
Cu	6,0773**	11,4615**	30,5413**
Zn	-	8,5621**	8,4486**

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 11 - VALORES DE "F" DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, CLASSES DE IDADE E CLASSES DE DIÂMETRO, CONSIDERANDO TODOS OS COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA AÉREA.

Nutrientes	Tratamentos		
	Classes de Sítio	Classes de Idade	Classes Diamétricas
N	2,2260 ^{ns}	4,5211*	34,0623**
P	2,5259 ^{ns}	2,9809 ^{ns}	25,4271**
K	6,6060**	8,7905**	21,2705**
Ca	7,1221**	3,0905*	52,4793**
Mg	4,0644*	3,9422*	24,9360**
Fe	3,7140*	5,0397**	36,2642**
Mn	-	4,9232**	4,1777*
Cu	2,3356 ^{ns}	3,0047 ^{ns}	37,3626**
Zn	1,4753 ^{ns}	2,2482 ^{ns}	10,3474**

NOTA: ^{ns} = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

APÊNDICE 12 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE FOLHAS DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$N = -306,07 + 104,32 d - 5,5826 d^2 - 3,6704 dh + 0,27262 d^2h$	T	0,808	36,5	
Nitrogênio	$N = -488,04 + 131,60 d - 6,5010 d^2 - 5,7116 dh + 0,34099 d^2h + 13,814 h$	T	0,800	37,2	
	$N = 151,54 - 89,961 \ln hf + 0,0027805 d^2 hf^2 + 35,024 \ln dc + 3,6924 I$	S	0,819	35,4	
	$P = -15,213 + 4,8732 d - 0,23264 d^2 - 0,16644 dh + 0,011261 d^2h$	T	0,792	35,7	
Fósforo	$\ln P = 2,9216 + 0,19198 \ln d - 24,883 d^{-1}$	T	0,673	44,8	1,1313
	$P = -0,16806 + 0,027737 d^2$	S	0,706	42,5	
	$K = -51,302 + 16,308 d - 0,78119 d^2 - 0,55424 dh + 0,037956 d^2h$	T	0,812	34,4	
Potássio	$\ln K = 3,9816 + 0,25624 \ln d - 24,812 d^{-1}$	T	0,700	43,4	1,1385
	$K = -0,93854 + 0,097516 d^2$	S	0,731	41,1	
	$Ca = -10,194 + 0,10831 d^2 + 0,70615 dc^2 + 3,5994 hc - 0,078304 dc^2h$	M	0,729	39,0	
Cálcio	$\ln Ca = 12,391 - 2,1901 \ln d - 49,861 d^{-1}$	T	0,561	49,7	1,1202
	$Ca = -70,975 + 3,1346 hc + 34,059 \ln d - 0,012482 dch^2$	S	0,774	35,6	
	$\ln Mg = -1,3108 + 0,73956 \ln dc + 1,1461 \ln hc$	M	0,648	43,0	1,1125
Magnésio	$Mg = 3,2815 + 0,11816 d^2 - 0,013641 d^2h + 0,013325 dh^2 - 0,097993 h^2$	T	0,563	47,9	
	$Mg = -1,2521 + 0,91232 hc + 0,48093 d - 0,28131 hdom$	S	0,748	36,4	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 13 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$N = -226,79 + 71,672 d - 3,4862 d^2 - 2,1330 dh + 0,15269 d^2h$	T	0,666	34,8	
Nitrogênio	$N = -779,43 + 154,51 d - 6,2751 d^2 - 8,3320 dh + 0,36031 d^2h + 41,953 h$	T	0,688	33,6	
	$N = -39,204 + 9,4299 d$	S	0,612	37,5	
	$\ln P = -5,1386 + 0,71075 \ln d^2h$	T	0,550	41,9	1,0899
Fósforo	$P = -1,0630 + 0,23230 d - 0,0012672 d^2$	T	0,546	43,4	
	$P = -0,061224 + 0,21702 d - 0,11082 I$	S	0,630	39,1	
	$K = -35,529 + 13,891 d - 0,98766 d^2 - 0,45490 dh + 0,051441 d^2h$	T	0,720	46,2	
Potássio	$K = 0,0080640 d^2h$	T	0,624	50,5	
	$K = 4,2706 + 0,0015138 d^2hf^2 - 0,0077018 dc^2hf^2$	S	0,792	39,8	
	$\ln Ca = -1,7272 + 0,66178 \ln d^2h$	T	0,648	35,6	1,0673
Cálcio	$Ca = -344,47 + 55,957 d - 2,0144 d^2 - 3,8294 dh + 0,14359 d^2h + 24,880 h$	T	0,663	35,6	
	$Ca = 10,247 + 0,013245 d^2h - 0,082218 dc^2hf$	S	0,684	34,5	
	$Mg = -6,3786 + 2,9677 d - 0,20981 d^2 - 0,12247 dh + 0,011835 d^2h$	T	0,712	58,0	
Magnésio	$Mg = 6,3575 - 0,068216 d^2 - 0,39141 h + 0,0053716 d^2h$	T	0,693	59,8	
	$Mg = 14,832 + 0,00011674 d^2h^2 - 1,9666 d^2hf - 0,23887 I$	S	0,744	54,6	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 14 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$N = -2,9001 - 0,040484 d^2 h + 0,00052671 d^2 h^2 + 1,8789 hc + 0,16694 d^2 hc$	M	0,882	39,8	
Nitrogênio	$N = -15,704 + 0,097810 d^2 hc$	M	0,765	56,0	
	$N = 287,06 - 1,7172 d^2 - 0,015833 d^2 hf^2 + 0,23323 d^2 h + 0,32643 dchf^2 - 55,753 \ln dch^2$	S	0,937	29,0	
	$P = -0,24993 + 0,0080461 d^2 - 0,26877 hc + 0,078830 hc^2 - 0,00061591 d^2 hc$	M	0,950	22,9	
Fósforo	$P = -0,15749 + 0,0017083 d^2 hc$	M	0,787	47,3	
	$P = -0,13389 + 1,2366 hc - 3,8009 \ln hc + 0,15660 d - 0,045556 hdom$	S	0,960	20,5	
	$K = -24,469 + 0,022421 d^2 h - 0,00087805 d^2 h^2 + 4,8051 hc + 0,0079117 d^2 hc$	M	0,875	33,2	
Potássio	$K = -2,1252 + 0,033434 d^2 hc$	M	0,871	33,7	
	$K = -53,220 + 0,67950 hc^2 + 1,9556 I + 3,5774 d$	S	0,937	23,5	
	$\ln Ca = -5,7122 + 2,1517 \ln d + 2,0971 \ln hc$	M	0,850	46,2	1,1225
Cálcio	$Ca = -6,5719 + 0,043784 d^2 hc$	M	0,687	66,8	
	$Ca = 22,100 + 2,6682 hc^2 - 0,0044867 d^2 hf^2 - 20,262 hc + 0,071039 d^2 hf$	S	0,979	17,3	
	$Mg = 4,3919 - 0,0041289 d^2 - 2,2983 hc + 0,28973 hc^2 + 0,0036504 d^2 hc$	M	0,799	57,5	
Magnésio	$\ln Mg = -8,5182 + 2,3855 \ln d + 2,0745 \ln hc$	M	0,756	63,3	1,1623
	$Mg = 1,5241 + 0,37316 hc^2 + 0,43217 d - 2,7485 hc$	S	0,811	55,7	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 15 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE MADEIRA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
Nitrogênio	$\ln N = -2,4286 + 0,93038 \ln d^2 hf$	M	0,893	23,7	1,0407
	$N = 10,976 + 0,045620 d^2 hf$	M	0,901	22,7	
	$N = -15,497 + 0,043691 d^2 hf + 3,2249 I$	S	0,915	21,1	
Fósforo	$\ln P = -5,8449 + 1,0998 \ln d + 1,6052 \ln h$	T	0,812	29,8	1,0330
	$\ln P = -5,0308 + 1,6509 \ln d + 0,93182 \ln hf$	M	0,820	29,2	1,0330
	$P = 0,48515 + 0,00074751 d^2 h + 0,000060701 d^2 hf^2$	S	0,855	26,2	
Potássio	$\ln K = -4,7362 + 1,7400 \ln d + 2,1249 \ln hf$	M	0,879	36,7	1,0742
	$\ln K = -3,5762 + 1,1102 \ln d^2 hf$	M	0,765	51,1	1,1011
	$K = 257,97 + 0,15353 dhf^2 + 9,1004 I - 61,542 \ln dhf^2$	S	0,937	26,5	
Cálcio	$\ln Ca = -4,7983 + 1,1457 \ln d + 2,0897 \ln h$	T	0,652	42,1	1,0578
	$Ca = h (-4,6340 + 0,94122 d - 0,024177 d^2)$	T	0,670	41,0	
	$Ca = -134,74 + 4,9714 \ln d^2 hf^2 + 4,0058 I + 0,19358 h^2 + 6,8737 \ln dc^2 h^2$	S	0,804	31,6	
Magnésio	$\ln Mg = -5,3513 + 1,9047 \ln d + 1,0944 \ln hf$	M	0,650	60,7	1,2029
	$Mg = -0,23675 + 0,0056387 d^2 hf$	M	0,640	61,6	
	$Mg = 9,1461 + 0,0050065 dc^2 hf^2 - 0,88245 I$	S	0,772	49,0	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 16 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE CASCA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$\ln N = -1,9502 + 0,88279 \ln d^2 hf$	M	0,888	22,9	1,0306
Nitrogênio	$N = 34,807 - 0,25357 d^2 - 3,2692 hf + 0,065267 d^2 hf + 0,25338 dc^2 hf$	M	0,943	16,3	
	$N = -252,05 + 4,2659 I + 46,869 \ln d^2 hf + 0,33674 dc^2 hf - 15,706 \ln dc^2 hf$	S	0,956	14,4	
	$\ln P = -5,8307 + 1,6813 \ln d + 0,96581 \ln hf$	M	0,880	24,0	1,0246
Fósforo	$\ln P = -5,7151 + 0,86462 \ln d^2 hf$	M	0,873	24,0	1,0238
	$P = -3,8247 + 0,00056073 dc^2 hf^2 + 0,62812 \ln dh^2$	S	0,925	19,0	
	$\ln K = -4,7683 + 1,6271 \ln d + 1,7372 \ln hf$	M	0,878	30,5	1,0442
Potássio	$K = 0,63375 + 0,018946 d^2 hf$	M	0,806	38,5	
	$K = -15,241 + 0,0011831 d^2 hf^2 + 1,6640 hdom$	S	0,890	28,9	
	$Ca = h \left(-3,4604 + 0,83590 d - 0,010382 d^2 \right)$	T	0,882	20,7	
Cálcio	$\ln Ca = -2,7539 + 1,4468 \ln d + 1,2652 \ln h$	T	0,852	23,2	1,0328
	$Ca = -308,18 + 55,131 \ln d^2 hf + 0,011111 dc^2 h^2 - 0,058751 dch^2$	S	0,926	16,4	
	$\ln Mg = -4,6921 + 0,76416 \ln d^2 h$	T	0,682	38,2	1,0843
Magnésio	$Mg = 47,005 - 7,3304 d + 0,26115 d^2 + 0,56326 dh - 0,018816 d^2 h - 3,5965 h$	T	0,727	35,4	
	$Mg = -15,922 + 2,7258 \ln d^2 hf$	S	0,672	38,9	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 17 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA DE FOLHAS MAIS GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$N = -532,86 + 175,99 d - 9,0688 d^2 - 5,8034 dh + 0,42531 d^2h$	T	0,855	25,6	
Nitrogênio	$N = -1267,5 + 286,11 d - 12,776 d^2 - 14,044 dh + 0,70130 d^2h + 55,767 h$	T	0,862	25,0	
	$N = 40,757 + 0,49742 dc^2h$	S	0,737	34,5	
	$\ln P = 5,2674 - 0,44125 \ln d - 29,611 d^{-1}$	T	0,690	40,0	1,0697
Fósforo	$P = -18,951 + 5,9981 d - 0,28786 d^2 - 0,19590 dh + 0,013612 d^2h$	T	0,796	32,4	
	$P = -5,2619 + 0,43978 rc + 0,00021412 d^2hf^2 - 1,4602 hc$	S	0,842	28,5	
	$K = -86,831 + 30,198 d - 1,7688 d^2 - 1,0091 dh + 0,089397 d^2h$	T	0,824	33,1	
Potássio	$\ln K = -3,5672 + 0,90734 \ln d^2h$	T	0,763	37,1	1,0796
	$K = 3,5922 + 0,018626 d^2hf$	S	0,804	34,9	
	$Ca = -46,154 + 9,2987 d - 0,11376 d^2$	T	0,700	32,6	
Cálcio	$Ca = -43,678 + 8,9317 d - 1,1805 dc^2$	T	0,729	31,0	
	$Ca = -118,72 + 101,23 \ln d - 2,3041 I - 8,6182 \ln dc^2hf^2$	S	0,784	27,7	
	$\ln Mg = -4,2174 + 0,79558 \ln d^2h$	T	0,665	43,6	1,0712
Magnésio	$Mg = 1,2756 + 0,0025807 d^2h$	T	0,669	44,5	
	$Mg = -2,9855 + 0,18814 rc + 0,00012083 d^2h^2$	S	0,786	35,8	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 18 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA LENHA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$N = 45,298 + 2,8787 d^2 - 0,26968 d^2h + 0,31247 dh^2 - 2,1546 h^2$	T	0,943	17,3	
Nitrogênio	$N = -209,07 + 31,677 d + 0,47713 d^2$	T	0,925	19,8	
	$N = -203,60 + 29,810 d + 0,11134 dch^2$	S	0,948	16,5	
	$\ln P = -5,5499 + 1,6028 \ln d + 1,2563 \ln h$	T	0,880	23,9	1,0246
Fósforo	$P = h \left(-0,29306 + 0,065626 d - 0,00034996 d^2 \right)$	T	0,876	24,2	
	$P = -0,30026 + 0,0025022 dh^2$	S	0,896	22,1	
	$K = -13,346 + 0,11370 d^2hf$	M	0,850	36,7	
Potássio	$\ln K = -3,9168 + 2,1817 \ln d + 1,4896 \ln hf$	M	0,849	36,8	1,0515
	$K = -158,94 + 0,0059665 d^2hf^2 + 13,574 I + 0,43617 h^2$	S	0,928	25,4	
	$Ca = h \left(-15,816 + 2,9942 d - 0,066973 d^2 \right)$	T	0,938	16,0	
Cálcio	$\ln Ca = 11,054 - 1,1116 \ln d - 39,199 d^{-1}$	T	0,914	18,9	1,0261
	$Ca = -714,68 + 114,29 \ln d^2h$	S	0,930	17,0	
	$Mg = \frac{d^2h}{(199,19 - 0,73669 h)}$	T	0,681	48,8	
Magnésio	$Mg = 10,286 + 0,10354 d^2 - 0,024260 d^2h + 0,037341 dh^2 - 0,25968 h^2$	T	0,801	38,6	
	$Mg = -2,7038 + 0,022345 dch^2$	S	0,803	38,4	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 19 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g) NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$N = -842,38 + 241,42 d - 11,361 d^2 - 6,6780 dh + 0,54259 d^2h$	T	0,960	13,6	
Nitrogênio	$N = 246,97 + 3,9967 d^2 - 0,47419 d^2h + 0,63383 dh^2 - 5,0561 h^2$	T	0,956	14,2	
	$N = -221,56 + 42,518 d + 0,030676 dc^2h^2$	S	0,950	15,1	
	$P = -27,081 + 8,0756 d - 0,42159 d^2 - 0,21847 dh + 0,019757 d^2h$	T	0,881	23,2	
Fósforo	$P = h \left(-0,52445 + 0,12049 d - 0,00067062 d^2 \right)$	T	0,846	26,5	
	$P = -10,271 - 0,0057198 d^2h + 0,46715 rc + 0,013536 d^2hf$	S	0,902	21,1	
	$K = -390,35 + 129,14 d - 9,2845 d^2 - 3,5882 dh + 0,46978 d^2h$	T	0,818	38,8	
Potássio	$\ln K = -3,3976 + 1,7080 \ln d + 1,5920 \ln h$	T	0,790	41,6	1,0611
	$K = -446,63 + 0,0073548 d^2hf^2 + 11,935 I + 52,526 \ln dh^2$	S	0,925	24,9	
	$Ca = h \left(-18,743 + 3,6858 d - 0,081229 d^2 \right)$	T	0,925	16,8	
Cálcio	$\ln Ca = 10,718 - 0,96967 \ln d - 36,004 d^{-1}$	T	0,917	17,7	1,0193
	$Ca = -564,93 + 92,154 \ln d^2h + 0,92720 hc^2 + 0,017348 d^2h$	S	0,946	14,3	
	$Mg = 18,270 + 0,16193 d^2 - 0,034623 d^2h + 0,053340 dh^2 - 0,39321 h^2$	T	0,829	33,2	
Magnésio	$Mg = h \left(-1,0806 + 0,21581 d - 0,00013659 d^2 \right)$	T	0,781	37,5	
	$Mg = 67,465 + 0,012953 dh^2 - 11,563 \ln dhf^2$	S	0,849	31,1	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 20 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE FOLHAS DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$Fe = -1110,3 + 315,41 d - 12,442 d^2 - 8,7608 dh + 0,47966 d^2h$	T	0,331	62,7	
Ferro	$Fe = 172,33 + 6,6491 d^2 - 0,61642 d^2h + 0,52848 dh^2 - 4,0398 h^2$	T	0,275	65,4	
	$Fe = -825,18 + 673,13 \ln d - 33,890 hdom$	S	0,421	58,4	
	$Mn = -650,11 + 584,84 d - 41,165 d^2 - 31,877 dh + 2,6155 d^2h$	T	0,807	45,9	
Manganês	$Mn = 2424,8 - 16,663 d^2 - 163,91 h + 1,2730 d^2h$	T	0,791	47,8	
	$Mn = 2691,8 + 0,45965 dc^2hf^2 - 498,60 \ln dchf^2$	S	0,856	39,6	
	$Cu = -221,19 + 67,392 d - 2,9946 d^2 - 2,1788 dh + 0,13656 d^2h$	T	0,825	29,9	
Cobre	$Cu = 66,876 + 0,94253 d^2 - 0,11102 d^2h + 0,13321 dh^2 - 1,1910 h^2$	T	0,778	33,6	
	$Cu = -9,9306 + 11,423 d - 4,6514 hdom$	S	0,781	33,4	
	$Zn = -233,57 + 71,823 d - 3,3559 d^2 - 2,3285 dh + 0,15296 d^2h$	T	0,696	43,7	
Zinco	$Zn = -36,748 + 6,2903 d + 0,099848 d^2$	T	0,625	50,7	
	$Zn = 243,67 + 6,9944 d - 46,017 \ln dhf^2 + 0,017290 dh^2$	S	0,726	41,5	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 21 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$\ln Fe = 1,0707 + 0,50564 \ln d^2h$	T	0,148	70,8	1,2729
Ferro	$\ln Fe = 3,3976 + 0,87685 \ln dc + 0,16250 \ln h$	M	0,114	74,1	1,3069
	$Fe = 6,8220 + 35,865 hc$	S	0,211	70,0	
	$Mn = -6526,7 + 1559,2 d - 79,179 d^2 - 106,22 dh + 5,4524 d^2h + 453,28 h$	T	0,932	37,0	
Manganês	$Mn = -649,59 + 682,30 d - 50,013 d^2 - 39,370 dh + 3,2329 d^2h$	T	0,915	41,2	
	$Mn = 4067,3 + 0,55711 dc^2hf^2 - 778,16 \ln dchf^2$	S	0,808	61,9	
	$Cu = -282,38 + 93,788 d - 4,4171 d^2 - 3,1435 dh + 0,21472 d^2h$	T	0,720	35,7	
Cobre	$Cu = \frac{d^2h}{(-2,8692 + 1,9046 h)}$	T	0,620	41,5	
	$Cu = 11,281 + 0,60600 d^2$	S	0,675	38,4	
	$Zn = 0,0070823 d^2h$	T	0,634	77,4	
Zinco	$Zn = 6,2336 + 0,0052331 d^2h$	T	0,288	75,6	
	$Zn = 6,4260 + 0,060189 dc^2h$	S	0,323	73,7	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 22 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE GALHOS MAIORES OU IGUAIS A 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$\ln Fe = -3,1594 + 2,2625 \ln d + 0,67800 \ln hc$	M	0,367	119,3	1,5045
Ferro	$Fe = -27,419 + 0,56723 d^2$	T	0,290	126,4	
	$Fe = -59,007 + 1,2651 d^2 - 0,0043023 d^2 hf^2$	S	0,509	105,0	
	$Mn = -384,80 + 0,70344 d^2 h - 0,033046 d^2 h^2 + 61,377 hc - 0,060713 d^2 hc$	M	0,839	36,4	
Manganês	$\ln Mn = 41,245 - 9,2208 \ln d - 152,15 d^{-1}$	T	0,579	58,8	1,2420
	$Mn = -1929,1 - 0,30496 dhf^2 + 27,955 I + 232,96 \ln dch^2 + 68,742 d$	S	0,897	29,2	
	$Cu = 107,40 + 0,54951 d^2 - 82,143 hc + 13,430 hc^2 - 0,0068600 d^2 hc$	M	0,951	25,3	
Cobre	$\ln Cu = -4,6275 + 2,3850 \ln d + 2,0495 \ln hc$	M	0,798	51,3	1,1125
	$Cu = -198,16 + 34,712 hc^2 + 27,353 d - 556,97 hc - 0,032264 dh^2 + 1219,0 \ln hc + 3,4708 I$	S	0,990	11,4	
	$Zn = -2,0171 + 0,032375 d^2 hc$	M	0,712	55,3	
Zinco	$Zn = -7,4449 + 0,20247 d^2$	T	0,533	70,4	
	$Zn = -37,544 + 5,3064 d - 0,025636 dhf^2 + 0,038367 dch^2$	S	0,760	50,5	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 23 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE MADEIRA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
Ferro	$Fe = 1551,8 + 25,350 d^2 - 3,8018 d^2h + 5,0640 dh^2 - 35,672 h^2$	T	0,861	25,3	
	$Fe = h (-172,51 + 36,084 d - 0,55246 d^2)$	T	0,847	26,5	
	$Fe = -3847,0 + 2,0853 dch^2 + 1977,5 \ln d$	S	0,862	25,2	
Manganês	$Mn = 1363,6 - 11,083 d^2 - 132,29 hf + 1,4822 d^2hf + 0,19481 dc^2hf$	M	0,798	51,1	
	$Mn = -139,83 + 0,56283 d^2hf$	M	0,727	59,3	
	$Mn = 216,41 + 0,045092 d^2hf^2 + 76,968 I - 65,057 hdom$	S	0,872	40,7	
Cobre	$\ln Cu = -1,4693 + 2,1339 \ln d + 0,57272 \ln hf$	M	0,924	19,9	1,0239
	$\ln Cu = -1,9262 + 0,97234 \ln d^2hf$	M	0,924	19,35	1,0273
	$Cu = -351,95 + 0,047599 d^2hf + 5,6591 I + 49,583 \ln d^2h + 0,29203 dc^2hf$	S	0,970	12,5	
Zinco	$Zn = 0,037479 d^2h$	T	0,433	112,7	
	$\ln Zn = -1,9377 + 1,4743 \ln d + 1,0635 \ln hf$	M	0,159	107,7	1,6336
	$Zn = 13,607 + 0,067170 dhf^2$	S	0,219	103,7	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 24 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE CASCA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$\ln Fe = 0,85589 + 0,70709 \ln d^2 hf$	M	0,755	28,0	1,0564
Ferro	$\ln Fe = 0,91693 + 1,4395 \ln d + 0,65370 \ln hf$	M	0,751	28,2	1,0590
	$Fe = 151,20 + 0,17048 d^2 hf$	S	0,762	27,5	
	$Mn = -1179,1 + 845,97 d - 65,188 d^2 - 42,598 dh + 3,9893 d^2 h$	T	0,931	31,3	
Manganês	$Mn = 3128,7 - 28,752 d^2 - 205,82 h + 2,1153 d^2 h$	T	0,919	34,0	
	$Mn = 3004,7 + 0,72622 dc^2 hf^2 - 486,73 \ln dc^2 hf^2$	S	0,916	34,6	
	$\ln Cu = -1,7450 + 0,84329 \ln d^2 hf$	M	0,915	17,4	1,0241
Cobre	$\ln Cu = -1,6324 + 1,7332 \ln d + 0,74480 \ln hf$	M	0,914	18,0	1,0249
	$Cu = -191,46 + 42,305 \ln d^2 hf + 0,29498 dc^2 hf - 17,249 \ln dc^2 hf + 1,5244 I$	S	0,964	11,7	
	$Zn = 9,6916 + 0,019338 d^2 hf$	M	0,778	31,6	
Zinco	$\ln Zn = -1,9790 + 1,3931 \ln d + 0,92284 \ln hf$	M	0,773	32,0	1,0770
	$Zn = -5,8244 + 0,0012498 d^2 hf^2 + 2,6025 I$	S	0,842	26,7	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 25 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA DE FOLHAS MAIS GALHOS MENORES DO QUE 4 cm PARA BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
Ferro	$Fe = -1504,8 + 444,81 d - 17,580 d^2 - 12,666 dh + 0,69705 d^2 h$	T	0,425	49,4	
	$Fe = -494,14 + 108,97 d - 2,1025 d^2$	T	0,380	51,3	
	$Fe = -340,64 + 1691,9 \ln d - 461,40 \ln d^2 hf$	S	0,517	45,3	
Manganês	$Mn = -8042,2 + 2303,1 d - 127,20 d^2 - 145,22 dh + 8,3975 d^2 h + 489,95 h$	T	0,959	24,2	
	$Mn = -1689,5 + 1355,2 d - 95,673 d^2 - 72,965 dh + 5,9984 d^2 h$	T	0,954	25,5	
	$Mn = 6886,5 + 1,0254 dc^2 hf^2 - 1301,2 \ln dchf^2$	S	0,886	40,2	
Cobre	$Cu = -503,57 + 161,18 d - 7,4116 d^2 - 5,3223 dh + 0,35128 d^2 h$	T	0,834	26,9	
	$Cu = -1557,4 + 319,15 d - 12,730 d^2 - 17,143 dh + 0,74720 d^2 h + 80,001 h$	T	0,851	25,5	
	$Cu = 13,672 + 0,95442 d^2$	S	0,748	33,1	
Zinco	$Zn = -255,96 + 83,155 d - 3,9410 d^2 - 2,8112 dh + 0,18759 d^2 h$	T	0,733	37,6	
	$Zn = -17,050 + 3,5938 d + 0,30272 d^2$	T	0,634	44,0	
	$Zn = 242,24 - 99,367 \ln hf + 0,0014562 d^2 h^2$	S	0,751	36,3	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 26 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA LENHA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
	$Fe = h (-168,15 + 37,406 d - 0,47454 d^2)$	T	0,872	23,3	
Ferro	$Fe = -5898,0 + 1567,7 d - 83,251 d^2 - 29,967 dh + 3,5682 d^2h$	T	0,881	22,5	
	$Fe = -4616,2 + 2,3198 dch^2 + 2415,0 \ln d$	S	0,882	22,3	
	$Mn = 3119,3 - 18,027 d^2 - 320,28 hf + 2,7039 d^2hf + 2,2720 dc^2hf$	M	0,899	31,7	
Manganês	$Mn = -3723,8 + 1718,4 d - 114,62 d^2 - 73,709 dh + 6,6641 d^2h$	T	0,890	33,1	
	$Mn = 6620,6 + 0,11915 d^2hf^2 - 1151,1 \ln dhf^2 + 116,56 I$	S	0,936	25,2	
	$\ln Cu = 9,3498 - 0,25277 \ln d - 32,852 d^{-1}$	T	0,902	23,5	1,0220
Cobre	$Cu = 2181,9 - 299,74 d + 10,598 d^2 + 31,781 dh - 0,96094 d^2h - 222,42 h$	T	0,921	21,0	
	$Cu = -285,91 + 43,591 d + 11,311 hc^2 + 0,94164 dc^2hf + 12,161 I - 58,934 hc - 5,2025 dc^2$	S	0,990	7,7	
	$\ln Zn = -1,2721 + 0,84514 \ln d^2hf$	M	0,358	67,6	1,2620
Zinco	$Zn = 46,719 + 0,073844 d^2hf$	M	0,384	68,4	
	$Zn = 70,076 + 0,0052496 d^2hf^2$	S	0,401	67,5	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.

APÊNDICE 27 - MELHORES EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES (mg) NA BIOMASSA AÉREA DE BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Nutrientes	Equações		R ² aj.	syx%	FM
Ferro	$Fe = -7402,9 + 2012,5 d - 100,83 d^2 - 42,633 dh + 4,2652 d^2h$	T	0,875	22,0	
	$Fe = h (-200,37 + 45,749 d - 0,69763 d^2)$	T	0,857	23,5	
	$Fe = -3899,9 + 0,76384 d^2h + 737,20 \ln dc^2h^2$	S	0,860	23,2	
Manganês	$Mn = -5413,3 + 3073,6 d - 210,29 d^2 - 146,67 dh + 12,662 d^2h$	T	0,946	24,1	
	$Mn = 9902,7 - 75,555 d^2 - 674,71 h + 6,0033 d^2h$	T	0,931	27,4	
	$Mn = 17610,2 + 0,22425 d^2hf^2 - 2739,7 \ln dhf^2 + 142,10 \ln hf$	S	0,950	23,3	
Cobre	$\ln Cu = 10,604 - 0,56252 \ln d - 34,298 d^{-1}$	T	0,928	18,7	1,0172
	$Cu = 181,88 + 9,1539 d^2 - 0,91037 d^2h + 0,96453 dh^2 - 6,9741 h^2$	T	0,937	17,5	
	$Cu = -471,85 + 53,144 d + 5,3280 hc^2 + 0,68242 dc^2h + 15,262 I$	S	0,980	9,8	
Zinco	$Zn = -666,89 + 229,87 d - 13,004 d^2 - 7,1992 dh + 0,60934 d^2h$	T	0,566	47,4	
	$\ln Zn = -0,52544 + 0,76250 \ln d^2h$	T	0,511	48,7	1,1700
	$Zn = 69,794 + 0,10330 d^2hf$	S	0,559	47,8	

NOTA: T = modelos tradicionais;

M = modelos modificados;

S = procedimento *stepwise*.