

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS - CFT

**ESTIMATIVA DOS ESTOQUES DE BIOMASSA E NUTRIENTES EM FLORESTAS
SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

FABIANA ROCHA PINTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - CFT, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Silvicultura Tropical.

Manaus - Amazonas

2008

FABIANA ROCHA PINTO

**ESTIMATIVA DOS ESTOQUES DE BIOMASSA E NUTRIENTES EM
FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

ORIENTADOR: JOÃO B. S. FERRAZ, Ph.D.

Co-Orientador: Niro Higuchi, Ph.D.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - CFT, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Silvicultura Tropical.

Manaus - Amazonas

2008

Pinto, Fabiana Rocha

Estimativa dos estoques de biomassa e nutrientes em florestas secundárias na Amazônia Central. / Fabiana Rocha Pinto – Manaus: INPA/UFAM 2008.

161 p. ilustr.

Dissertação de Mestrado - Área de concentração Ciências de Florestas Tropicais

1. Manejo florestal 2. Nutrição florestal 3. Ecologia de ecossistemas.

CDD

Sinopse:

Estudaram-se a biomassa de espécies arbóreas, os teores e os estoques de nutrientes em seis partes das árvores de duas áreas de floresta secundária com idades e históricos de usos diferentes na Amazônia Central.

Palavras-chave:

Manejo florestal, regeneração natural, nutrição florestal, partes da árvore, alometria de nutrientes, sucessão secundária.

Dedico

À pessoa mais importante
na minha vida, Marta de
Souza Rocha, mãe, amiga,
batalhadora, vencedora.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço e glorifico a Deus, por me mostrar que a vida é perfeita, pela força que me deu para sempre, de cabeça erguida, seguir em frente. Pelo sol de cada dia, para renovar meus sonhos e por me fazer superar as adversidades, por abrir portas, por me mostrar caminhos e por estar ao meu lado, me dando discernimento, tranqüilidade e sabedoria para as escolhas e decisões.
- Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pelos seis anos de aprendizagem, pela estrutura e pelo ambiente intelectual.
- Aos orientadores, Dr. João B. S. Ferraz e Dr. Niro Higuchi, pela paciência, confiança, pelos conhecimentos repassados, por terem acreditado que em mim há mais uma discípula na busca do saber, agradecer vocês, não é suficiente para demonstrar meu carinho e admiração.
- Aos professores doutores: Joaquim dos Santos e Flávio J. Luizão, pelo sentimento mais puro que é a amizade e pelo auxílio em toda esta caminhada.
- À Fapeam, pela bolsa concedida neste árduo período de dois anos.
- À secretaria e aos professores do curso de Ciências de Florestas Tropicais - CFT, pelo apoio e por agregar conhecimento na minha carreira acadêmica, especialmente à Ana Clycia Sousa e ao Dr. José Francisco de Carvalho Gonçalves.
- À secretaria da CPST: Valdecira Azevedo, João Coelho, Haroldo Machado e Manoel Jesus de Souza.
- Aos profissionais de química EMBRAPA/INPA: Maria da Conceição Campelo (Concítinha), Michelle Pereira, Hilma Couto, Morgana Melo, Edvaldo Chaves, Tânia Pimentel pelo apoio incondicional.
- À equipe do LMF: Dra. Roseana da Silva, Alberto Pinto, Liliane Teixeira e aos mais diversos alunos do grupo que juntamente comigo estão sempre em busca de novos conhecimentos para que na pesquisa descubram a mais plena felicidade. Mais especificamente, meu agradecimento sincero à minha amiga, companheira e “GRANDE” botânica Vilany Carneiro e ao “cururu” querido Adriano Lima, pela valorosa ajuda em momentos difíceis e por agregarem um vasto conhecimento na minha caminhada.
- Aos meus queridos amigos da ZF-2: Pedro Lacerda (onde você estiver será sempre meu papai - *in Memoriam*), Manoel Natividade (Néo), Wanderley Reis, Francinilton Araújo (Chicó), Antônio Silva (Bitonho), José Maria da Paz (Zezão), Francisco Quintiliano (Caroço), Armando Colares

(Cuiú/**mestre**), Paulo Queiroz (Quequé), Sebastião Melo (Bico/Titio), Geraldo da Silva, Geraldo Mota, José Maria Souza (Caboré), Bertran Silva (gatilho sempre em ação) e Sérgio Leite.

- À minha turma de Mestrado, os que vieram e os que por escolha deixaram para uma outra oportunidade: Heloíse Batista, Patrícia Takeda, Rachel Pinho, Lissandra Souza, Sheron Macêdo, Murilo Machado, Geângelo Calvi, Everton Almeida, Emanuelle Gurgel, Jandaíra Moscal, Juliana Hirose, Pedro Penedo, Michelle, Pedro H.

- Aos diversos colegas, das outras turmas de mestrado: Alex Maciel, Sammy Aquino, Matheus Paixão (Montanha), Raphael Leduc, Juliana Peixoto, Giuliano Piotto, Patrícia Nazário, Alexandre (Jegue), Rodrigo Serafini, Priscila Barros (Pric-Pric), Marciel Ferreira, José Purri (Zeca).

- Aos colegas do **LTSP**: Kleber Souza, Jair Garcia, Andreza Mendonça, Patrícia Farias, Suelen Campos, Rosângela Menezes e Tatiane Reis.

- Aos amigos que jamais esperei algo e acabaram me mostrando que no mundo amizade é algo especial: Marizângela Costa, Carine Camelo, Jorge Aníbal Pereira, Evely Sevalho, Carmélia Vilas-Novas, Fabiane Costa.

- As pessoas que amo apenas por estarem ao meu lado e que nem nos momentos mais difíceis me abandonaram, Adriana Castro, Sheylla Pinto e Henrique Pinto (meu príncipe), esses nove anos que vocês me agüentam, é para provar que amizade existe e que a nossa é verdadeira.

- Especialmente, a uma pessoa que me provou que com confiança, paciência, exigência e amor, tudo valeria a pena. Por todos os ensinamentos que ele provou poder repassar, por seu coração enorme, por sua vontade de crescer, pela sua força, que foram imprescindíveis para que eu encarasse todo dia como uma vitória alcançada, por sua vontade de que o mundo pode sim, ser perfeito, ainda mais quando se ama alguém, obrigada meu Romeu, meu amor, minha vida.

- À minha família, que sem ela a minha vida não teria sentido. As minhas amadas e idolatradas tias Maricélia e Olga Rocha, à minha pequena grande mulher Luisa Rocha, a mulher mais corajosa que conheço Creuza Palha. Ao meu avô que onde estiver, orgulho deve sentir, Antônio é por você.

- À uma pessoa importante, que ainda não se deu conta disso, Fábio Rocha, meu super-irmão.

- Marta, grande amor da minha vida, que com todos os problemas, nunca baixou a cabeça, a não ser que tenha sido para fazer pedidos e agradecimentos ao papai do céu. Essa também é pra você, assim como todas as vitórias que hão de vir.

“Quando o ‘estudo da casa’ (Ecologia) e a ‘administração da casa’ (Economia) puderem fundir-se, e quando a Ética puder ser entendida para incluir o ambiente, além dos valores humanos, então poderemos realmente ser otimistas em relação ao futuro da humanidade.”

Eugene P. Odum

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xvii
ANEXO	xviii
RESUMO	xix
ABSTRACT	xx
INTRODUÇÃO GERAL	1
<i>Definições e Importância das Capoeiras</i>	1
<i>Sucessão Secundária</i>	3
<i>Nutrição Florestal</i>	4
<i>Biomassa Florestal</i>	4
<i>Estimativas de biomassa em florestas secundárias</i>	5
OBJETIVOS	7
OBJETIVO GERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
ÁREA DE ESTUDO	8
CAPÍTULO 1: <i>COMPARTIMENTAÇÃO DO CARBONO E NUTRIENTES MINERAIS EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS</i>	11
1.1 INTRODUÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
1.3.1 Área de estudo	15
1.3.2 Coleta de Amostras	15
1.3.2.1 <i>Biomassa acima e abaixo do nível do solo</i>	16
1.3.2.2 <i>Indivíduos selecionados na área de estudo</i>	18
1.3.2.3 <i>Teores de Macro e Micronutrientes na Biomassa</i>	21
1.3.3 Análise química do material vegetal	21
1.3.3.1 <i>Determinações dos teores de nutrientes</i>	21
1.3.4 Análise estatística	21

1.4 RESULTADOS	22
1.4.1 Espécies selecionadas nas áreas de estudo	22
1.4.2 Teores médios de nutrientes e suas distribuições em partes das árvores em duas florestas secundárias.....	24
1.4.2.1 Teores de nutrientes nas árvores da Floresta Secundária da ZF-2 (EEST)	24
1.4.2.2 Teores de nutrientes nas árvores da Floresta Secundária da S-8 (EEST).....	32
1.4.2.3 Ordem de distribuição dos teores médios de nutrientes nas partes das árvores da ZF-2 (EEST)	39
1.4.2.4 Ordem de distribuição dos teores médios de nutrientes nas partes das árvores da S-8 (EEST)	40
1.4.2.5 Análise estatística dos teores de nutrientes nas partes das árvores	41
1.4.2.6 Análise estatística dos teores de nutrientes nas cascas das árvores.....	45
1.4.3 Estoques de nutrientes em partes das árvores.....	48
1.4.3.1 Floresta Secundária da ZF-2	48
1.4.3.2 Floresta Secundária da S-8.....	54
1.4.3.3 Distribuição percentual dos estoques de nutrientes nas partes das árvores da ZF-2	60
1.4.3.4 Distribuição percentual dos estoques de nutrientes nas partes das árvores da S-8	61
1.4.3.5 Análise estatística dos estoques de nutrientes nas partes das árvores	62
1.4.4 Teores de nutrientes comparando duas áreas de florestas secundárias da EEST	65
1.4.4.1 Teores médios de nutrientes nas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8).....	65
1.4.4.2 Análise estatística dos teores de nutrientes nas áreas de florestas secundária da ZF-2 e S-8.....	66
1.4.5 Estoques de nutrientes em áreas de florestas secundárias da EEST.....	69
1.4.5.1 Estoques totais e médios de nutrientes em duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8)	69
1.4.5.2 Distribuição percentual dos estoques de nutrientes nas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8).....	70
1.4.5.3 Análise estatística dos estoques de nutrientes nas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8)	71
1.5 DISCUSSÃO.....	74

1.5.1 Teores de nutrientes	74
1.5.2 Distribuição dos teores de nutrientes	78
1.5.3 Estoques de nutrientes	79
1.5.4 Duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8)	81
1.6 CONCLUSÃO	82
CAPÍTULO 2: BIOMASSA FLORESTAL COMO PARÂMETRO DE AVALIAÇÃO PARA ALOMETRIA NUTRICIONAL DE FLORESTAS SECUNDÁRIAS.	83
2.1 INTRODUÇÃO	83
2.2 OBJETIVOS	86
2.2.1 Objetivo Geral	86
2.2.2 Objetivos Específicos	86
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS	87
2.3.1 Área de estudo	87
2.3.2 Coleta de dados	87
2.3.3 Análise dos dados	87
2.2.3.1 Variáveis biométricas	87
2.3.3.2 Análise estatística	89
2.4 RESULTADOS	90
2.4.1 Teor de água	90
2.4.2 Teor e estoque de C	92
2.4.3 Equações Alométricas	93
2.5 DISCUSSÃO	97
2.6 CONCLUSÃO	99
CAPÍTULO 3: SOLOS: CARACTERIZAÇÃO EM DUAS FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA CENTRAL.	100
3.1 INTRODUÇÃO	100
3.2 OBJETIVOS	102
3.2.1 Objetivo Geral	102
3.2.2 Objetivos Específicos	102
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	103
3.3.1 Área de estudo	103
3.3.2 Coleta de amostras	103

3.3.3 Análise de nutrientes nos solos.....	104
3.3.3.1 <i>Análise química do solo</i>	104
3.3.3.2 <i>Análise física do solo</i>	105
3.3.4 Análise estatística	105
3.4 RESULTADOS	106
3.5 DISCUSSÃO	112
3.6 CONCLUSÃO.....	117
BIBLIOGRAFIA.....	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estação Experimental de Silvicultura Tropical - EEST, com as duas áreas de estudo, experimento 1: Floresta Secundária ZF-2 (1981-1982) e experimento 2: Floresta Secundária S-8 (1991).....	8
Figura 2. Área ZF-2, experimento 1.....	9
Figura 3. Área S-8, experimento 2.....	9
Figura 4. Desenho esquemático das amostras de partes dos indivíduos arbóreos retirados em campo (acima e abaixo do nível do solo).....	18
Figura 5. Distribuição do número de indivíduos por DAP (cm), das capoeiras da EEST/ ZF-2 (n=30) e S-8 (n=30) (Manaus - AM).....	22
Figura 6. Distribuição do número de indivíduos por família retirados das capoeiras ZF-2 (n=30) e S-8 (n=30)/EEST (Manaus - AM).....	23
Figura 7. Distribuição do número de indivíduos por espécie retirados das capoeiras ZF-2 e S-8/EEST (Manaus - AM).....	23
Figura 8. Teores de C (a) e N (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.....	25
Figura 9. Teores de P (a) e K (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.....	26
Figura 10. Teores de Ca (a) e Mg (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.....	27
Figura 11. Teores de Mn (a) e Fe (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.....	28
Figura 12. Teores de Cu (a) e Na (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.....	29
Figura 13. Teores de Zn (a), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.....	30
Figura 14. Distribuição dos teores de C (a), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.....	32
Figura 15. Distribuição dos teores de C (a) e N (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.....	33

- Figura 16. Distribuição dos teores de K (a) e Ca (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média..... 34
- Figura 17. Distribuição dos teores de Mg (a) e Mn (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média..... 35
- Figura 18. Distribuição dos teores de Fe (a) e Cu (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média..... 36
- Figura 19. Distribuição dos teores de Na (a) e Zn (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média..... 37
- Figura 20. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em nove partes* das árvores, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** C, **(b)** N. Os valores de F e p correspondem a uma ANOVA simples feita entre os teores das nove partes das árvores estudadas..... 41
- Figura 21. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em nove partes* das árvores, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** P, **(b)** K, **(c)** Ca, **(d)** Mg. Os valores de F e p correspondem a uma ANOVA simples feita entre os teores das nove partes das árvores estudadas..... 42
- Figura 22. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em nove partes* das árvores, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Mn, **(b)** Fe, **(c)** Cu e **(d)** Na. Os valores de F e p correspondem a uma ANOVA simples feita entre os teores das nove partes das árvores estudadas..... 43
- Figura 23. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em nove partes* das árvores, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Zn. Os valores de F e p correspondem a uma ANOVA simples feita entre os teores das nove partes das árvores estudadas..... 44
- Figura 24. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em seis cascas* de materiais lenhosos, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** C, **(b)** N, **(c)** P, **(d)** K..... 45
- Figura 25. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em seis cascas* de materiais lenhosos, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Ca, **(b)** Mg, **(c)** Mn, **(d)** Fe..... 46

Figura 26. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em seis cascas de materiais lenhosos, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) Cu, (b) Na, (c) Zn.....	47
Figura 27. Distribuição dos estoques de C (a) , N (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).....	48
Figura 28. Distribuição dos estoques de P (a) e K (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).....	49
Figura 29. Distribuição dos estoques de Ca (a) e Mg (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).....	50
Figura 30. Distribuição dos estoques de Mn (a) e Fe (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).....	51
Figura 31. Distribuição dos estoques de Cu (a) e Na (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).....	52
Figura 32. Distribuição dos estoques de Zn (a) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).	53
Figura 33. Estoques de C (a) e N (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).....	54
Figura 34. Estoques de P (a) e K (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).....	55
Figura 35. Estoques de Ca (a) e Mg (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).....	56
Figura 36. Estoques de Mg (a) e Fe (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).....	57
Figura 37. Estoques de Cu (a) e Na (b) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).....	58
Figura 38. Distribuição dos estoques de Zn (a) , em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).....	59
Figura 39. Distribuição percentual dos estoques de nutrientes (kg^{-1}), em partes* das árvores, da floresta secundária ZF-2/EEST (Manaus - AM).	60
Figura 40. Distribuição percentual dos estoques de nutrientes (kg^{-1}), em partes* das árvores, da floresta secundária S-8/EEST (Manaus - AM).....	61

Figura 41. Análise estatística dos estoques de nutrientes (kg^{-1}) e suas distribuições em cinco partes* das árvores, nas duas áreas de florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) C, (b) N, (c) P, (d) K.	62
Figura 42. Estoques de nutrientes (kg^{-1}) e suas distribuições em cinco partes* das árvores, nas duas áreas de florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) Ca, (b) Mg, (c) Mn, (d) Fe.	63
Figura 43. Estoques de nutrientes (kg^{-1}) e suas distribuições em cinco partes* das árvores, nas duas áreas de florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) Cu, (b) Na e (c) Zn. .	64
Figura 44. Distribuição dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) C, (b) N, (c) P e (d) K.	66
Figura 45. Distribuição dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) Ca, (b) Mg, (c) Mn e (d) Fe.	67
Figura 46. Distribuição dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) Cu, (b) Na e (c) Zn.	68
Figura 47. Distribuição percentual dos estoques de nutrientes em duas áreas de florestas secundárias (EEST/INPA): ZF-2 (23 anos) e S-8 (14 anos).	70
Figura 48. Distribuição dos estoques de nutrientes (kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) C, (b) N, (c) P, (d) K.	71
Figura 49. Distribuição dos estoques de nutrientes (kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) Ca, (b) Mg, (c) Mn e (d) Fe.	72
Figura 50. Distribuição dos estoques de nutrientes (kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) Cu, (b) Na e (c) Zn.	73
Figura 51. Distribuição de resíduos, utilizando o modelo não-linear cinco (5), para os nutrientes: C (a) , N (b) , P (c) , K (d) , Ca (e) e Mg (f)	95
Figura 52. Distribuição de resíduos, utilizando o modelo não-linear cinco (5), para os nutrientes: Mn (a) , Fe (b) , Cu (c) , Na (d) e Zn (e)	96
Figura 53. Desenho esquemático da coleta de solos.	104
Figura 54. Análise estatística avaliando os nutrientes (mg kg^{-1}) em três diferentes solos (floresta primária da ZF-2, floresta secundária da ZF-2 e floresta secundária da S-8) da EEST/INPA: (a) P, (b) K, (c) Ca, (d) Mg.	107

- Figura 55. Análise estatística avaliando os nutrientes (mg kg^{-1}) em três diferentes solos (floresta primária da ZF-2, floresta secundária da ZF-2 e floresta secundária da S-8) da EEST/INPA: **(a)** Mn, **(b)** Fe, **(c)** Zn e **(d)** Al..... 108
- Figura 56. Análise estatística avaliando os nutrientes (mg kg^{-1}) em quatro diferentes profundidades, em duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8) e uma área de floresta primária (ZF-2) da EEST/INPA: **(a)** P, **(b)** K, **(c)** Ca, **(d)** Mg..... 110
- Figura 57. Análise estatística avaliando os nutrientes (mg kg^{-1}) em quatro diferentes profundidades, em duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8) e uma de floresta primária (ZF-2) da EEST/INPA: Mg, **(a)** Mn, **(b)** Fe, **(c)** Zn e **(d)** Al..... 111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativas de biomassa em florestas secundárias na Amazônia ($t\ ha^{-1}$).....	6
Tabela 2. Árvores amostradas para avaliação de biomassa e nutrientes na floresta secundária da ZF-2/EEST (23 anos) em Manaus (AM).....	19
Tabela 3. Árvores amostradas para avaliação de biomassa e nutrientes na floresta secundária da S-8/EEST (14 anos) em Manaus (AM)	20
Tabela 4. Teores médios de nutrientes em 30 indivíduos, na floresta secundária da ZF-2/EEST (23 anos), (Manaus - AM)	31
Tabela 5. Teores médios de nutrientes em 30 indivíduos, na floresta secundária da S-8/EEST (14 anos), (Manaus - AM)	38
Tabela 6. Distribuição decrescente dos teores médios de onze nutrientes, em nove partes das árvores, na floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).	39
Tabela 7. Distribuição decrescente dos teores médios de onze nutrientes, em nove partes das árvores, na floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).	40
Tabela 8. Teores médios de nutrientes em duas florestas secundárias da EEST/INPA: ZF-2 (23 anos; n=30) e S-8 (14 anos; n=30) (Manaus - AM).	65
Tabela 9. Estoques totais de nutrientes (kg^{-1}) em partes das árvores, de 30 indivíduos, em cada uma, das duas florestas secundárias da EEST/INPA: ZF-2 (23 anos) e S-8 (14 anos) (Manaus - AM).	69
Tabela 10. Biomassa acima do solo - teor de água (%) ponderada por parte da árvore em capoeiras.	91
Tabela 11. Biomassa total (acima do solo + raízes) - teor de água (%) ponderada por parte da árvore em capoeiras.	91
Tabela 12. Teores e estoques de C na biomassa total (acima do solo + raízes), em duas capoeiras de diferentes idades.	92
Tabela 13. Modelos alométricos, apresentados pela equação não-linear cinco e seus coeficientes, para 11 nutrientes (C, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Na e Zn), em duas florestas secundárias (ZF-2 e S-8) (Manaus - AM).	94
Tabela 14. Média dos teores de oito nutrientes ($mg\ kg^{-1}$) em solos de duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8) e floresta primária (ZF-2), em quatro diferentes profundidades.	106
Tabela 15. Resultados das análises de solos de granulometria e pH, de duas florestas secundárias (ZF-2 e S-8) e floresta primária (ZF-2).	109

ANEXO

ANEXO 1. Equações alométricas para o nutriente C, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	136
ANEXO 2. Equações alométricas para o nutriente N, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	136
ANEXO 3. Equações alométricas para o nutriente P, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	137
ANEXO 4. Equações alométricas para o nutriente K, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	137
ANEXO 5. Equações alométricas para o nutriente Ca, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	138
ANEXO 6. Equações alométricas para o nutriente Mg, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	138
ANEXO 7. Equações alométricas para o nutriente Mn, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	139
ANEXO 8. Equações alométricas para o nutriente Fe, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	139
ANEXO 9. Equações alométricas para o nutriente Cu, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	140
ANEXO 10. Equações alométricas para o nutriente Na, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	140
ANEXO 11. Equações alométricas para o nutriente Zn, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.	141

RESUMO

Este trabalho avaliou a fertilidade do solo, os teores, os estoques e a distribuição de carbono e nutrientes, em partes das árvores (folhas, galhos finos e grossos, troncos, raízes finas e grossas), de duas florestas secundárias de diferentes históricos e idades. Foi feita uma modelagem, com equações alométricas para determinar a distribuição dos estoques dos nutrientes. Este estudo, desenvolvido na região norte de Manaus (EEST/INPA): 1) área da ZF-2 onde foi feito o corte da floresta primária em 1981 e logo em seguida o abandono (1982) e 2) área da S-8, que sofreu corte, queima e abandono em 1991 teve por objetivo determinar os teores médios de carbono e nutrientes nas partes das árvores das duas capoeiras (ZF-2 e S-8) que variaram de: **C**: 38 dag kg^{-1} (casca da raiz grossa) a 52 (galho fino e folhas); **N** : 3,0 g kg^{-1} (tronco) a 20,5 (folhas); **P** : 0,1 g kg^{-1} (raiz fina e tronco) a 0,8 (folhas); **K** : 1,0 g kg^{-1} (tronco) a 6,7 (folhas); **Ca** : 1,0 g kg^{-1} (galho grosso) a 15,8 (casca do tronco); **Mg** : 0,4 g kg^{-1} (galho grosso) a 2,5 (folhas); **Mn** : 21 mg kg^{-1} (raiz grossa) a 185 (folhas); **Fe** : 17 mg kg^{-1} (galho grosso) a 400 (raiz fina); **Cu** : 2,6 mg kg^{-1} (galho grosso) a 9,2 (folhas); **Na** : 160 mg kg^{-1} (galho grosso) a 1000 (casca da raiz grossa) e **Zn** : 6,0 mg kg^{-1} (galho grosso) a 36 (casca do galho grosso). As maiores concentrações de C, N, P, K, Mg, Mn, Cu e Zn foram encontradas nas folhas, nas duas áreas. Os teores e os estoques apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para todos os nutrientes, quando se avaliam partes dos indivíduos arbóreos, explicados pela diferença de constituição, estrutura e comportamento de cada indivíduo arbóreo. Para os diferentes históricos de uso e idade, apenas os teores de C e P, não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). Porém, para os estoques, não foi encontrada significância ($p > 0,05$) para nenhum dos nutrientes, o que reflete a similaridade dos indivíduos nas duas áreas de estudo. Foram testados nove modelos com a finalidade de estimar os estoques de nutrientes em indivíduos arbóreos, objetivando definir o modelo mais adequado e representativo da região de Manaus. O melhor modelo analisado foi o não-linear que utilizou apenas o DAP ($P_{\text{nut}} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$), com melhores resultados para o C (r^2 0,91; S_{yx} %8,10) e Fe (r^2 0,95; S_{yx} % 5,89). Os três solos avaliados (incluindo uma área de floresta primária), só apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) para os nutrientes K, Fe e Mn. Contudo, observando as diferentes profundidades, a camada de 0-2,5 cm apresentou as maiores concentrações de nutrientes, o que se deve à presença da serapilheira e influência direta da disponibilidade de matéria orgânica, onde apenas o Fe não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$), explicado pelo Fe ser um elemento pouco móvel, não ciclado biologicamente (mas transportado para a superfície por cupins, formigas etc).

ABSTRACT

This work evaluates the contents, storage and the distribution of nutrients in different parts of trees (leaves, fine and coarse branches, trunks, and fine and coarse roots), from two secondary forests with different history of uses and ages. Also the soil characterization of the two areas was conducted. Allometric equations were applied to develop a model of the nutrient storage distribution. The research was conducted in two areas northern of Manaus (AM, Brazil), at the EEST-Station: 1) ZF-2, where the primary forest was cutted in 1981 and abandoned one year later, and 2) S-8, where a ten year old secondary forest was cutted in 1991 and burned and abandoned in the same year. The variations of the mean nutrient contents in the tree parts of the two areas (ZF-2 e S-8) were: **C** dag kg^{-1} 38 (coarse roots) - 52 (leaves and fine branches); **N** g kg^{-1} - 3,0 (trunk) and 20,5 (leaves); **P** g kg^{-1} - 0,1 (fine roots and trunk) and 0,8 (leaves); **K** g kg^{-1} - 1,0 (trunk) and 6,7 (leaves); **Ca** g kg^{-1} - 1,0 (coarse branches) and 15,8 (bark trunk); **Mg** g kg^{-1} - 0,4 (coarse branches) and 2,5 (leaves); **Mn** mg kg^{-1} - 21 (coarse roots) and 185 (leaves); **Fe** mg kg^{-1} - 17 (coarse roots) and 400 (fine roots); **Cu** mg kg^{-1} - 2,6 (coarse roots) and 9,2 (leaves); **Na** mg kg^{-1} - 160 (coarse roots) and 1000 (bark coarse roots); **Zn** mg kg^{-1} - 6,0 (coarse roots) and 36 (bark coarse roots). Most content was found in the leaves, for two areas. The statistical differences ($p < 0,05$) of the stocks and contents were statistic significant for all nutrients and tree parts. The statistical analysis showed a similarity between the individual of the two areas. Nine models were tested in order to estimate the nutrient stocks in the individual trees, using the total biomass and the nutrient content of each tree part. The objective was to find the most adequate and representative model for the Manaus region. This model was a non-linear, using only the BHD ($P_{\text{nut}} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$), with better results for Fe (R^2 0,95; S_{yx} % 5,89) and C (R^2 0,91; S_{yx} % 8,10). The soils of the three areas (two secondary and one primary forest) presented significant differences ($p < 0,05$) only for K, Mn e Fe. However the higher values were observed in the superficial layer (0-2,5 cm), just the Fe, presented significant differences ($p > 0,05$), due to the presence of the litter layer and the disponibility of organic matter.

INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por madeira na Amazônia é suprida em sua quase totalidade por espécies oriundas da floresta nativa, que vem sofrendo grandes pressões ambientais, devido também a outras ações do homem. As principais pressões são: exploração desordenada de madeira, a expansão dos sistemas agrícolas e outras formas do uso do solo (Fearnside, 2005). A remoção inadequada da biomassa, mediante a exploração florestal, pode contribuir tanto para o aumento da demanda de nutrientes do solo como para o declínio, cada vez maior, de sua fertilidade natural, o que pode comprometer as atividades silviculturais, além de potencializar outras perdas de nutrientes pelo aumento da lixiviação e erosão dos solos (Neves *et al.*, 2001).

Até 2004, a Amazônia brasileira possuía aproximadamente 83,8 % de sua cobertura florestal, excluindo áreas de cerrado, ainda intactas (Fearnside, 2005). Contudo, só no período 2005/2006 o desmatamento na Amazônia Legal alcançou a cifra de 13.100 km², onde o Estado do Amazonas contribuiu com um pouco mais de 5 %, abrangendo uma área de 752 km² (INPE, 2006). Tais atividades de desmatamento e queima conduzem à liberação de parte dos estoques de carbono contidos na vegetação e no solo para a atmosfera (Fearnside & Guimarães, 1996).

Para uma atividade agrícola ou madeireira sustentável, é necessário entender os processos biogeoquímicos num ecossistema florestal e usar um manejo de forma racional, que na agricultura tradicional e pastagens, mantém uma maior quantidade de matéria orgânica do ecossistema original em contínuo processo de ciclagem.

Uma das formas de uso da floresta que tem sido sugerida como potencialmente sustentável, é a extração seletiva e controlada da madeira, uma vez que não expõe muito o solo e não retira muito do capital existente de matéria orgânica e nutrientes da floresta natural (Higuchi *et al.*, 1991).

Definições e Importância das Capoeiras

Na Amazônia brasileira 47 % da área desmatada até 1996 não estava em uso (Higuchi *et al.*, 2003). A vegetação que cresce nessa área é classificada como floresta secundária, também denominada de “capoeira”, um termo que vem do tupi “Ko'pwera” (*ko* ‘mata’ + *pwera* ‘que já foi’). As florestas secundárias são definidas de várias maneiras: a) para Lanly (1982), a floresta secundária é a vegetação que se desenvolve após corte raso; b) Ferreira (1987) conceituou capoeira como: 1. terreno em que o mato foi roçado e/ou queimado para o cultivo da terra ou para

outro fim ou, 2. mato que nasceu nas derrubadas de mata virgem; c) segundo Smith *et al.* (1997), é uma vegetação lenhosa de caráter sucessional que se desenvolve sobre terras cuja vegetação foi destruída por atividades humanas; d) Allaby (1998) definiu como uma floresta em crescimento, numa área limpa com floresta anteriormente; e) de acordo com a OIMT (2002) é uma vegetação rala que voltou a crescer em terras onde foi retirada a vegetação original (menos de 10 % da cobertura florestal original); f) a portaria normativa IBAMA 83/91 (2006), definiu como uma vegetação que possui formação de porte e estrutura diversa, com modificações na sua composição, na maioria das vezes, devido à atividade do homem, ou ainda, floresta cortada que cresceu novamente, sem intervenção do homem, diferente de área reflorestada, onde as florestas são plantadas.

Como essas áreas acumulam biomassa rapidamente durante os primeiros 20 a 30 anos (Higuchi *et al.*, 2003), desempenham um importante papel na redução de CO₂ atmosférico, pois reabsorvem partes dos estoques de carbono, cerca de 6 %, emitidos previamente através da queima e decomposição da fitomassa que seguem o corte da floresta primária (Fearnside, 1996, 2006; Santos *et al.*, 2004).

O grau de recuperação depende da duração e intensidade do uso anterior por cultivos agrícolas ou pastagens, assim como a proximidade de fontes de sementes para recolonizar a área perturbada; geralmente apresentam uma baixa densidade de árvores e redução significativa na cobertura do dossel (Brown & Lugo, 1990; Tabarelli & Mantovani, 1999; Oosterhoorn & Kappelle, 2000).

Essas florestas, em suas etapas de desenvolvimento, são capazes de prover importantes recursos às populações tradicionais, se constituem em fonte de frutas, plantas medicinais, materiais de construção, comida para animais, assim como a restauração da produtividade do sítio e a redução da população de pragas (Brown & Lugo, 1990; Dourojeanni, 1990; Serrão, 1994). Economicamente, são produtivas, com taxas de incremento de madeira comparáveis às plantações com espécies de rápido crescimento (Denich, 1991; Rios *et al.*, 2001; Wadsworth, 1993). Também desenvolvem um importante papel ecológico, em termos de crescimento florestal, acúmulo de biomassa, controle de erosão, conservação de nutrientes, benefícios hidrológicos, manutenção da biodiversidade (Nepstad *et al.*, 1996; Pereira & Vieira, 2001).

No entanto, há carência de estudos que identifiquem a potencialidade do uso de espécies de florestas secundárias, dificultando o seu manejo.

Sucessão Secundária

A sucessão secundária se dá em solos adaptados a mudanças no ambiente, o qual é relativamente favorável para a colonização das espécies secundárias, que já estavam disponíveis para esse processo, além do mais, apresentam propágulos dos mesmos (banco de sementes, plântulas etc.).

Nesse contexto, Gómez-Pompa & Vásquez-Yanes (1974) consideram que as sucessões secundárias são mudanças que se verificam nos ecossistemas após a destruição parcial de uma comunidade, podendo ocorrer em uma pequena área de floresta nativa. As espécies que ocorrem nessa fase da sucessão são as 'pioneiras', especialmente as arbóreas, que caracterizam a regeneração da floresta tropical, apresentando semelhanças fisionômicas e fisiológicas, antes que um estágio maduro da floresta seja reconstituído, envolvendo a substituição de grupos de espécies ao longo do tempo, à medida que estas predecessoras fornecessem condições mais favoráveis ao desenvolvimento das espécies já presentes na área, com crescimento lento e estabelecimento de espécies mais tardias.

Uma sucessão é iniciada pela interrupção prévia da comunidade seral ou clímax por algum distúrbio do ambiente e principalmente, marcando a troca da vegetação estável. A sucessão secundária ocorre após o fogo, depois da remoção ou depois de roçar, isso quando as áreas são previamente cultivadas e abandonadas (com a mudança do cultivo) ou quando a floresta está limpa. Os fatores que afetam a regeneração de florestas secundárias são decorrentes de uma complexa combinação de diferentes tipos de perturbações antrópicas, geralmente envolvendo a extração de produtos madeireiros e não-madeireiros, desmatamentos para agricultura, pecuária ou mineração e incêndios florestais (Lima, 2001).

Com isso, diversas tendências na estrutura e notáveis transformações são esperadas ao longo do processo de sucessão, como o aumento da diversidade, da equabilidade no número de estratos, transferência de nutrientes livres do solo para a comunidade biótica, redução da perda de nutrientes, melhoria da estrutura do solo pela produção de matéria orgânica e modificações do microclima (Odum, 1972; Gómez-Pompa & Vasquez-Yanes, 1985).

A sucessão ocorre em uma pequena área de floresta, após a queda de uma árvore, ou em vários hectares de uma cultura abandonada. Cada sucessão tem uma direção de desenvolvimento definida, tendendo ao estágio maduro da floresta (Tracey, 1985). Depende das características do sítio, das exigências ecológicas, da concorrência das plantas vizinhas para a ocupação da área e

ainda da presença do banco de sementes e plântulas, em uma associação vegetal que forma, junto com um complexo de fatores internos da área, um ecossistema em equilíbrio dinâmico.

Nutrição Florestal

Os solos da Amazônia são extremamente intemperizados e, geralmente, de baixa fertilidade (Camargo & Falesi, 1975; Sanchez, 1976; Jordan, 1985), cuja vegetação depende em grande escala da ciclagem de nutrientes contidos na biomassa e nos detritos vegetais (Jordan & Herrera, 1981; Schubart et al., 1984; Luizão, 1989). Para se manterem, os ecossistemas florestais dependem de sua capacidade de ciclar e acumular nutrientes no sistema solo-planta e dentro do indivíduo arbóreo. Portanto, a ciclagem de nutrientes em um ecossistema consiste no fluxo desses nutrientes e nas transferências entre um ecossistema e outro (Jordan, 1985).

A diferença entre os ecossistemas está na eficiência de utilização dos nutrientes para a produção de biomassa, onde a relação entre ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia no compartimento da serapilheira são condicionantes da capacidade de produção do ecossistema (Luizão, 1989).

Na floresta amazônica, parte dos nutrientes requeridos para o crescimento das espécies florestais está alocado na própria vegetação. Klinge *et al.* (1975) mencionam que, nas florestas de terra firme de Manaus, mais de 80 % dos estoques do K, Ca e Mg, 40 % e 50 % de N e P, respectivamente, estão armazenados na biomassa verde da floresta. Há muitas informações sobre a dinâmica de nutrientes (Luizão, 1989; Cunha *et al.*, 1993; Schumacher & Caldeira, 2001), porém ainda existem lacunas a serem preenchidas; uma delas é saber avaliar quanto tempo a floresta leva para repor os nutrientes exportados pela extração madeireira.

Biomassa Florestal

De acordo com Higuchi (2001), as estimativas de biomassa florestal são informações imprescindíveis nas questões ligadas às áreas de manejo florestal e de clima, entre outras. No primeiro caso, a biomassa está relacionada com os estoques de macro e micronutrientes da vegetação. A floresta amazônica utiliza-se de inúmeras adaptações para a manutenção da sua diversidade. Qualquer alteração no sistema de ciclagem de nutrientes pode ter conseqüências na produtividade primária da floresta (Luizão & Luizão, 1997).

Ferreira (1997) assinala que por causa dos baixos teores de nutrientes no solo a sustentabilidade do ecossistema depende do efeito da exploração florestal no ciclo de nutrientes. Tal ciclagem engloba os seguintes processos: chuva (p.ex. transprecipitação, escoamento do tronco), aerossóis, produção e decomposição de serapilheira, absorção pelas raízes etc. Esses processos são influenciados pelo ciclo hidrológico, sendo importante o entendimento dos processos de transferência dos nutrientes e da água, no sistema solo-planta-atmosfera. Cochrane & Sanchez (1982) ressaltam que nos solos existe a deficiência em fósforo, baixo pH e baixa capacidade de troca catiônica. Portanto, sob tais condições, a principal fonte de nutrientes é a biomassa florestal.

Estimativas de biomassa em florestas secundárias

Salomão *et al.* (1996), descrevem dois modelos estatísticos utilizados na Amazônia. O primeiro requer o conhecimento da densidade da madeira de cada indivíduo, o que é praticamente impossível obter durante o inventário; o segundo, seria o recomendado para florestas secundárias.

Guimarães (1993) encontrou um valor de aproximadamente 12 t ha⁻¹ de biomassa para áreas de florestas secundárias de dois anos de idade, após o uso prévio de solo por 10 anos. Por sua vez, Uhl *et al.* (1988) encontraram 80 t ha⁻¹ para uma capoeira de 10 anos, cujo solo foi utilizado como pastagem durante um período de quatro anos. López *et al.* (2002) concluem que o peso seco da biomassa aérea, estimada em 34 parcelas, com 124 espécies chegou a 220 t ha⁻¹, em 30 anos, o qual representa 112 t ha⁻¹ de carbono. Steininger (2000) sugere um crescimento médio de 9-10 t ha⁻¹ ano⁻¹ em áreas de florestas secundárias jovens até 12 anos de idade na Amazônia.

As estimativas de florestas secundárias de 5, 10 e 20 anos são respectivamente 13, 44 e 81 t ha⁻¹ (Salomão *et al.*, 1996). Em pastagens abandonadas de Paragominas (PA), as estimativas variam de 0,2 a 74 t ha⁻¹, de acordo com a intensidade do uso do solo (Uhl *et al.*, 1988). Nas áreas estudadas por Lima (2001) as estimativas de biomassa para capoeiras de 6, 10 e 25 anos foram aproximadamente, 26, 56 e 110 t ha⁻¹, respectivamente. Outras estimativas de biomassa para florestas secundárias, na Amazônia, foram feitas pelo mesmo autor (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativas de biomassa em florestas secundárias na Amazônia (t ha⁻¹).

Localidade	Biomassa (t ha⁻¹)
<i>Manaus</i>	64,2
<i>Alto Rio Negro</i>	43,9
<i>Paragominas</i>	59,9
<i>Altamira</i>	47,5
<i>Distrito Agropecuário</i>	14,0

Fonte: Lima (2001).

Este trabalho buscou avaliar os teores, estoques e a distribuição de nutrientes, em partes das árvores, em duas florestas secundárias de diferentes idades e diferentes históricos de formação. Por meio de equações alométricas foi realizada uma modelagem da distribuição dos estoques desses nutrientes. Tais informações são fundamentais para se entender as estratégias de alocação de nutrientes em um ecossistema florestal em processo de restauração e, com isso, subsidiar futuras atividades de manejo nessas áreas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar os estoques de biomassa e os teores e estoques de nutrientes em diferentes partes da árvore de florestas secundárias, na região de Manaus, testando diferentes equações alométricas para estimativa de nutrientes nas espécies florestais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Determinar os teores dos macronutrientes C, N, P, K, Ca, Mg e dos micronutrientes Mn, Fe, Cu, Na, Zn e suas distribuições em diferentes partes das árvores: folhas, galhos, troncos e raízes;
- B. Avaliar os estoques de nutrientes e suas distribuições em diferentes partes da árvore: folhas, galhos, troncos e raízes;
- C. Avaliar a idade das florestas secundárias e seus históricos de uso com o estoque de nutrientes;
- D. Desenvolver equações alométricas para avaliar os estoques de carbono e nutrientes em duas florestas secundárias;
- E. Quantificar e caracterizar os nutrientes do solo, nas duas áreas de estudo.

ÁREA DE ESTUDO

A base da coleta de dados foi na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST), área de 21 mil hectares, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), no Distrito Agropecuário da SUFRAMA, que, no seu total, abrange 600 mil hectares (Figura 1). As áreas têm acesso pela rodovia BR-174, que liga Manaus a Boa Vista, a 60 km ao norte de Manaus.

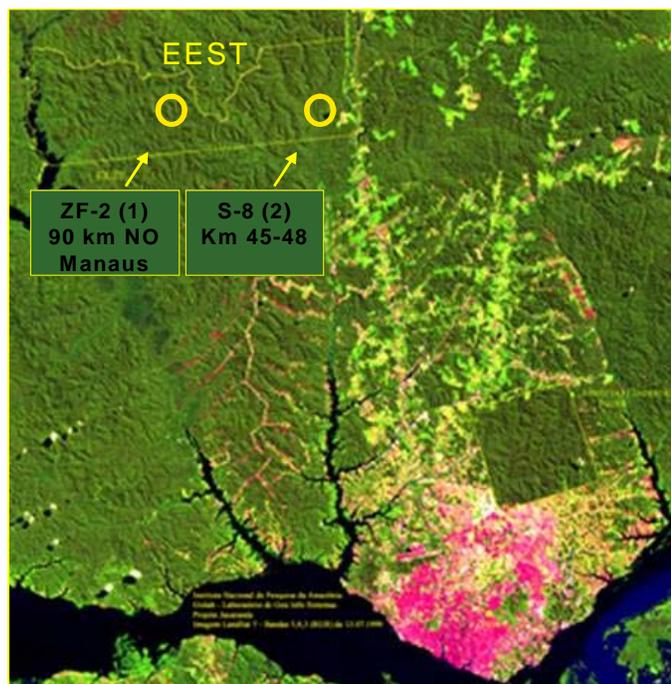


Figura 1. Estação Experimental de Silvicultura Tropical - EEST, com as duas áreas de estudo, experimento 1: Floresta Secundária ZF-2 (1981-1982) e experimento 2: Floresta Secundária S-8 (1991). Fonte: GISLAB, 2006.

A primeira área, denominada de capoeira da ZF-2, com 23 anos de idade, está localizada entre os km 21 e 24, na margem esquerda da estrada vicinal ZF-2 ($02^{\circ} 38' 38.0''$ S e $60^{\circ} 09' 49.9''$ W), abrangendo um total de cinco (5) hectares (Figura 2). Seu preparo constou de limpeza no ano de 1981, seguido de corte e reflorestamento, sem resultados satisfatórios, com abandono da área no ano de 1982 (Higuchi, 2006).

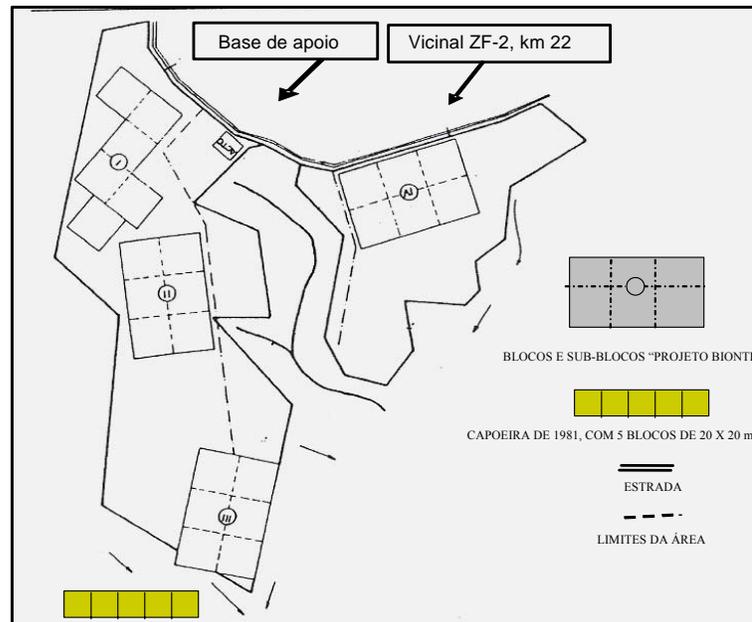


Figura 2. Área ZF-2, experimento 1.
Adaptado: Higuchi (1987).

A segunda área, denominada de capoeira da S-8, com 14 anos de idade, encontra-se entre os km 45 e 48, em sua margem esquerda. Seu acesso se dá via Igarapé do Guaraná ou pelo ramal da CEPLAC, 2 km ao norte da sede ($02^{\circ} 35' 18.7''$ S e $60^{\circ} 02' 37.3''$ W) (Figura 3). O corte da floresta secundária, com 10 anos de idade, ocorreu nos meses de julho a outubro de 1991 e a queimada a 3 de novembro do mesmo ano e posterior abandono (Higuchi, 2006). Além desse trabalho foram realizados estudos nessa área por Carvalho Jr. *et al.* (1995) e por Lima (2001), que estudou a dinâmica dessa capoeira, fazendo análise de estrutura, fitossociologia e biomassa seca acima do nível do solo.

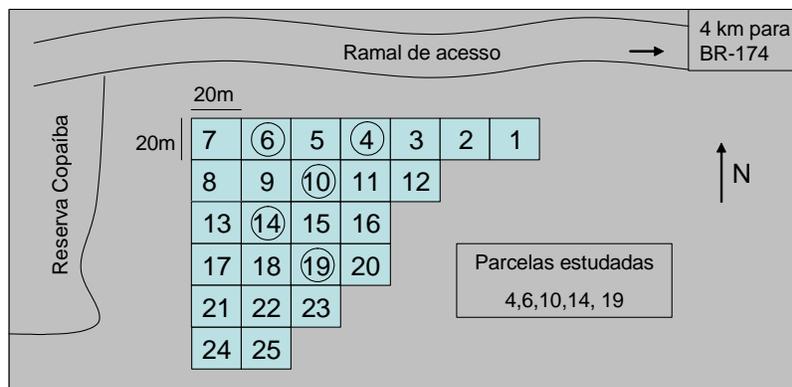


Figura 3. Área S-8, experimento 2.
Adaptado: Higuchi & Carvalho Jr. (1994).

Geologicamente predominam os arenitos caulíníficos, argilitos, grauvacas e brechas intraformacionais na formação Alter do Chão, do Cretáceo superior (Ranzani, 1980). A planície sedimentar terciária na área é dissecada por sua rede de drenagem, resultando em platôs (de 500 a 1000 metros de diâmetro), colinas de topos arredondados e vales amplos circundados por vertentes íngremes retas e convexas (Dias *et al.*, 1980). A altitude relativa entre os vales e platôs varia entre 50 a 100 m.

Nos platôs, os solos são classificados como Latossolo Amarelo, álico, distrófico, de textura argilosa a muito argilosa (Ferraz *et al.* 1998), sendo a área classificada como área de “sub-região dos baixos platôs da Amazônia” (RADAM-BRASIL, 1978).

O clima é do tipo “Amw”, na classificação de Köppen, quente e úmido, caracterizado como clima tropical chuvoso, apresentando temperatura elevada, com variação térmica diurna maior do que a noturna (Ranzani, 1980). Na área de estudo a precipitação anual é de 2320 mm anuais, com máximas de 116,2 e mínimas de 0. Contudo há um período relativamente seco, entre junho e outubro (precipitações mensais abaixo de 100 mm). A temperatura apresenta valores entre 20,8 e 30,7 °C e a umidade relativa entre 69 e 100 % (Miranda, 2002).

A floresta da bacia amazônica apresenta diversas fisionomias de vegetação, fazendo dela uma província fitogeográfica bem delimitada, porém, heterogênea e frágil (Pires & Prance, 1985), que devido aos solos muito ácidos e pobres em nutrientes, é altamente dependente da ciclagem de nutrientes bem como dos altos índices de pluviosidade (Schubart *et al.*, 1984; Jordan, 1985; Ribeiro *et al.*, 1999). A área de estudo é classificada como floresta ombrófila densa de terra-firme (Veloso, 1991).

No estudo feito por Lima (2001), a capoeira da S-8, por meio de análise estrutural, apresentou em sua composição florística um maior número de espécies para as famílias Annonaceae e Melastomataceae (5), Mimosaceae (4), seguidas de Lecythidaceae, Cecropiaceae, entre outras.

CAPÍTULO 1

COMPARTIMENTAÇÃO DO CARBONO E NUTRIENTES MINERAIS EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS.

1.1 INTRODUÇÃO

Um parâmetro de medida de sustentabilidade de um projeto de manejo florestal é sua capacidade de conservar e reciclar os nutrientes, tendo em vista que o mercado consumidor começa a exigir medidas para minimizar a exportação de nutrientes, principalmente de ecossistemas frágeis e complexos como os da Amazônia. A não aplicação de planos de manejo, na exploração de áreas de florestas primárias tem levado a formação de florestas secundárias, com reduzido número de espécies, baixos estoques de nutrientes na biomassa arbórea e baixa fertilidade do solo.

Uma das regiões de florestas secundárias (capoeiras) mais antigas da Amazônia está localizada na Zona Bragantina (Pará). Essas áreas surgiram com a construção da estrada de ferro Belém-Bragança (1883), onde os colonos açorianos e imigrantes nordestinos, estabelecidos nessas áreas iniciaram o processo de derrubada da floresta nativa, para a formação de plantios agrícolas (Denich, 1991). No entanto, a partir do segundo ou terceiro ano, as áreas não produziam o suficiente, fazendo com que esses colonos desbravassem novas áreas. Primeiramente, havia o processo de desmatamento da floresta nativa às margens da ferrovia, depois, ao longo das estradas vicinais e em seguida, com interligação das vicinais, a expansão das atividades de roça-queima-plantio (Oliveira, 1995).

Em vista disso, temos na Amazônia capoeiras de várias idades, com diferentes tamanhos, originadas de diferentes usos. Um estudo realizado por Gomide *et al.* (2002) acompanhando, por 12 anos, a regeneração de uma floresta secundária após corte raso no Amapá, observou que, quanto mais velha a capoeira, maior a quantidade de fitomassa acima do nível do solo. Paralelo a isso, Uhl *et al.* (1988) e Guimarães (1993), em uma floresta secundária, no Estado do Pará observaram que, quanto maior o tempo de uso como pastagem, menor a fitomassa.

Não só o acúmulo de fitomassa, mas o acréscimo em área basal e o volume de madeira estão relacionados com a idade da capoeira (Brown e Lugo, 1990). Juntamente a isso, devemos considerar os estoques e teores de nutrientes e suas distribuições, que foram objetos de estudo de Buchbacher *et al.* (1988), Guimarães (1993), Davidson *et al.* (2004), Feldpausch *et al.* (2004),

Markewitz *et al.* (2004), entre outros, para ampliar o conhecimento sobre essa dinâmica e dar indicativos de sustentabilidade.

Contudo, para entender melhor a dinâmica dessas florestas, deve-se conhecer o processo da ciclagem de nutrientes, que é dado pelo processo cíclico dos elementos, que passam do ambiente para os organismos e destes novamente para o ambiente. Essa ciclagem é constituída de várias fases: absorção, assimilação e armazenamento dos nutrientes na biomassa, que retornam ao solo pela serapilheira, carreados pelo escorrimento do tronco, pela decomposição de matéria morta na superfície do solo, e finalmente, mineralização, ficando assim disponível no solo, para serem novamente assimilados pelas plantas (Mason, 1980; Haag, 1985; Campos *et al.*, 2005).

Segundo Canavesi & Kirchner (2005), o transporte de nutrientes dentro da planta se inicia quando os minerais atingem o xilema na raiz e caminham de forma ascendente, para que ocorra sua distribuição. Posteriormente, os minerais passam do xilema para o floema através do câmbio, permitindo que, parte dos minerais, fiquem retidos ou sejam desviados, para que não sejam totalmente levados para a corrente transpiratória. A partir do momento em que o nutriente entra para o floema, ele está livre para circular em todas as direções: para baixo, para cima e para os lados. A chegada dos minerais até as folhas não faz com que a circulação termine, ou seja, eles estão em contínuo movimento dentro da planta. A mobilidade dos elementos dentro do floema é a seguinte: $N > K > Na > P > Cl > S > Zn > Cu > Mn > Fe > Mo > Mg$; o Ca e o B têm mobilidade reduzida. A circulação desses elementos dentro da planta é muito variável, desde sua absorção pelas raízes até a sua redistribuição, quando o elemento atinge as folhas (Malavolta, 2006).

As árvores possuem diferentes concentrações de elementos nos tecidos, sendo assim, a quantidade de nutrientes em um ecossistema florestal pode ser representada pelo somatório dos nutrientes contidos em diferentes partes das árvores (folhas, galhos, casca e lenho), da vegetação do sub-bosque, da serapilheira e do solo. É necessário salientar que, além das diferenças entre as concentrações de nutrientes nos diferentes tecidos das plantas, há também uma variabilidade em relação à idade de diferentes espécies de plantas, além é claro, da fertilidade do solo. Por exemplo, algumas espécies florestais podem ser consideradas menos exigentes que outras quanto à retenção dos nutrientes em seus componentes (Senna, 1996).

É necessário, então, um entendimento da dinâmica dessas florestas em regeneração natural, que considere o histórico de cada área, os diferentes usos do solo, suas intensidades e duração, podendo assim avaliar a evolução dessas áreas em termos de acúmulo de biomassa e

nutrientes em partes da árvore, um termo utilizado pelo IPCC (2006), análogo a compartimento e adotado nesse estudo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar os macro e micronutrientes em diferentes partes* das árvores de duas capoeiras com históricos de uso e idades diferentes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Determinar os teores dos macronutrientes C, N, P, K, Ca, Mg e dos micronutrientes Mn, Fe, Cu, Na, Zn e suas distribuições, em diferentes partes das árvores: folhas, galhos, troncos e raízes;
- b. Estimar os estoques de nutrientes em partes das árvores: folhas, galhos, troncos e raízes;
- c. Relacionar a idade das capoeiras e seus históricos de uso com os estoques de nutrientes.

* NB: o termo “partes”, recomendado pelo IPCC (2006), será usado no lugar de compartimentos.

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

1.3.1 Área de estudo

A coleta de dados foi realizada na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), no Distrito Agropecuário da SUFRAMA, a 60 km ao norte de Manaus.

A área de capoeira da ZF-2 (Figura 2), entre os km-21 e 24, na margem esquerda da estrada vicinal ZF-2, (02° 38' 38.0" S e 60° 09' 49.9" W), abrange um total de cinco hectares. Seu preparo constou de limpeza no ano de 1981, seguido de corte, reflorestamento e abandono da área no ano de 1982 (Higuchi, 2006).

A segunda área, capoeira da S-8, está localizada entre os km 45 e 48, em sua margem esquerda, (02° 35' 18.7" S e 60° 02' 37.3" W) (Figura 3). Seu preparo ocorreu nos meses de julho a outubro de 1991, queimada a 3 de novembro do mesmo ano e logo em seguida abandonada (Higuchi, 2006). Em 2001, Lima estudou a dinâmica dessa capoeira, fazendo análise de estrutura, fitossociologia e biomassa seca acima do nível do solo.

1.3.2 Coleta de Amostras

Para cada uma das duas capoeiras (ZF-2 e S-8), foram alocadas 5 parcelas medindo 20 x 20 m, totalizando uma área de 2000 m², cada, onde todos os indivíduos com DAP ≥ 5 cm foram mensurados, por meio de inventário florestal. Logo em seguida, foram selecionados 60 indivíduos aleatoriamente, 30 em cada uma das áreas de estudo, para o estudo da biomassa e coleta de amostras de partes da planta.

Foi utilizado o método destrutivo, onde todos os indivíduos foram derrubados. As árvores foram divididas em seis partes: folhas, galhos grossos - $\varnothing \geq 10$ cm, galhos finos - $\varnothing < 10$ cm, troncos, raízes grossas - $\varnothing \geq 5$ cm e raízes finas - $\varnothing < 5$ cm. Cada parte foi pesada, individualmente, para a obtenção do peso fresco total, utilizando em campo balança de estiva com capacidade de 300 kg (precisão: 100 g) e balança digital com capacidade de 40 kg (precisão: 0,01 g). Após essa pesagem foi realizado o desmembramento das partes das árvores em sub-amostras para o envio ao laboratório, onde foi determinado o peso seco a 105 °C até peso constante em estufa de ventilação forçada.

1.3.2.1 Biomassa acima e abaixo do nível do solo

- **Árvores com DAP \geq 5 cm**

Foram amostradas, em cada um dos dez quadrados de 20 x 20 m, todas as árvores com DAP \geq 5 cm, por meio de inventário florestal, em seguida identificadas pelo nome vulgar e seus respectivos DAPs. De todas as árvores amostradas foram sorteados 30 indivíduos, aleatoriamente, nas duas capoeiras, coletadas por meio do método destrutivo, identificadas botanicamente e as exsicatas enviadas ao herbário do INPA. Uma descrição mais detalhada das espécies nas capoeiras foi dada por Lima (2001).

- **Corte da árvore**

1. Para as árvores sorteadas foi realizada uma análise de direção da queda da árvore, para a derruba. O corte foi dado a 5 cm do solo, algumas vezes com uso da motosserra, para as árvores de maior diâmetro, e outras vezes com uso do terçado, para indivíduos mais finos.

2. Logo após a queda da árvore mediu-se a altura até a 1º bifurcação e a altura total da árvore.

- **Determinação da biomassa e amostragem da copa**

1. A copa foi dividida em folhas, galhos grossos - $\varnothing \geq 10$ cm e galhos finos - $\varnothing < 10$ cm.

2. Foi realizada a desfolha completa da árvore em cima de uma lona, para que essa pudesse abranger toda a copa. As folhas foram pesadas para obtenção do peso fresco total. Para a análise química de folhas, foram coletados aproximadamente 1 kg do total apresentados em cada um dos indivíduos arbóreos (amostra a “granel”).

3. Para amostragem dos galhos finos, foram considerados os galhos de diâmetro inferior a 10 cm. Primeiramente, os galhos foram pesados (peso fresco), em seguida deu-se à coleta de amostras de aproximadamente 1 kg, aleatoriamente.

4. Para as amostras de galhos grossos, selecionou-se uma parte da árvore, aleatoriamente, com galhos que apresentassem $\varnothing \geq 10$ cm. Os galhos foram pesados para obtenção do peso

fresco total. Foram retirados discos na base do galho (0 %), no meio do galho (50 %) e onde o galho atingiu os exatos 10 cm (100 %) (Figura 4).

- **Amostragem do tronco**

O tronco das árvores foram divididos e pesados para obtenção do peso fresco total. Em seguida, retiraram-se discos, com aproximadamente 3 cm de espessura, da base do tronco (0 %), meio do tronco (50 %) e um disco do topo (100 %) e identificadas (Figura 4).

- **Amostragem de raízes**

1. Foram cavados buracos para cada árvore sorteada, até que atingisse a extremidade da raiz, tanto em profundidade, como em comprimento, de forma que pudesse ser retirado totalmente do solo e obtido seu peso fresco total.

2. Nessas amostras de raízes finas ($\varnothing < 5$ cm), aproximadamente 1 kg de material foi retirado para análise química.

3. Para a raiz grossa ($\varnothing \geq 5$ cm), foram retirados discos na base (0 %), no meio (50 %) e no topo, onde atingiu o diâmetro de 5 cm (100 %) (Figura 4).

- Para obtenção do peso fresco total, foram utilizadas balança de estiva, com capacidade de 300 kg (precisão: 100 g), para os materiais de maior peso e balança digital, com capacidade de 40 kg (precisão: 0,01 g), para os pesos menores.
- Para todas as partes que produziram serragem no corte, foram realizadas coletas desse material e incorporadas ao peso fresco total.
- Todas as amostras enviadas ao laboratório foram embaladas e identificadas.

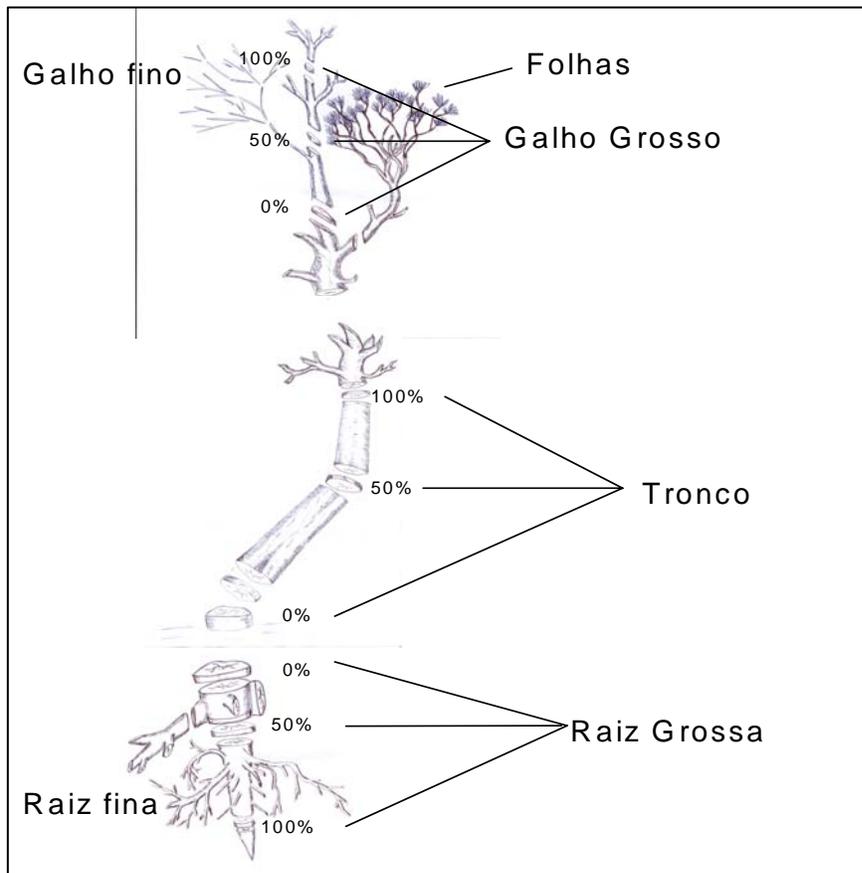


Figura 4. Desenho esquemático das amostras de partes dos indivíduos arbóreos retirados em campo (acima e abaixo do nível do solo).

Desenho: Romeu Dantas de Paiva (2007).

1.3.2.2 Indivíduos selecionados na área de estudo

Lima (2001) em um estudo de fitossociologia realizou um levantamento das espécies presentes em três áreas de capoeiras de diferentes idades, onde todas as árvores com $\varnothing \geq 5$ cm foram mensuradas. O resultado deste levantamento permitiu listar por ordem de abundância as espécies encontradas, perfazendo um total de 28 espécies na área da S-8. A espécie com maior índice de valor de importância foi a embaúba gigante (*Cecropia sciadophylla* Mart.). Apesar de dominarem as capoeiras, estas espécies estão associadas às clareiras naturais de florestas ou são encontradas em baixa densidade na composição das florestas primárias (Nee, 1995), porém, indivíduos desta espécie não foram sorteados.

Contudo, nesse estudo, não foram considerados nem espécie, nem família botânica, para análise de nutrientes, pois nem todos os indivíduos apresentaram repetições nas áreas avaliadas. Desse modo, o indivíduo é a nossa unidade amostral, sendo escolhidos aleatoriamente, 30 indivíduos em cada uma das duas capoeiras: ZF-2 e S-8 (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Árvores amostradas para avaliação de biomassa e nutrientes na floresta secundária da ZF-2/EEST (23 anos) em Manaus (AM).

<i>Nº da amostra</i>	<i>Nome vulgar</i>	<i>Nome científico</i>	<i>DAP (cm)</i>
1	Gitó vermelho	<i>Guarea humaitensis</i>	5,2
2	Falsa cupiúba	<i>Rinorea falcata</i>	5,3
3	Murici	<i>Byrsonima duckeana</i>	5,7
4	Taquari	<i>Couratari stellata</i>	5,8
5	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	5,9
6	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	6,0
7	Taquari vermelho	<i>Mabea speciosa</i>	6,1
8	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	6,1
9	Taquari	<i>Mabea speciosa</i>	6,2
10	Envira fofa	<i>Guatteria foliosa</i>	6,3
11	Breu manga	<i>Tetragastris panamensis</i>	6,4
12	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	6,5
13	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	6,7
14	Taquari	<i>Mabea speciosa</i>	6,8
15	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	7,0
16	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	7,1
17	Ingá copaiba	<i>Monopteryx inpaie</i>	7,2
18	Envira bobó	<i>Rollinia insignis</i>	7,4
19	Breu manga	<i>Tetragastris panamensis</i>	7,5
20	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	7,9
21	Buchuchu	<i>Miconia sp.</i>	8,0
22	Dima	<i>Croton lanjouwensis</i>	8,7
23	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	9,0
24	Taquari	<i>Mabea speciosa</i>	9,3
25	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	10,0
26	Taquari vermelho	<i>Mabea angulares</i>	10,4
27	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	13,5
28	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	15,8
29	Murici	<i>Byrsonima duckeana</i>	25,2
30	Marupá	<i>Simarouba amara</i>	27,5

Tabela 3. Árvores amostradas para avaliação de biomassa e nutrientes na floresta secundária da S-8/EEST (14 anos) em Manaus (AM).

<i>Nº da amostra</i>	<i>Nome vulgar</i>	<i>Nome científico</i>	<i>DAP (cm)</i>
31	Acariquara branca	<i>Geissospermum unceolatum</i>	5,2
32	Pera	<i>Pera bicolor</i>	5,3
33	Ingá branca	<i>Inga laurina</i>	5,3
34	Dima	<i>Croton lanjouwensis</i>	5,4
35	Capitiú	<i>Siparuna guianensis</i>	5,4
36	Fava camuzé	<i>Stryphnodendron</i> sp.	5,5
37	Envira surucucu	<i>Bocageopsis multiflora</i>	6,0
38	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	6,0
39	Muiratinga	<i>Maquira guianensis</i>	6,1
40	Angelim pedra	<i>Dinizia excelsa</i>	6,2
41	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	6,2
42	Araçá bravo	<i>Myrcia paivae</i>	6,8
43	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	7,2
44	Tauari	<i>Couratari stellata</i>	7,5
45	Sacaca brava	<i>Croton</i> sp.	7,5
46	Envira bobó	<i>Rollinia insignis</i>	7,6
47	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	7,8
48	Lacre vermelho	<i>Vismia gracilis</i>	8,0
49	Ingá branca	<i>Inga laurina</i>	9,2
50	Envira folha fina	<i>Guatteria</i> sp.	9,5
51	Periquiteira	<i>Laetia procera</i>	10,0
52	Breu de leite	<i>Trattinnickia burserifolia</i>	10,8
53	Envira fofa	<i>Guatteria scytophylla</i>	11,3
54	Murici	<i>Byrsonima duckeana</i>	11,6
55	Breu manga	<i>Tetragastris panamensis</i>	11,8
56	Fava camuzé	<i>Stryphnodendron</i> sp.	12,0
57	Breu manga	<i>Tetragastris panamensis</i>	17,5
58	Dima	<i>Croton lanjouwensis</i>	20,0
59	Dima	<i>Croton lanjouwensis</i>	23,1
60	Morototó	<i>Schefflera morototoni</i>	26,0

1.3.2.3 Teores de Macro e Micronutrientes na Biomassa

As amostras coletadas de partes da árvore foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas ao Laboratório Temático de Solos e Plantas, INPA. Em seguida, foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada e temperatura controlada entre 60-65 °C, por um período mínimo de 72 horas, até atingir peso constante (Anderson & Ingram, 1989; Miyazawa *et al.*, 1999). Após a secagem, o material foi moído em moinho de faca e posto em frascos de polietileno. Esse processo foi repetido para as amostras das 60 árvores sorteadas, incluindo ainda, as cascas dos troncos e raízes grossas.

1.3.3 Análise química do material vegetal

1.3.3.1 Determinações dos teores de nutrientes

1) C

Pelo método de Walkley - Black (EMBRAPA, 1999);

2) N

Pelo método de Kjeldahl (EMBRAPA, 1999);

3) P

Utilizando o método molibdato de amônio. Sua leitura foi realizada no espectrofotômetro UV-VIS-120-01 (EMBRAPA, 1999);

3) K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu e Na.

Por meio de obtenção do extrato por via úmida (solução digestora nitroperclórica: HNO₃ e HClO₄ concentrados, na relação 2:1), segundo Malavolta *et al.*, (1997). Os teores foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, em chama de ar-acetileno.

As análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA e Laboratório de Análise de Solos e Plantas da EMBRAPA.

1.3.4 Análise estatística

Para avaliar os nutrientes nas partes das árvores em duas áreas com diferentes idades foram usados o teste de ANOVA fornecido pelo programa SYSTAT 8.0.

1.4 RESULTADOS

Para os teores em apresentação nas figuras e tabelas foram utilizadas as unidades usuais, C em “dag kg⁻¹”, macronutrientes em “g kg⁻¹” e micronutrientes em “mg kg⁻¹”. Nas apresentações dos resultados foi utilizada a unidade “kg⁻¹”. Nas apresentações das análises estatísticas, foram utilizadas unidades padronizadas de “g kg⁻¹” para os teores e “kg⁻¹” para os estoques.

1.4.1 Espécies selecionadas nas áreas de estudo

As tabelas 2 e 3 apontam as 60 árvores retiradas, aleatoriamente, das duas áreas de florestas secundárias. Os diâmetros variaram entre 5,0 e 27,5 cm, com concentração entre as classes de 5,0 e 10,0 cm (Figura 5).

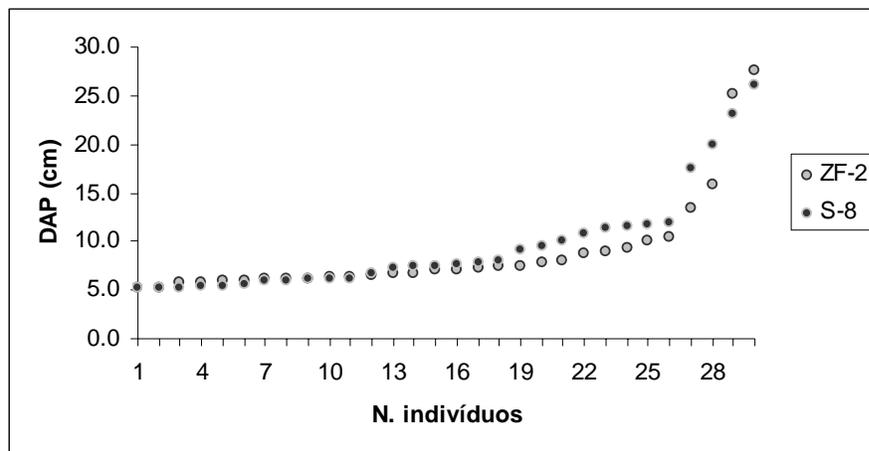


Figura 5. Distribuição do número de indivíduos por DAP (cm), das capoeiras da EEST/**ZF-2** (n=30) e **S-8** (n=30) (Manaus - AM).

Foram contabilizadas, nesses indivíduos, 12 famílias na área da ZF-2 e 14 famílias na área da S-8. Sete dessas famílias eram comuns entre as duas áreas: Annonaceae, Burseraceae, Celastraceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Lecythidaceae e Malpighiaceae (Figura 6).

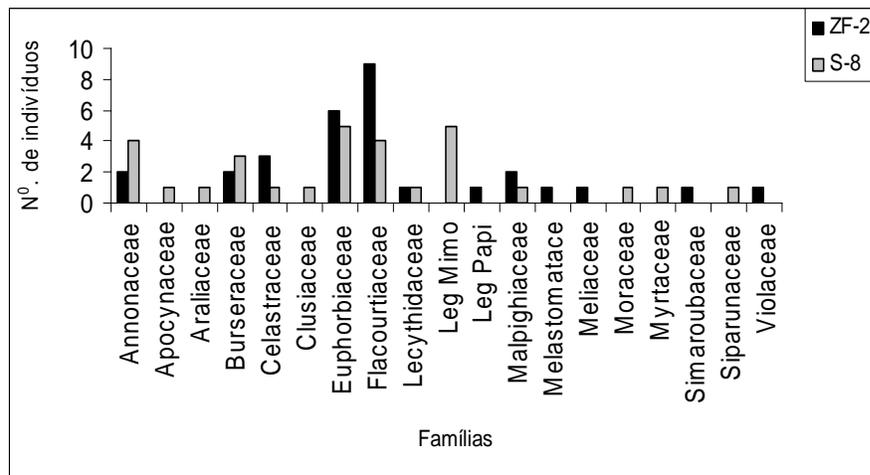


Figura 6. Distribuição do número de indivíduos por família retirados das capoeiras ZF-2 (n=30) e S-8 (n=30)/EEST (Manaus - AM).

As famílias mais abundantes foram: Flacourtiaceae (9 indivíduos na ZF-2 e 4 na S-8), Euphorbiaceae (6 indivíduos na ZF-2 e 5 na S-8) e Burseraceae (2 indivíduos na ZF-2 e 3 na S-8). Apesar das áreas de capoeira apresentarem várias espécies da família Cecropiaceae e Clusiaceae, características de ambientes que sofrem perturbações, apenas um indivíduo de *Vismia guianenses* foi sorteado na área da S-8.

Na área da ZF-2 foram encontradas 15 espécies e na área da S-8, 22 espécies. A *Laetia procera* (Flacourtiaceae), foi a mais abundante no inventário florestal, tornando-se a “espécie-amostra” de maior representatividade (n=9 na ZF-2; n=4 na S-8) (Figura 7).

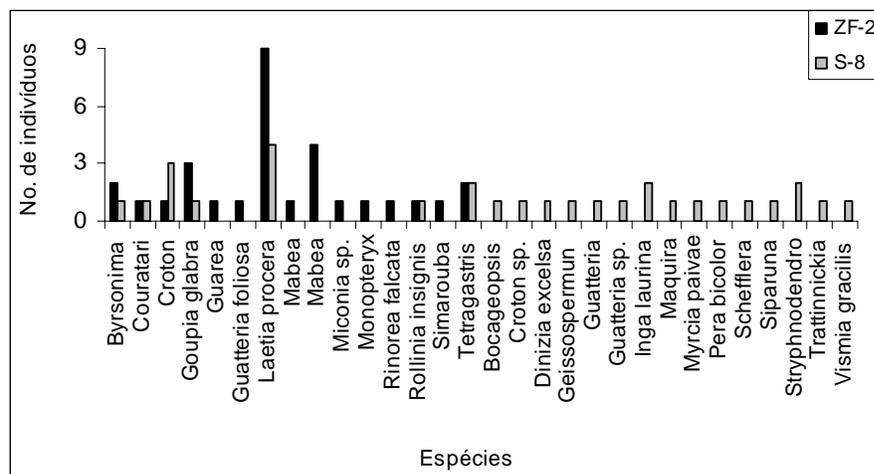


Figura 7. Distribuição do número de indivíduos por espécie retirados das capoeiras ZF-2 e S-8/EEST (Manaus - AM).

A *Laetia procera*, ainda é descrita como espécie pioneira, árvore de dossel, ocorrente em áreas de florestas secundárias e em duas posições topográficas (platô e vertente) (Ribeiro *et al.*, 1999). Outra espécie desse estudo é *Goupia glabra* (Celastraceae), que se apresentou nas duas áreas de estudo. Pode ser encontrada nas três posições topográficas, tanto em floresta primária como em áreas de capoeira (Ribeiro *et al.*, 1999) (Figura 7).

1.4.2 Teores médios de nutrientes e suas distribuições em partes das árvores em duas florestas secundárias

1.4.2.1 Teores de nutrientes nas árvores da Floresta Secundária da ZF-2 (EEST)

Os valores dos teores médios de C em “dag kg⁻¹”, Macronutrientes em “g kg⁻¹” e micronutrientes em “g kg⁻¹”, discutidos nesse tópico, podem ser observados na tabela 4.

Na ZF-2/EEST, observando as partes lenhosas (raízes, troncos e galhos) os **teores de C** variaram entre 31,9 a 59,4 dag kg⁻¹. Nas cascas das raízes e troncos a variação foi de 26,2 a 53,3 dag kg⁻¹, com teor mínimo apresentado pelas raízes grossas 0 % e máximo pelos troncos 0 %. O maior valor médio foi apresentado pelas folhas 52,4 dag kg⁻¹ (Figura 8a).

Para o N (g kg⁻¹), os teores mínimos e máximos variaram entre 1,4 (tronco 100 %) a 29,6 (folhas), havendo nas raízes grossas, o maior teor médio observado nas partes lenhosas (6,3) (Figura 8b).

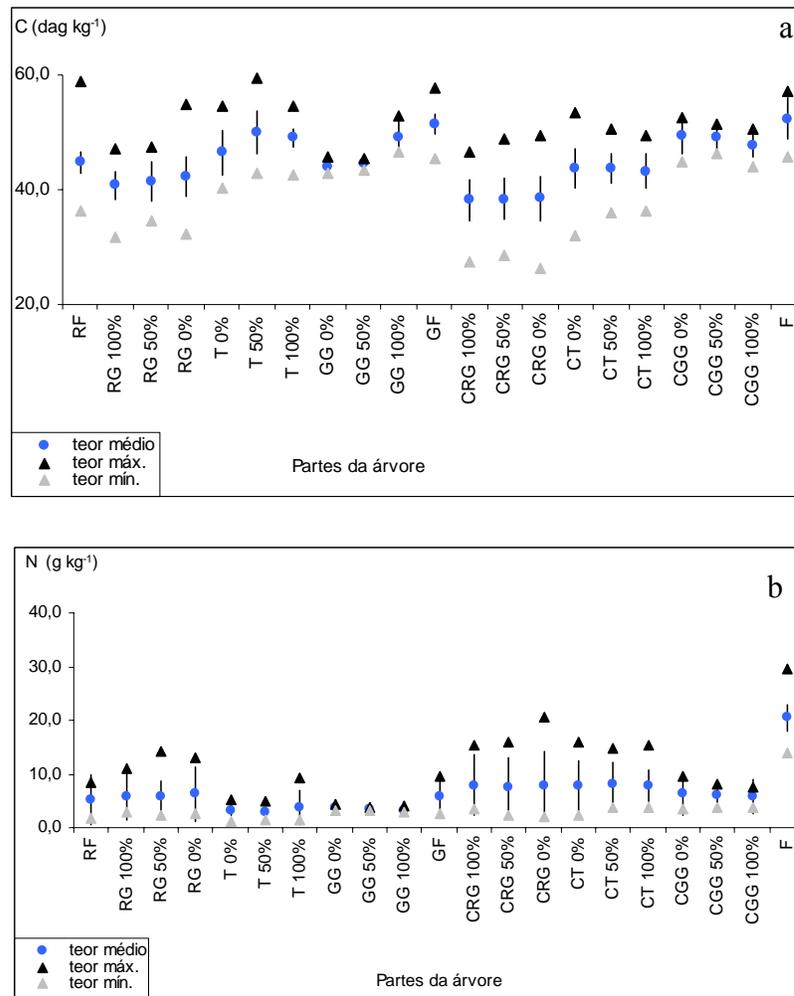


Figura 8. Teores de C (a) e N (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* **Partes:** RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CGG0% + CGG50% + CGG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

Em partes da planta, os valores médios dos **teores de P** variaram de 0,1 (tronco 100 %) e 0,8 (folhas) (g kg⁻¹). Para as cascas, os teores mínimo e máximo variaram de 0,1 (em raízes grossas 0 %) a 0,6 g kg⁻¹ (raiz grossa 50 %) (Figura 9a).

Analisando os **teores de K**, em sub-partes das árvores (0, 50 e 100 %), foram verificados os maiores e menores teores nas cascas das raízes grossas 0 %: 13,9 e 0,3 g kg⁻¹, respectivamente.

Observando o comportamento dos teores médios nas cascas, o K (g kg^{-1}), apresentou um valor de 2,8 para o tronco, 3,3 para os galhos grossos e 3,8 para as cascas das raízes grossas (Figura 9b).

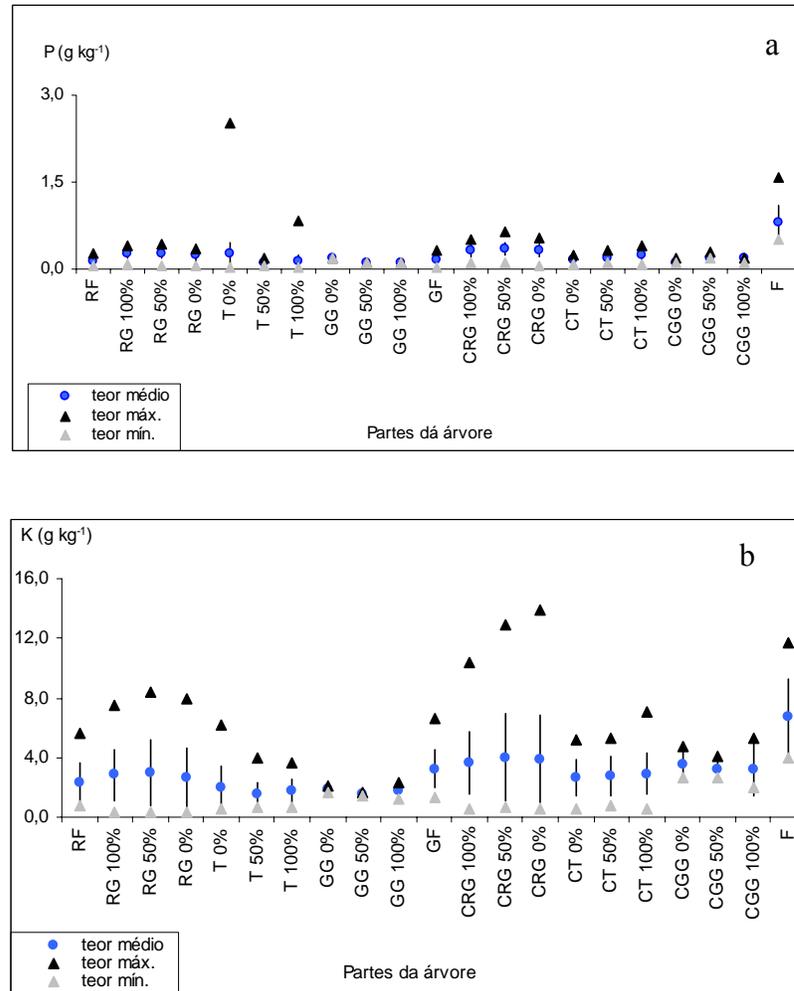


Figura 9. Teores de P (a) e K (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* **Partes:** RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CGG0% + CGG50% + CGG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

Para o Ca (g kg^{-1}), os maiores valores foram nas cascas dos troncos (11,9) e nas raízes grossas (10,2), com teor máximo de 39,7 apresentados pelas cascas das raízes grossas 0 % e mínimo de 0,5 para os troncos 50 %. Os valores médios do material lenhoso foram dados na

seguinte ordem: galhos finos > raízes grossas > raízes finas > troncos > galhos grossos - 4,7 > 4,3 > 3,2 > 2,4 > 2,0, respectivamente (Figura 10a).

Os maiores valores médios do Mg foram apresentados pelas folhas e pelas cascas das raízes grossas (0 e 50 % - 2,3 mg kg⁻¹). Os teores máximo e mínimo foram observados nas cascas das raízes grossas 0 % (6,3 mg kg⁻¹) e nos troncos 0 % (0,2), respectivamente (Figura 10b).

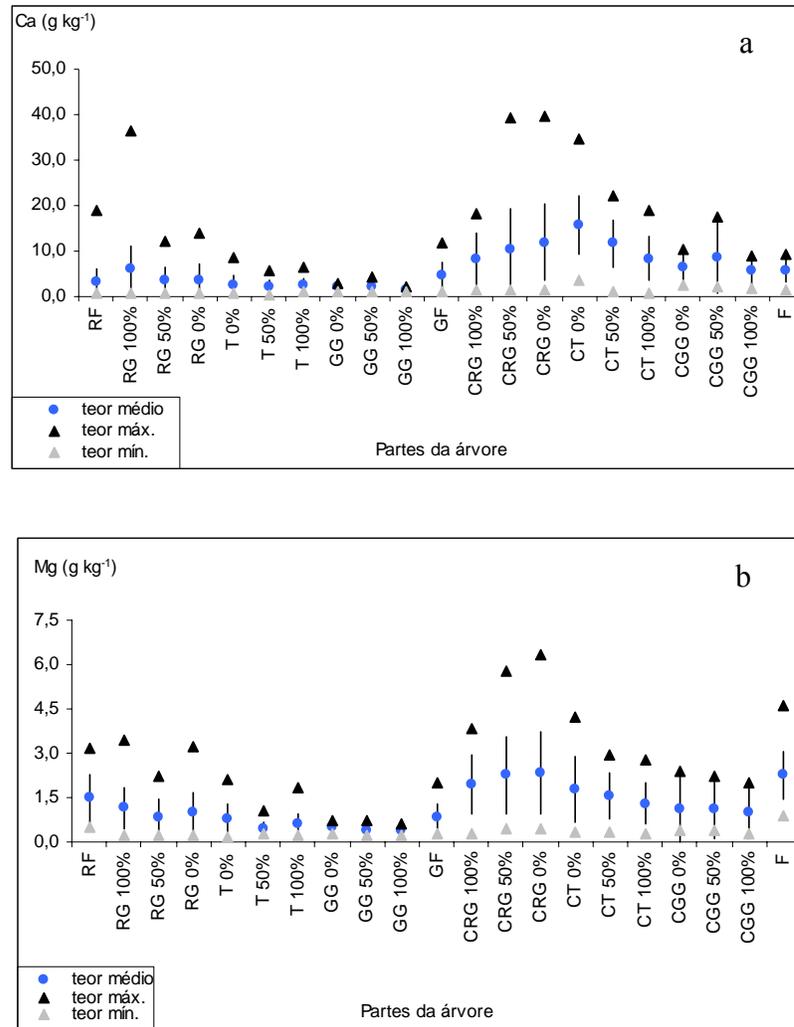


Figura 10. Teores de Ca (a) e Mg (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* **Partes:** RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CGG0% + CGG50% + CGG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

Os **teores de Mn**, em partes lenhosas (raízes, troncos e galhos) variaram de 4,5 a 275 mg kg⁻¹. Nas cascas das raízes, dos troncos e dos galhos grossos as variações foram dadas entre 9,7 e 530 mg kg⁻¹. As folhas apresentaram o maior valor médio de 185 mg kg⁻¹ (Figura 11a).

Os **teores médios de Fe** variaram de 13,3 (galho grosso 50 %) a 811 mg kg⁻¹ (raízes finas). Os valores médios das cascas foram: 617 > 104 > 32 mg kg⁻¹ (raízes grossas > troncos > galhos grossos) (Figura 11b).

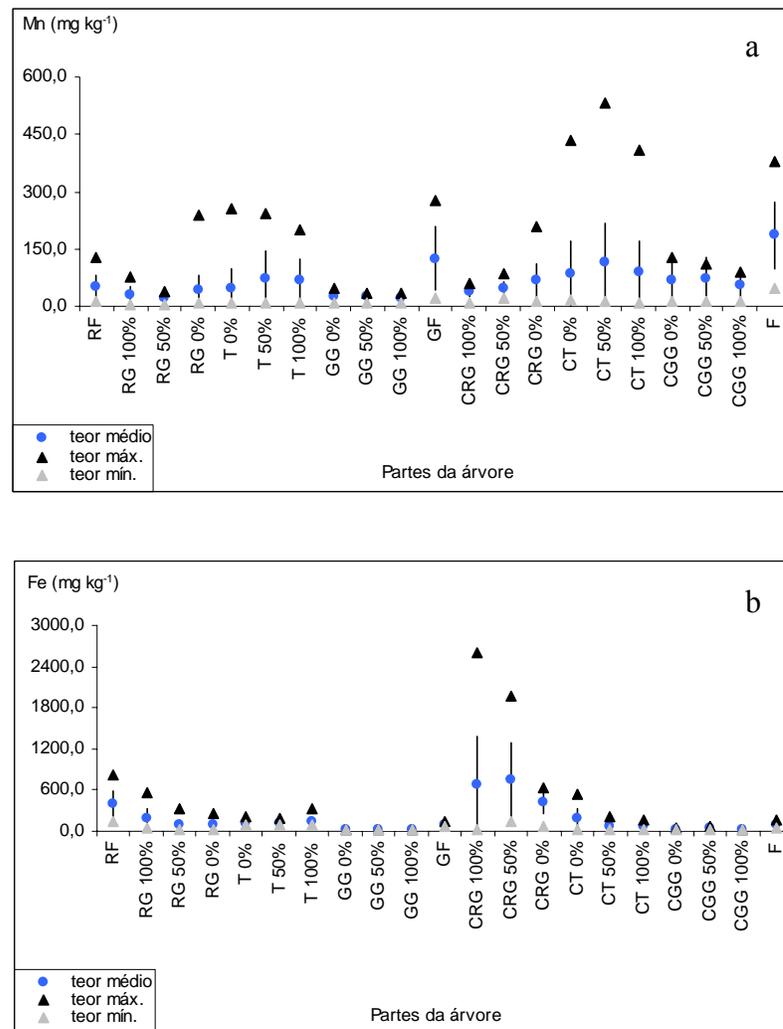


Figura 11. Teores de Mn (a) e Fe (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* **Partes:** RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CGG0% + CGG50% + CGG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

Nas partes lenhosas (raízes, troncos e galhos), os **teores de Cu** apresentaram máxima de 19 e mínima de $0,9 \text{ mg kg}^{-1}$, sendo esses valores observados nas raízes finas. Nas cascas das raízes grossas, dos troncos e dos galhos grossos, os teores apresentaram máxima de 27,2 e mínima de $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$ e as folhas, máxima de 26,5 e mínima de $3,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 12a).

Para o **Na**, as cascas das raízes grossas 100 % apresentaram o maior teor (2700) e nas raízes grossas 50 % e troncos 0 e 100 %, o menor teor (30 mg kg^{-1}). O maior valor médio foi observado nas cascas das raízes grossas 50 % (1067,6) (Figura 12b).

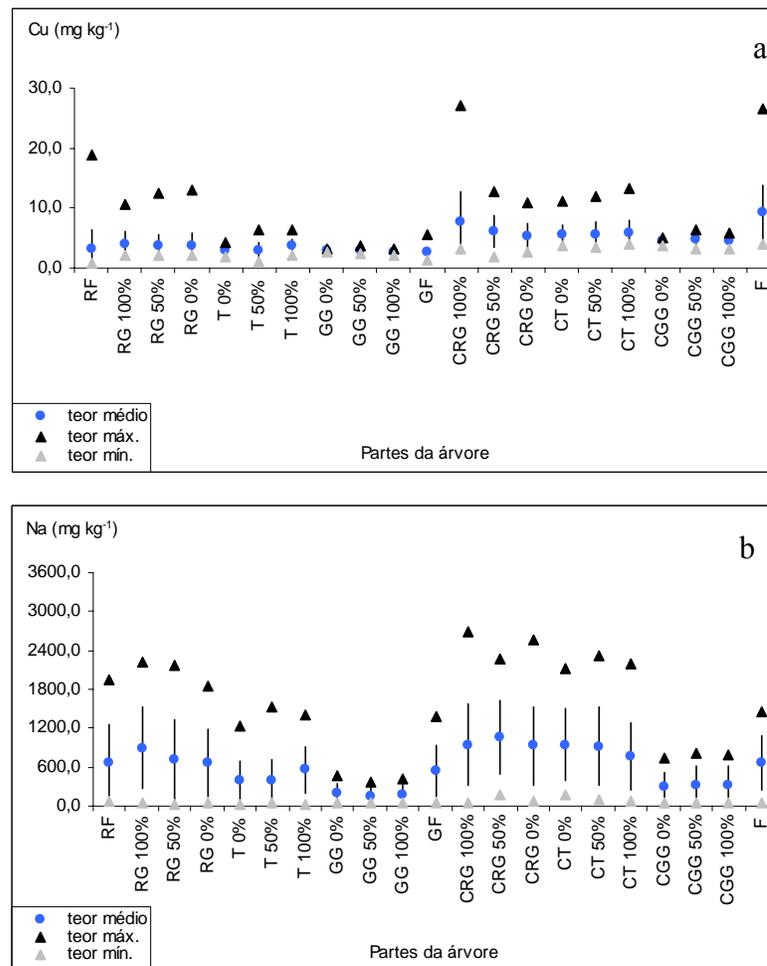


Figura 12. Teores de Cu (a) e Na (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

Partes: RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CCG0% + CCG50% + CCG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

Os valores médios dos teores de **Zn** (mg kg^{-1}) foram: 17,5 (raízes grossas); 11,9 (troncos); 6,8 (galhos grossos); 26,7 (cascas das raízes grossas); 27,7 (cascas dos troncos); 20,1 (cascas dos galhos grossos) 14,6 (raízes finas), 12,9 (galhos finos) e 18,7 (folhas) (Figura 13a).

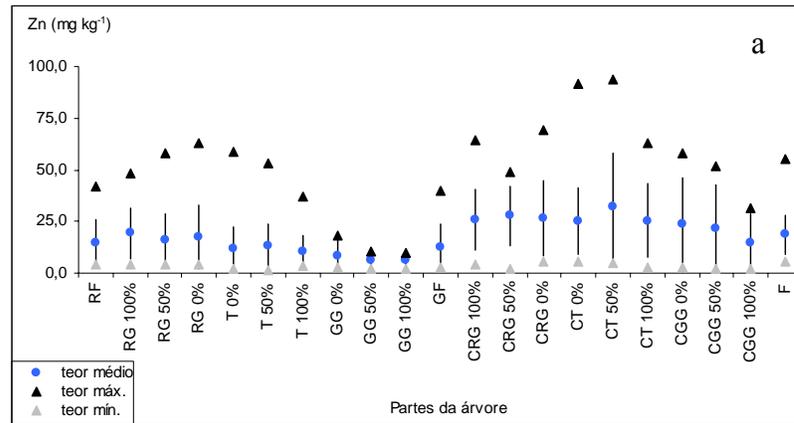


Figura 13. Teores de Zn (a), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* **Partes:** RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CGG0% + CGG50% + CGG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

Tabela 4. Teores médios de nutrientes em 30 indivíduos, na floresta secundária da ZF-2/EEST (23 anos), (Manaus - AM).

ZF-2	C	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Na	Zn
	dag kg ⁻¹			g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹		
COMPARTIMENTO	TEORES MÉDIOS										
Raiz Fina	44,8	5,1	0,1	2,3	3,2	1,5	52,8	400,3	3,2	664,7	14,6
Raiz Grossa 0%	42,3	6,3	0,2	2,6	3,5	1,0	41,7	85,2	3,7	664,0	17,3
Raiz Grossa 50%	41,5	5,8	0,3	3,0	3,4	0,8	22,5	91,8	3,6	710,4	15,9
Raiz Grossa 100%	40,8	5,8	0,3	2,8	6,1	1,1	29,8	184,2	3,9	895,6	19,4
Tronco 100%	49,0	3,7	0,1	1,8	2,5	0,6	68,5	142,2	3,6	560,3	10,6
Tronco 50%	50,0	2,9	0,1	1,6	2,1	0,5	72,2	115,4	2,9	405,0	13,5
Tronco 0%	46,5	3,3	0,3	2,0	2,7	0,8	48,6	107,9	2,8	389,7	11,6
Galho Grosso 0%	44,1	3,7	0,2	1,9	2,2	0,5	26,9	20,2	2,9	190,0	8,4
Galho Grosso 50%	44,6	3,4	0,1	1,5	2,2	0,4	26,5	18,4	2,8	160,0	6,1
Galho Grosso 100%	49,2	3,3	0,1	1,8	1,6	0,4	22,1	17,1	2,6	173,3	6,0
Galho fino	51,5	5,9	0,2	3,3	4,7	0,9	124,6	83,5	2,6	543,0	12,9
Casca Raiz Grossa 0%	38,5	7,8	0,3	3,9	11,8	2,3	66,0	423,8	5,4	926,9	26,7
Casca Raiz Grossa 50%	38,4	7,7	0,3	4,0	10,5	2,3	47,6	751,9	6,1	1067,6	27,7
Casca Raiz Grossa 100%	38,2	7,9	0,3	3,6	8,2	1,9	36,7	675,8	7,6	948,0	25,8
Casca Tronco 100%	43,3	7,9	0,2	2,9	8,4	1,3	89,3	60,2	5,9	761,9	25,5
Casca Tronco 50%	43,7	8,1	0,2	2,7	11,6	1,6	115,2	66,0	5,6	920,4	32,3
Casca Tronco 0%	43,7	7,7	0,2	2,6	15,8	1,8	85,4	185,3	5,5	943,3	25,1
Casca Galho Grosso 0%	49,4	6,3	0,1	3,5	6,6	1,1	69,7	32,6	4,4	286,7	23,5
Casca Galho Grosso 50%	49,1	6,2	0,2	3,2	8,7	1,1	72,3	38,7	4,8	320,0	21,8
Casca Galho Grosso 100%	47,6	5,8	0,2	3,2	5,6	1,0	56,9	24,8	4,5	313,3	14,9
Folha	52,4	20,5	0,8	6,7	5,7	2,3	185,2	85,8	9,2	664,3	18,7
Soma	948,5	135,1	4,8	60,9	127,1	25,1	1361	3611	94	12508	378
Média	45,2	6,4	0,2	2,9	6,1	1,2	65	172	4,5	596	18,0

1.4.2.2 Teores de nutrientes nas árvores da Floresta Secundária da S-8 (EEST)

Igualmente a ZF-2, foram avaliados os teores médios, máximos e mínimos para onze nutrientes (C, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Na e Zn) na área da S-8, destacando, que os teores médios dessa área, discutidos nesse tópico, podem ser observados na tabela 5.

Em partes lenhosas (raízes, troncos e galhos) da planta, os **teores de C** variaram entre 24,5 e 59,2 dag kg⁻¹. Nas cascas das raízes e troncos a variação foi dada de 26,7 a 53,4 dag kg⁻¹, com valor máximo apresentados pelos troncos 0 % e mínimo apresentados pelas raízes grossas 100 %. O maior valor médio dos teores foi observado nas cascas, dos galhos grossos 100 %, aprox. 51,7 dag kg⁻¹ (Figura 14a).

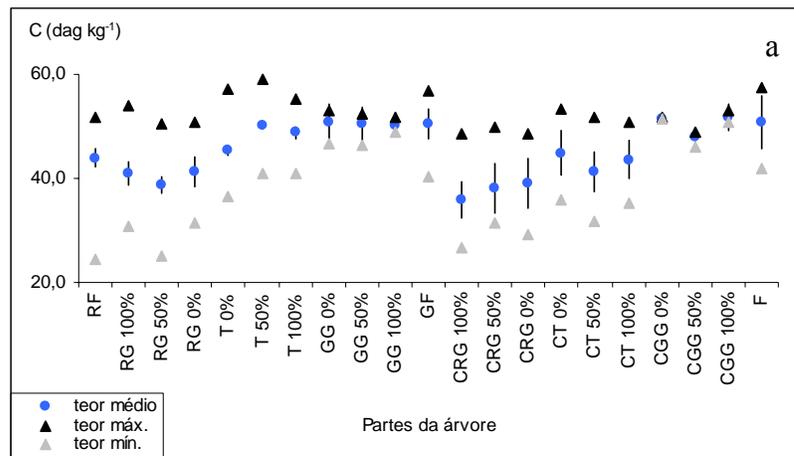


Figura 14. Distribuição dos teores de C (a), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CCG0% + CCG50% + CCG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

Os teores mínimos e máximos de N (g kg⁻¹) variaram entre 1,2 (troncos 0 %) e 33,6 (folhas), respectivamente. As folhas, também apresentaram o maior valor médio dos teores (20,3). Para as cascas, o maior valor médio foi observado nas raízes grossas 0 % (10,6) e para o material lenhoso, esse valor foi obtido nos galhos grossos 100 % (6,9 g kg⁻¹) (Figura 15a).

Os valores médios dos teores de P variaram de 0,1 (troncos 0 %) a 0,7 g kg⁻¹ (folhas). Nas cascas, os valores médios variaram de 0,1 (galhos grossos 0 %) a 0,5 g kg⁻¹ (raízes grossas 0 %).

Para o material lenhoso, as médias das partes foram dadas na seguinte ordem: raízes grossas > galhos finos > galhos grossos = raízes finas = troncos (0,3 > 0,2 > 0,1 = 0,1 = 0,1 g kg⁻¹) (Figura 15b).

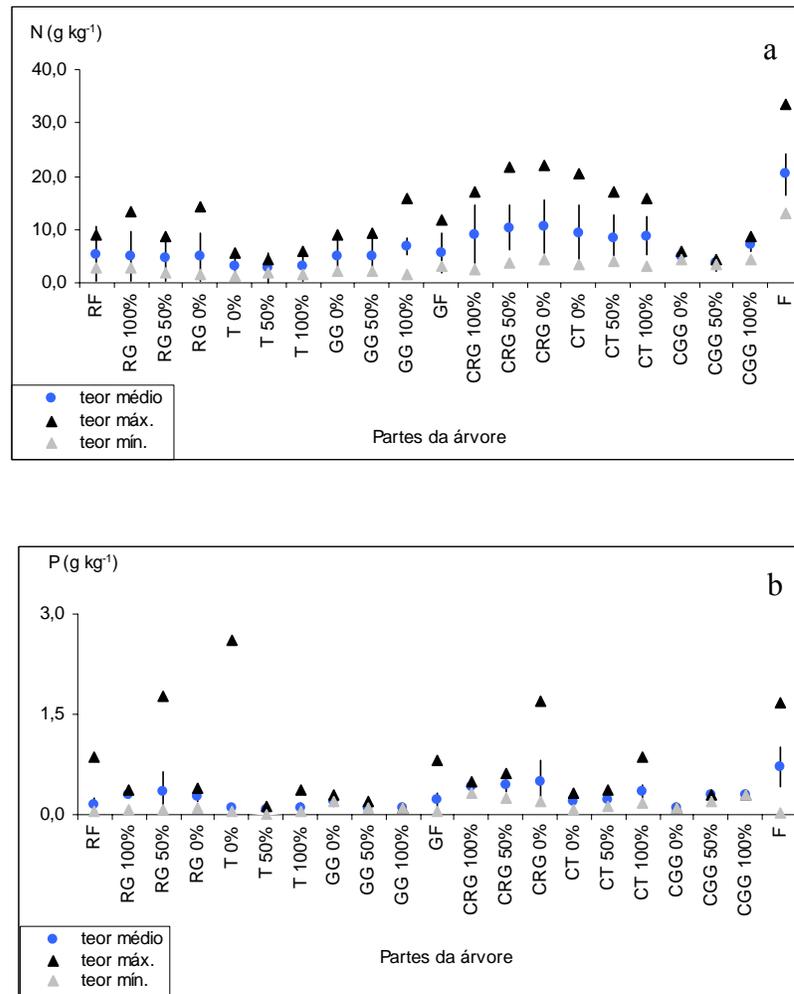


Figura 15. Distribuição dos teores de C (a) e N (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* **RF** = raiz fina; **RG0%** + **RG50%** + **RG100%** = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; **T0%** + **T50%** + **T100%** = tronco na base + no meio + no topo; **GG0%** + **GG50%** + **GG100%** = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; **GF** = galhos finos; **CRG0%** + **CRG50%** + **CRG100%** = cascas das partes referentes a raiz grossa; **CT0%** + **CT50%** + **CT100%** = cascas das partes referentes ao tronco; **CCG0%** + **CCG50%** + **CCG100%** = cascas das partes referentes ao galho grosso; **F**= folhas.

O máximo **teor de K** foi encontrado nas folhas (9,4) e o mínimo encontrado nas cascas dos troncos 0 % (0,1 g kg⁻¹). Observando apenas, as cascas dos materiais lenhosos, em relação às

médias dos teores, temos: galhos grossos = raízes grossas > troncos ($3,0 = 3,0 > 2,4 \text{ g kg}^{-1}$) (Figura 16a).

Assim como para ZF-2, os maiores valores médios, no **Ca** (g kg^{-1}), foram apontados pelas cascas, tanto dos troncos (10,3), como das raízes grossas (7,4). Porém a área da S-8 mostrou valores médios abaixo, dos apresentados pela ZF-2. Além disso, os teores máximo e mínimo foram: $33,0 \text{ g kg}^{-1}$ (cascas dos troncos 100 %) e $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ (raízes grossas 100 %) (Figura 16b).

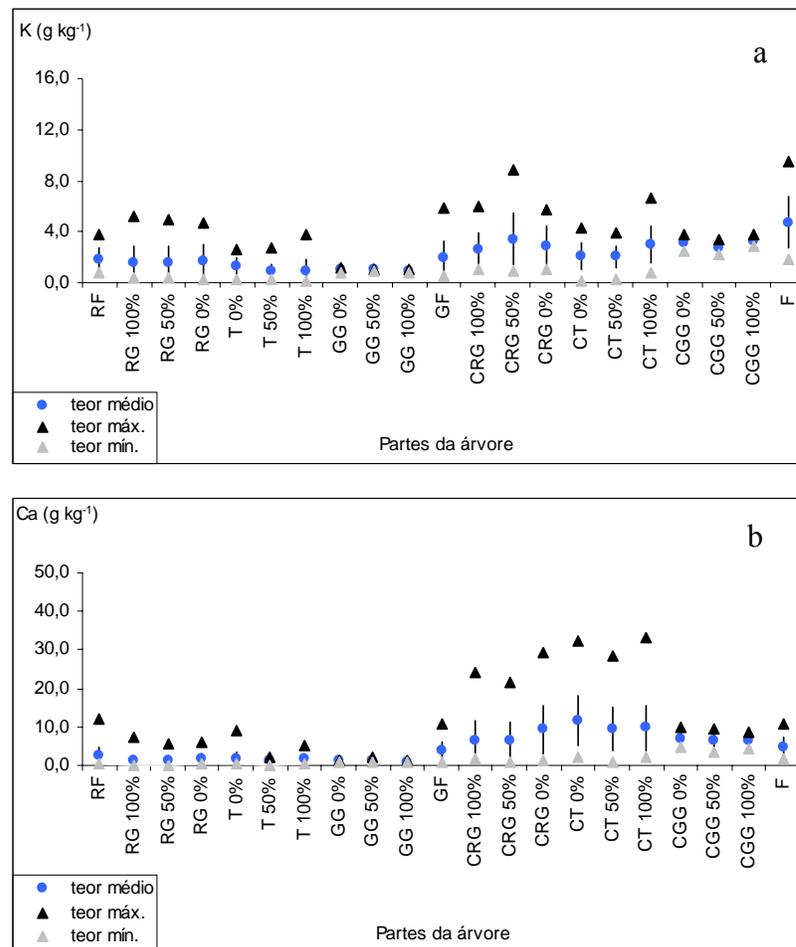


Figura 16. Distribuição dos teores de K (a) e Ca (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* **RF** = raiz fina; **RG0%** + **RG50%** + **RG100%** = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; **T0%** + **T50%** + **T100%** = tronco na base + no meio + no topo; **GG0%** + **GG50%** + **GG100%** = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; **GF** = galhos finos; **CRG0%** + **CRG50%** + **CRG100%** = cascas das partes referentes a raiz grossa; **CT0%** + **CT50%** + **CT100%** = cascas das partes referentes ao tronco; **CGG0%** + **CGG50%** + **CGG100%** = cascas das partes referentes ao galho grosso; **F**= folhas.

As folhas na área da S-8, assim como para a ZF-2, apresentaram o maior valor médio do Mg ($2,5 \text{ mg kg}^{-1}$). Os teores máximo e mínimo foram observados nas folhas (5,1) e nas raízes grossas 50 % ($0,1 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente (Figura 17a).

Os teores de Mn, em partes lenhosas (raízes, troncos e galhos) variaram de 5,8 a 272,0 mg kg^{-1} . Nas cascas das raízes, dos troncos e dos galhos grossos, a variação apresentada foi de 7,3 a 336,9 mg kg^{-1} . As folhas apresentaram o maior valor médio de $421,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 17b).

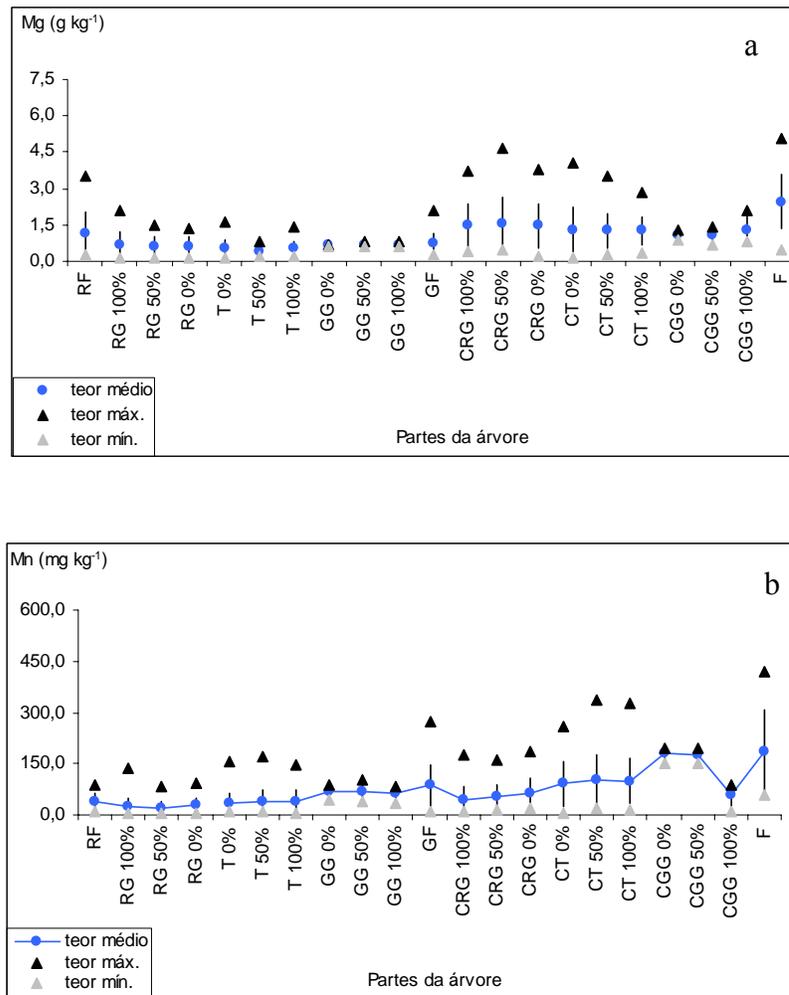


Figura 17. Distribuição dos teores de Mg (a) e Mn (b), nas partes* das árvores ($n=30$) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CCG0% + CCG50% + CCG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

Os valores médios dos teores de Fe variaram de 18,9 a 761,6 mg kg⁻¹ (nos galhos grossos 50 % e nas cascas das raízes grossas 50 %, respectivamente). Os valores médios de raízes finas foram: 288,9 mg kg⁻¹ > 79,9 (galhos finos) > 75,5 (folhas), valores inferiores ao da ZF-2 (Figura 18a).

Em partes lenhosas (raízes, troncos e galhos), os **teores de Cu**, apresentaram máxima de 6,1 nas raízes grossas 0 % e mínima de 0,5 mg kg⁻¹, nas raízes finas. Nas cascas, os teores apresentaram máxima de 22,7 (raízes grossas 100 %) e mínima de 2,8 mg kg⁻¹ (troncos 100 %). As folhas apresentaram valor médio de 6,9 mg kg⁻¹ (Figura 18b).

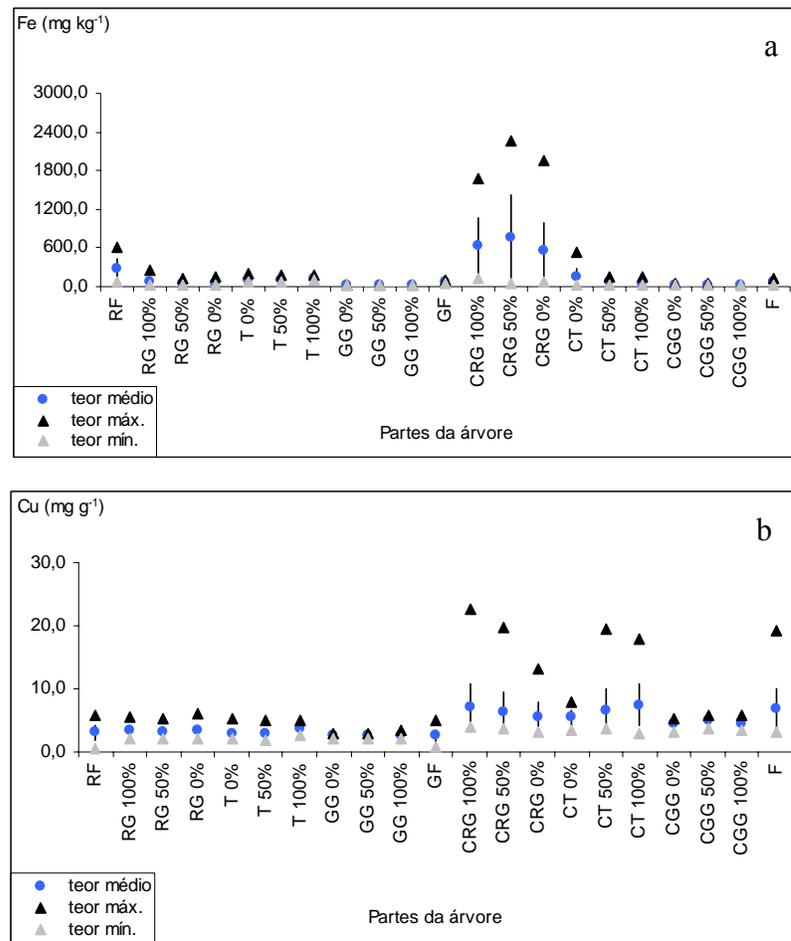


Figura 18. Distribuição dos teores de Fe (a) e Cu (b), nas partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* RF = raiz fina; RG0% + RG50% + RG100% = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; T0% + T50% + T100% = tronco na base + no meio + no topo; GG0% + GG50% + GG100% = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; GF = galhos finos; CRG0% + CRG50% + CRG100% = cascas das partes referentes a raiz grossa; CT0% + CT50% + CT100% = cascas das partes referentes ao tronco; CGG0% + CGG50% + CGG100% = cascas das partes referentes ao galho grosso; F= folhas.

As cascas dos troncos 100 % apresentaram o maior teor de Na (3340 mg kg^{-1}) e as cascas dos troncos 0 %, o menor teor (20 mg kg^{-1}). As folhas apresentaram valor médio de 830 mg kg^{-1} , sendo o maior valor médio das cascas das raízes grossas 50 % (1034 mg kg^{-1}) (Figura 19a).

Avaliando o Zn (mg kg^{-1}), os valores médios nas partes das árvores, na área da S-8, foram: 30,5 - cascas dos galhos grossos > 27,7 - cascas dos troncos > 22,5 - cascas das raízes grossas > 14,8 - folhas > 12,8 - troncos > 11,8 - raízes finas > 10,2 - galhos finos > 9,6 - raízes grossas > 8,7 - galhos grossos (Figura 19b).

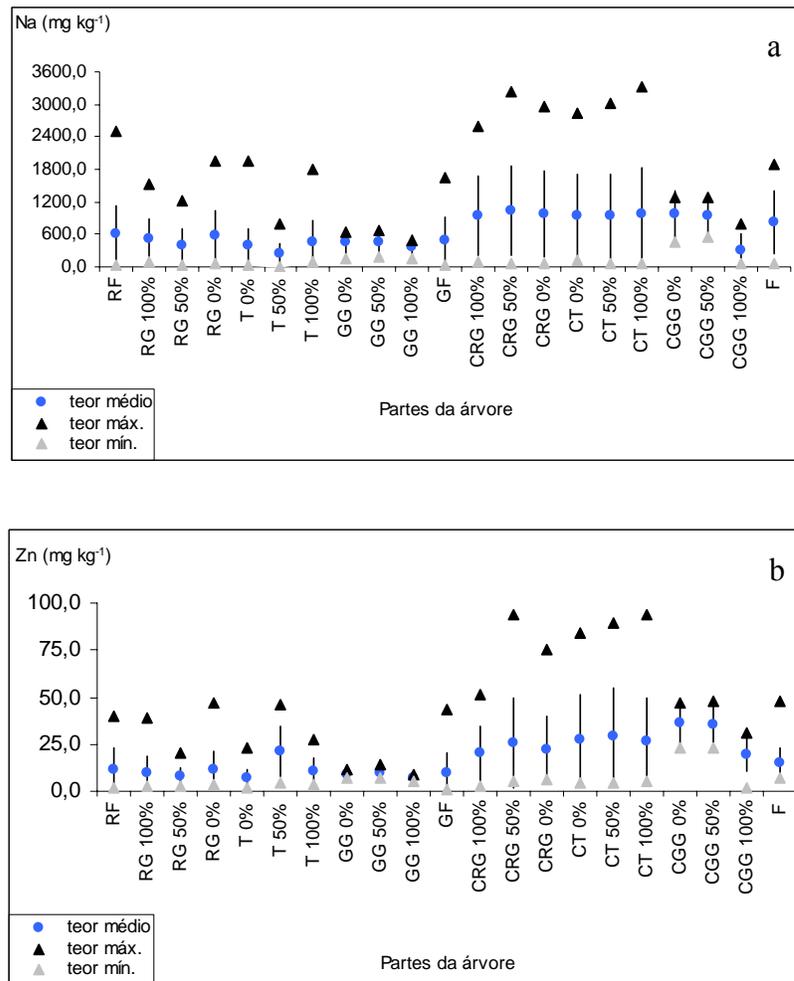


Figura 19. Distribuição dos teores de Na (a) e Zn (b), nas partes* das árvores ($n=30$) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM), com o desvio-padrão da média.

* **RF** = raiz fina; **RG0%** + **RG50%** + **RG100%** = raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; **T0%** + **T50%** + **T100%** = tronco na base + no meio + no topo; **GG0%** + **GG50%** + **GG100%** = galho grosso próximo ao tronco + no meio + próximo aos galhos finos; **GF** = galhos finos; **CRG0%** + **CRG50%** + **CRG100%** = cascas das partes referentes a raiz grossa; **CT0%** + **CT50%** + **CT100%** = cascas das partes referentes ao tronco; **CGG0%** + **CGG50%** + **CGG100%** = cascas das partes referentes ao galho grosso; **F**= folhas.

Tabela 5. Teores médios de nutrientes em 30 indivíduos, na floresta secundária da S-8/EEST (14 anos), (Manaus - AM).

S-8	C	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Na	Zn
	dag kg ⁻¹			g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹		
COMPARTIMENTO	TEORES MÉDIOS										
Raiz Fina	44,0	5,4	0,1	1,8	2,5	1,1	40,5	288,9	3,1	599,3	11,8
Raiz Grossa 0%	41,3	4,8	0,3	1,7	1,7	0,6	27,3	61,1	3,3	565,9	11,2
Raiz Grossa 50%	38,8	4,5	0,3	1,6	1,5	0,6	21,1	58,7	3,3	397,4	8,0
Raiz Grossa 100%	41,0	4,9	0,3	1,6	1,4	0,7	26,0	79,3	3,3	507,1	9,6
Tronco 100%	48,8	3,3	0,1	1,0	1,6	0,5	38,7	122,6	3,6	452,3	10,2
Tronco 50%	50,2	2,9	0,1	1,0	1,2	0,4	40,6	109,1	2,9	237,0	21,4
Tronco 0%	45,4	3,0	0,1	1,3	1,8	0,6	36,5	100,8	2,8	383,3	6,6
Galho Grosso 0%	50,7	5,1	0,2	1,0	1,2	0,7	70,0	20,6	2,6	443,3	8,7
Galho Grosso 50%	50,4	5,0	0,1	1,0	1,4	0,7	67,8	18,9	2,6	453,3	9,9
Galho Grosso 100%	50,1	6,9	0,1	0,9	1,0	0,7	61,9	19,1	2,7	376,7	7,5
Galho fino	50,4	5,6	0,2	2,0	3,8	0,8	85,9	79,9	2,6	500,0	10,2
Casca Raiz Grossa 0%	39,1	10,6	0,5	2,9	9,3	1,5	63,1	561,7	5,5	972,2	22,0
Casca Raiz Grossa 50%	38,1	10,3	0,4	3,4	6,4	1,5	52,2	761,6	6,2	1034,4	25,5
Casca Raiz Grossa 100%	35,9	9,1	0,4	2,6	6,4	1,5	45,4	633,2	7,0	947,6	19,9
Casca Tronco 100%	43,6	8,8	0,4	3,0	9,8	1,3	99,5	63,4	7,5	965,2	26,6
Casca Tronco 50%	41,1	8,5	0,2	2,0	9,4	1,3	101,8	73,9	6,6	933,1	28,9
Casca Tronco 0%	44,9	9,3	0,2	2,1	11,7	1,3	90,7	145,3	5,5	937,9	27,8
Casca Galho Grosso 0%	51,5	5,0	0,1	3,1	6,9	1,1	179,3	29,3	4,4	366,7	36,0
Casca Galho Grosso 50%	47,8	3,8	0,3	2,7	6,6	1,1	175,6	37,5	4,9	956,7	35,5
Casca Galho Grosso 100%	51,7	7,1	0,3	3,3	6,4	1,3	56,9	24,8	4,5	313,3	19,9
Folha	50,8	20,3	0,7	4,7	4,9	2,5	185,2	75,5	6,9	830,0	14,8
SOMA	955,5	144,2	5,5	44,6	96,9	21,6	1566	3365	92	13173	372,0
Média	45,5	6,9	0,3	2,1	4,6	1,0	75	160	4,4	627	17,7

1.4.2.3 Ordem de distribuição dos teores médios de nutrientes nas partes das árvores da ZF-2 (EEST)

Na área de capoeira da ZF-2 (23 anos), as folhas apresentaram os maiores teores médios para sete nutrientes (C, N, P, K, Mg, Mn e Cu) e as cascas para os demais nutrientes (Ca, Fe, Na e Zn). Já os galhos grossos apresentaram os menores teores médios em sete nutrientes (K, Ca, Mg, Mn, Fe, Na e Zn) (Tabela 6).

Tabela 6. Distribuição decrescente dos teores médios de onze nutrientes, em nove partes das árvores, na floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).

<i>Nutriente</i>	<i>Partes das árvores</i>
C	F>GF>CGG>T>GG>RF>CT>RG>CRG
N	F>CT>CRG>CGG>RG>GF>RF>GG>T
P	F>CRG>RG>GF>CT>CGG>T>GG>RF
K	F>CRG>GF=CGG>RG>CT>RF>T>GG
Ca	CT>CRG>CGG>F>GF>RG>RF>T>GG
Mg	F>CRG>CT>RF>CGG>RG>GF>T>GG
Mn	F>GF>CT>CGG>T>RF>CRG>RG>GG
Fe	CRG>RF>T>RG>CT>F>GF>CGG>GG
Cu	F>CRG>CT>CGG>RG>RF>T>GG>GF
Na	CRG>CT>RG>RF>F>GF>T>CGG>GG
Zn	CT>CRG>CGG>F>RG>RF>GF>T>GG

F= folhas; GF= galho Fino; GG= galho grosso; T= tronco; RF= raiz fina; RG= raiz grossa; CGG= casca do galho grosso; CT= casca do tronco; CRG= casca da raiz grossa.

1.4.2.4 Ordem de distribuição dos teores médios de nutrientes nas partes das árvores da S-8 (EEST)

Na área de capoeira da S-8 (14 anos), assim como para a área da ZF-2, os maiores teores médios foram apresentados pelas folhas, para os mesmos sete nutrientes (C, N, P, K, Mg, Mn e Cu) e as cascas para os demais nutrientes (Ca, Fe, Na e Zn). Os troncos apresentaram os menores teores médios em quatro nutrientes (N, P, Mg e Na), enquanto que na ZF-2, essa parte da árvore, só apareceu com o menor teor médio para o N. Os galhos grossos apresentaram os menores teores para os nutrientes K, Ca, Fe e Zn (Tabela 7).

Tabela 7. Distribuição decrescente dos teores médios de onze nutrientes, em nove partes das árvores, na floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).

<i>Nutrientes</i>	<i>Partes das árvores</i>
C	F>GG=GF>CGG>T>RF>CT>RG>CRG
N	F>CRG>CT>GG>GF>RF>CGG>RG>T
P	F>CRG>RG>CT>CGG>GF>GG>RF>T
K	F>CGG>CRG>CT>GF>RF>RG>T>GG
Ca	CT>CRG>CGG>F>GF>RF>RG>T>GG
Mg	F>CRG>CT>CGG>RF>GF>GG>RG>T
Mn	F>CGG>CT>GF>GG>CRG>RF>T>RG
Fe	CRG>RF>T>CT>GF>F>RG>CGG>GG
Cu	F>CT>CRG>CGG>RG>T>RF>GG>GF
Na	CRG>CT>F>RF>CGG>GF>RG>GG>T
Zn	CGG>CT>CRG>F>T>RF>GF>RG>GG

F= folhas; GF= galho Fino; GG= galho grosso; T= tronco; RF= raiz fina; RG= raiz grossa; CGG= casca do galho grosso; CT= casca do tronco; CRG= casca da raiz grossa.

1.4.2.5 Análise estatística dos teores de nutrientes nas partes das árvores

É importante ressaltar, que na análise estatística descrita a seguir os galhos grossos e suas cascas não foram incluídos, por falta de repetição. Apenas seis árvores, das 60 sorteadas, apresentaram galhos grossos ($DAP \geq 10$ cm), uma característica de áreas de florestas secundárias, que apresentam indivíduos de baixo porte, por conseguinte pequenos diâmetros e, todavia em desenvolvimento.

Nesse contexto, avaliando os teores, houve diferença altamente significativa ($p < 0,001$), para todos os nutrientes analisados em diferentes partes do indivíduo arbóreo (folhas, galhos finos, raízes finas, sub-amostras de troncos - 0 %, 50 %, 100 % e de raízes grossas - 0 %, 50 %, 100 %) (Figura 20 - C, N; 21 - P, K, Ca e Mg; 22 - Mn, Fe, Cu e Na; 23 - Zn).

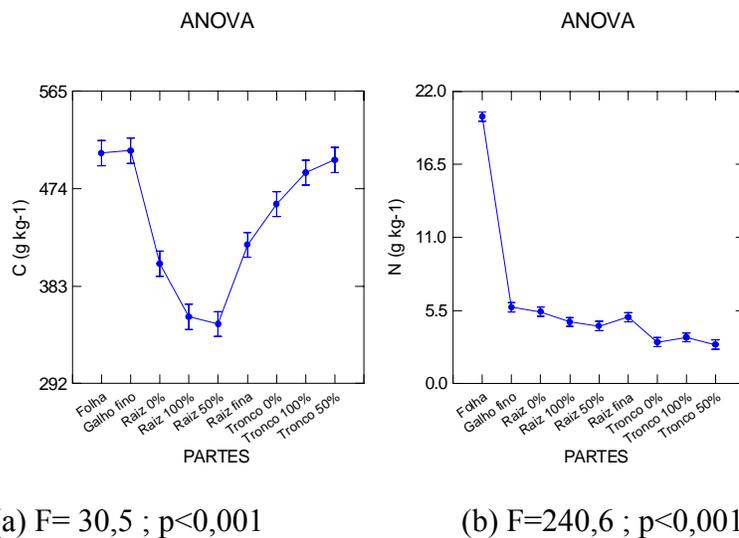


Figura 20. Média e desvio padrão ($n=30$) dos teores de nutrientes ($g\ kg^{-1}$) em nove partes* das árvores, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) C, (b) N. Os valores de F e p correspondem a uma ANOVA simples feita entre os teores das nove partes das árvores estudadas.

* Partes da árvore: raízes finas; raízes grossas 0% + 50% + 100% = próxima à superfície + no meio + maior profundidade; troncos 0% + 50% + 100% = na base + no meio + no topo; galhos finos; folhas.

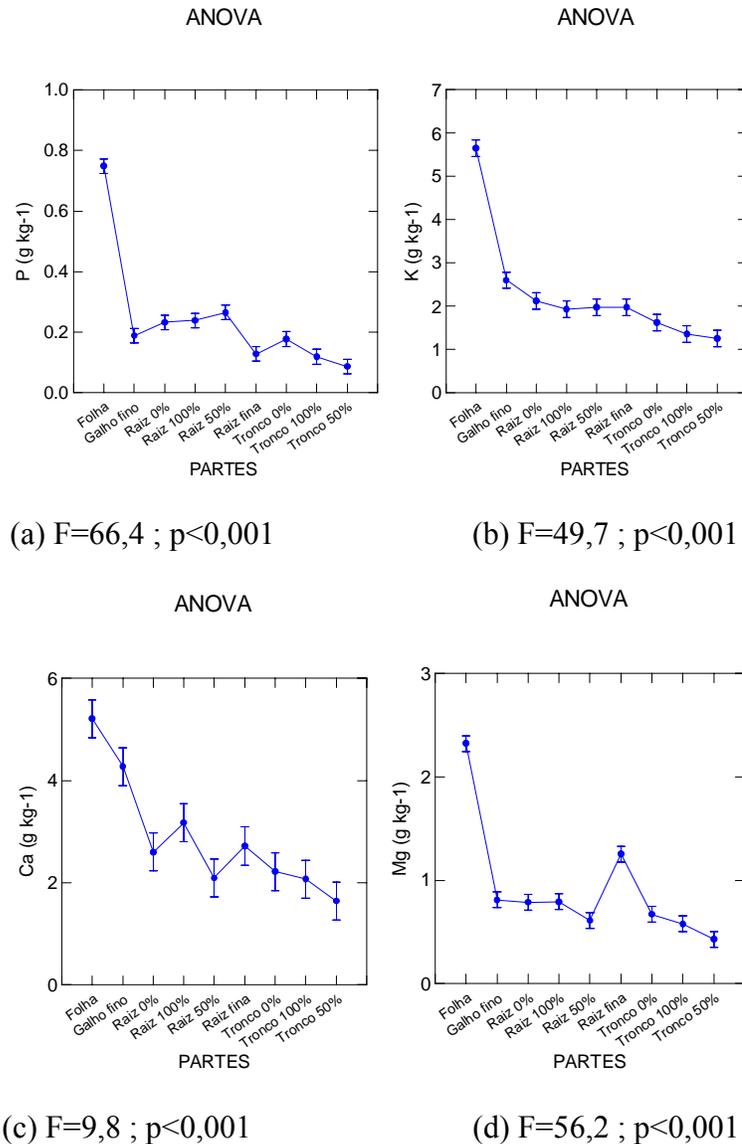


Figura 21. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg⁻¹) em nove partes* das árvores, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** P, **(b)** K, **(c)** Ca, **(d)** Mg. Os valores de F e p correspondem a uma ANOVA simples feita entre os teores das nove partes das árvores estudadas.

* **Partes da árvore:** raízes finas; raízes grossas 0% + 50% + 100% = próxima à superfície + no meio + maior profundidade; troncos 0% + 50% + 100% = na base + no meio + no topo; galhos finos; folhas.

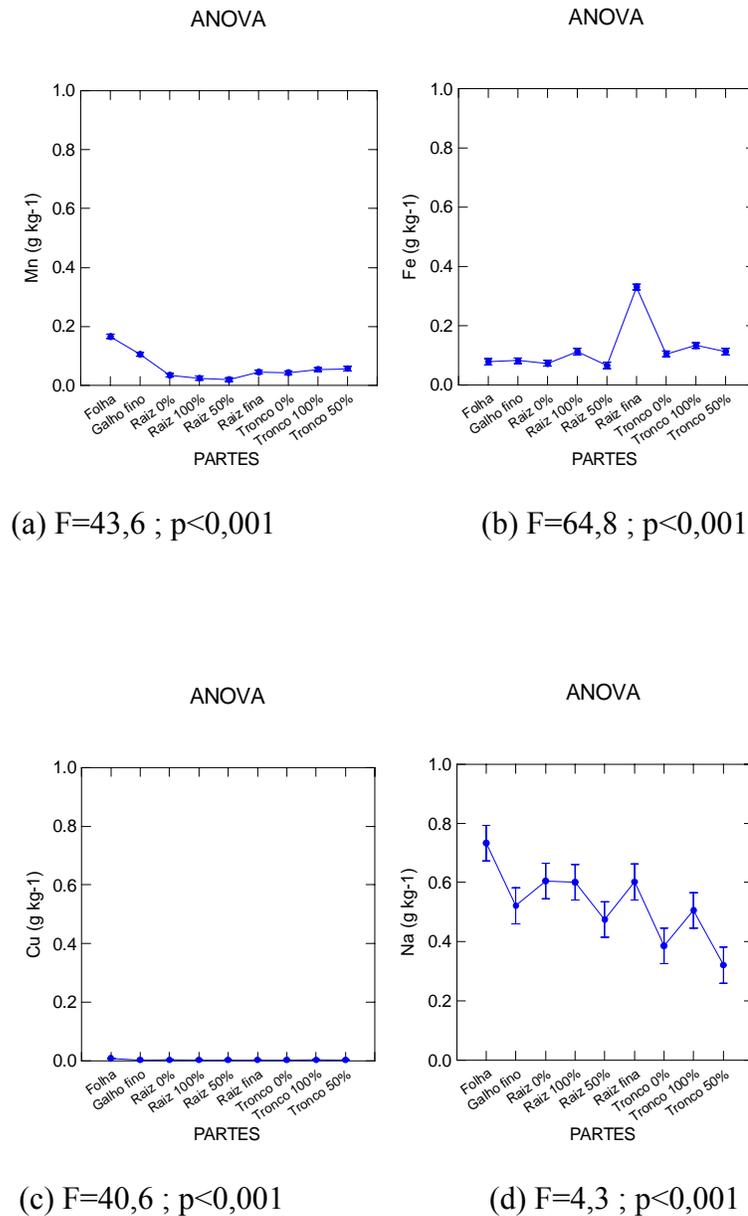
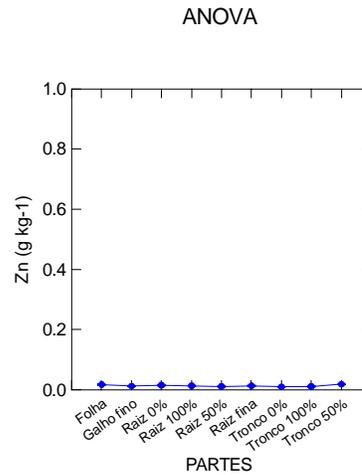


Figura 22. Média e desvio padrão ($n=30$) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em nove partes* das árvores, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Mn, **(b)** Fe, **(c)** Cu e **(d)** Na. Os valores de F e p correspondem a uma ANOVA simples feita entre os teores das nove partes das árvores estudadas.

* **Partes da árvore:** raízes finas; raízes grossas **0%** + **50%** + **100%** = próxima à superfície + no meio + maior profundidade; troncos **0%** + **50%** + **100%** = na base + no meio + no topo; galhos finos; folhas.



(a) $F=3,9$; $p<0,001$

Figura 23. Média e desvio padrão ($n=30$) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em nove partes* das árvores, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Zn. Os valores de F e p correspondem a uma ANOVA simples feita entre os teores das nove partes das árvores estudadas.

* **Partes da árvore:** raízes finas; raízes grossas **0%** + **50%** + **100%** = próxima à superfície + no meio + maior profundidade; troncos **0%** + **50%** + **100%** = na base + no meio + no topo; galhos finos; folhas.

1.4.2.6 Análise estatística dos teores de nutrientes nas cascas das árvores

Para os mesmos onze nutrientes, foram testados, os teores (g kg^{-1}) das cascas dos troncos e das cascas das raízes grossas. Dessa forma, foi observada diferença altamente significativa ($p < 0,001$) para os nutrientes C, N, P, Ca, Fe e Mn e diferença significativa ($p < 0,05$) para o elemento K (Figura 24 - C, N, P e K; 25 - Ca, Mg, Mn e Fe; 26 - Cu, Na e Zn).

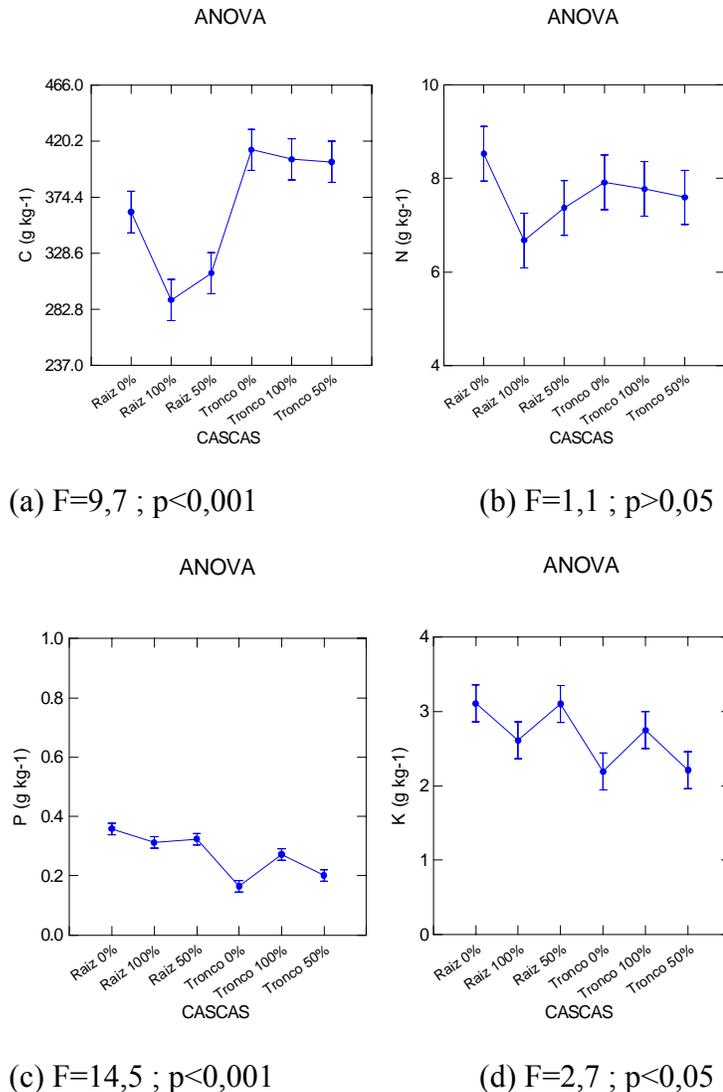


Figura 24. Média e desvio padrão ($n=30$) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em seis cascas* de materiais lenhosos, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** C, **(b)** N, **(c)** P, **(d)** K.

* Cascas: Raiz 0% + 50% + 100% = casca da raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; Tronco 0% + 50% + 100% = casca tronco na base + no meio + no topo.

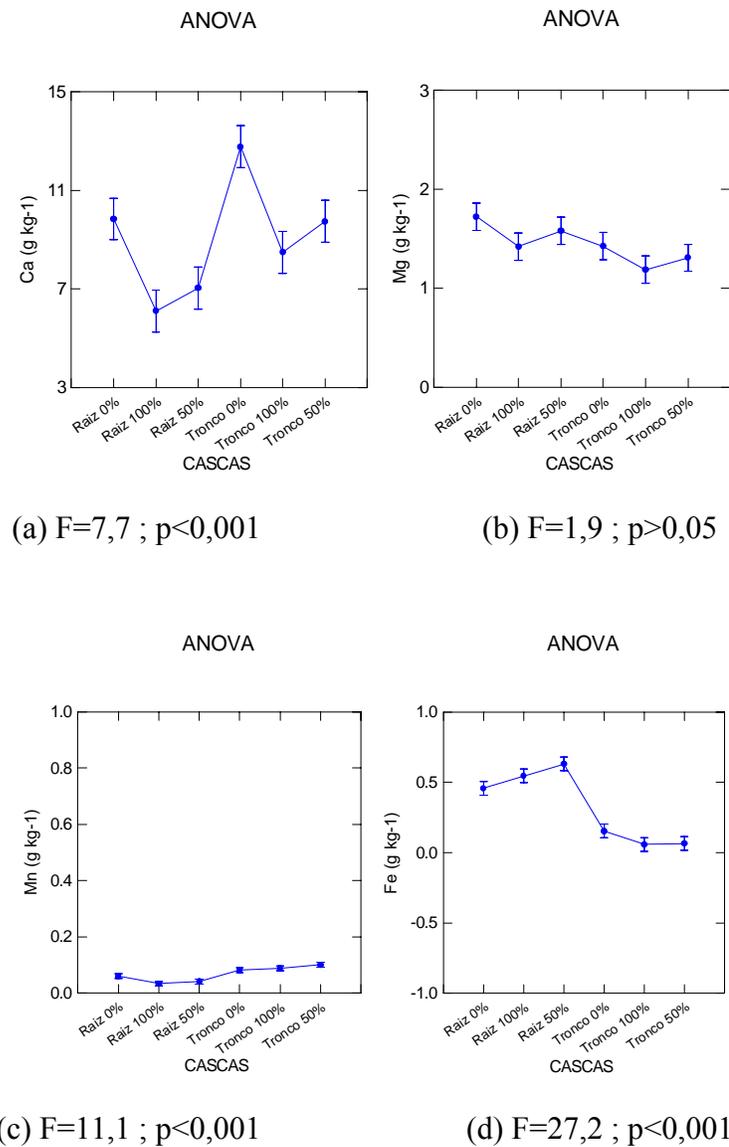


Figura 25. Média e desvio padrão (n=30) dos teores de nutrientes (g kg⁻¹) em seis cascas* de materiais lenhosos, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Ca, **(b)** Mg, **(c)** Mn, **(d)** Fe.

* **Cascas:** Raiz 0% + 50% + 100% = casca da raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; Tronco 0% + 50% + 100% = casca tronco na base + no meio + no topo.

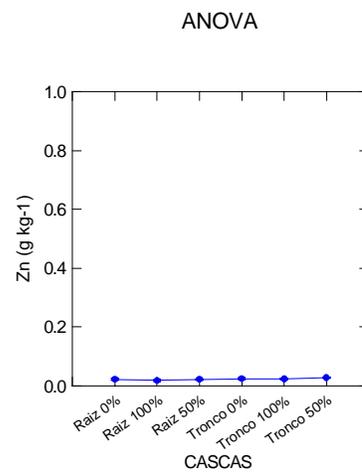
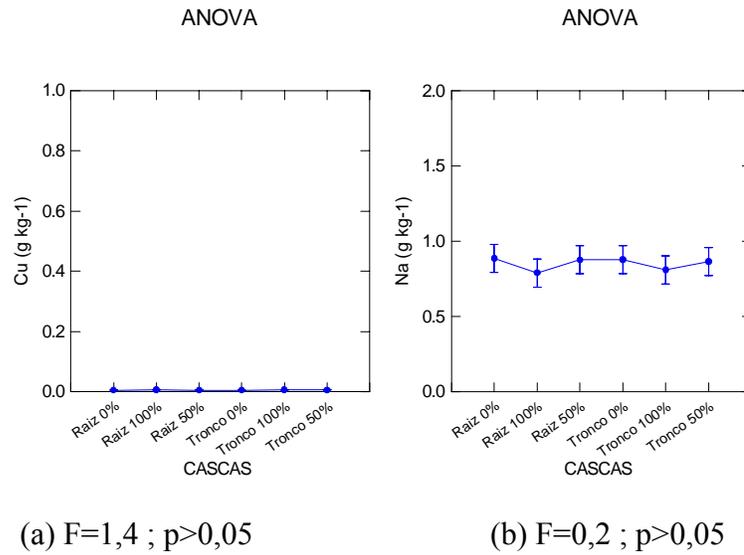


Figura 26. Média e desvio padrão ($n=30$) dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em seis cascas de materiais lenhosos, nas duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Cu, **(b)** Na, **(c)** Zn.

*Cascas: **Raiz 0% + 50% + 100%** = casca da raiz grossa próxima à superfície + no meio + maior profundidade; **Tronco 0% + 50% + 100%** = casca tronco na base + no meio + no topo.

1.4.3 Estoques de nutrientes em partes das árvores

1.4.3.1 Floresta Secundária da ZF-2

Na ZF-2, os estoques de C, em indivíduos arbóreos, variaram de 0,03 a 214 kg⁻¹, onde os menores estoques foram verificados nas folhas (Figura 27a).

Os estoques de N variaram de 0,01 (folhas) a 23,1 g kg⁻¹ (troncos). As raízes finas apresentaram máximas de 0,63 e mínimas de 0,008 (Figura 27b).

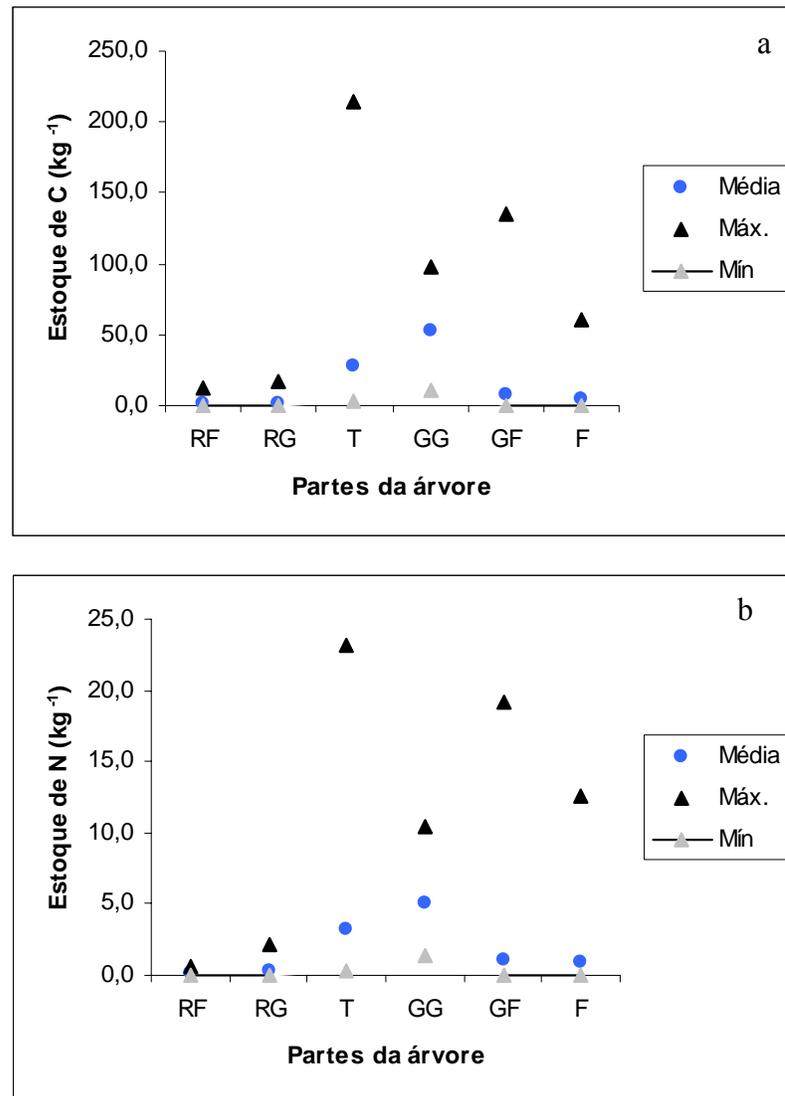


Figura 27. Distribuição dos estoques de C (a), N (b), em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

A média dos **estoques de P**, foram dados na seguinte ordem: 0,003 (raízes finas), 0,014 (raízes grossas), 0,132 (troncos), 0,169 (galhos grossos), 0,035 (galhos finos) e 0,032 g kg⁻¹ (folhas) (Figura 28a).

Para a área da ZF-2, os estoques médios de **K**, em partes aéreas foram: 1,50; 3,35; 0,47; 0,31 g kg⁻¹ (troncos; galhos grossos; galhos finos; folhas, respectivamente) (Figura 28b).

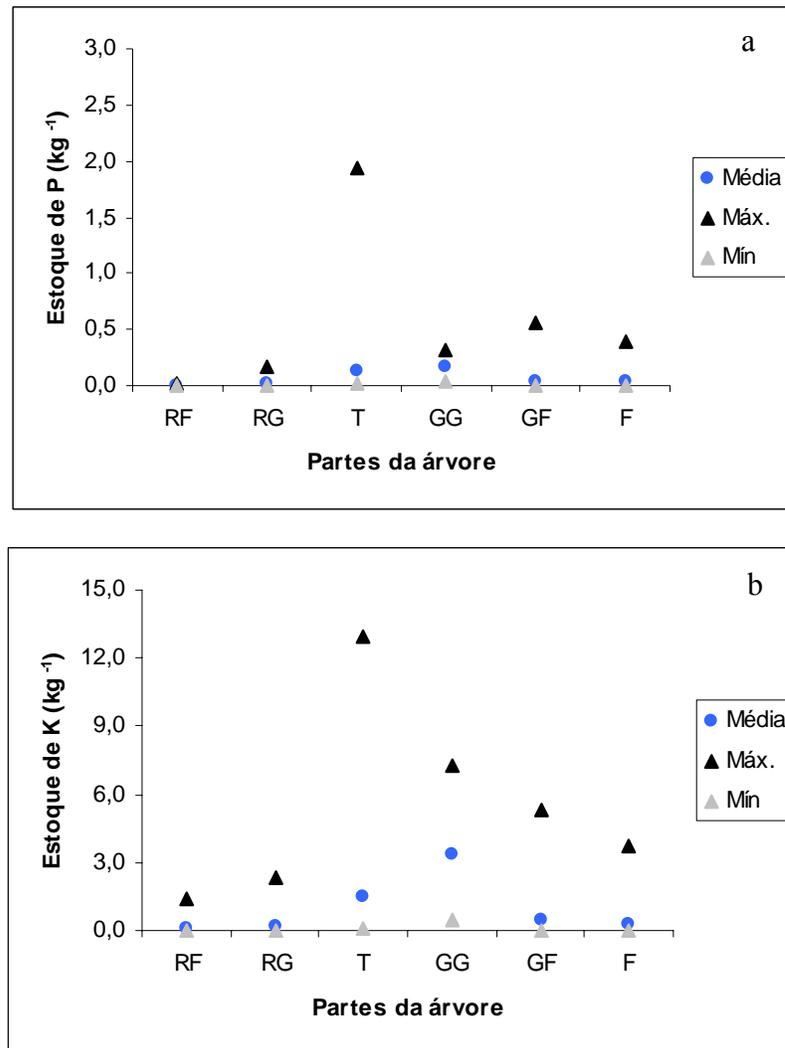


Figura 28. Distribuição dos estoques de P **(a)** e K **(b)**, em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

No tocante ao **Ca**, os estoques médios, em partes subterrâneas foram de: 0,08 (raízes finas) e 0,20 (raízes grossas), com valores variando de 0,005 a 1,515 (kg⁻¹) (Figura 29a).

Para os estoques de **Mg**, os valores máximo e mínimo foram de 0,002 e 4,378 kg⁻¹. Os valores médios para os estoques de raízes (finas e grossas) foram de 0,061 e para a copa (considerando galhos finos e grossos e folhas) um valor médio de 0,334 kg⁻¹ (Figura 29b).

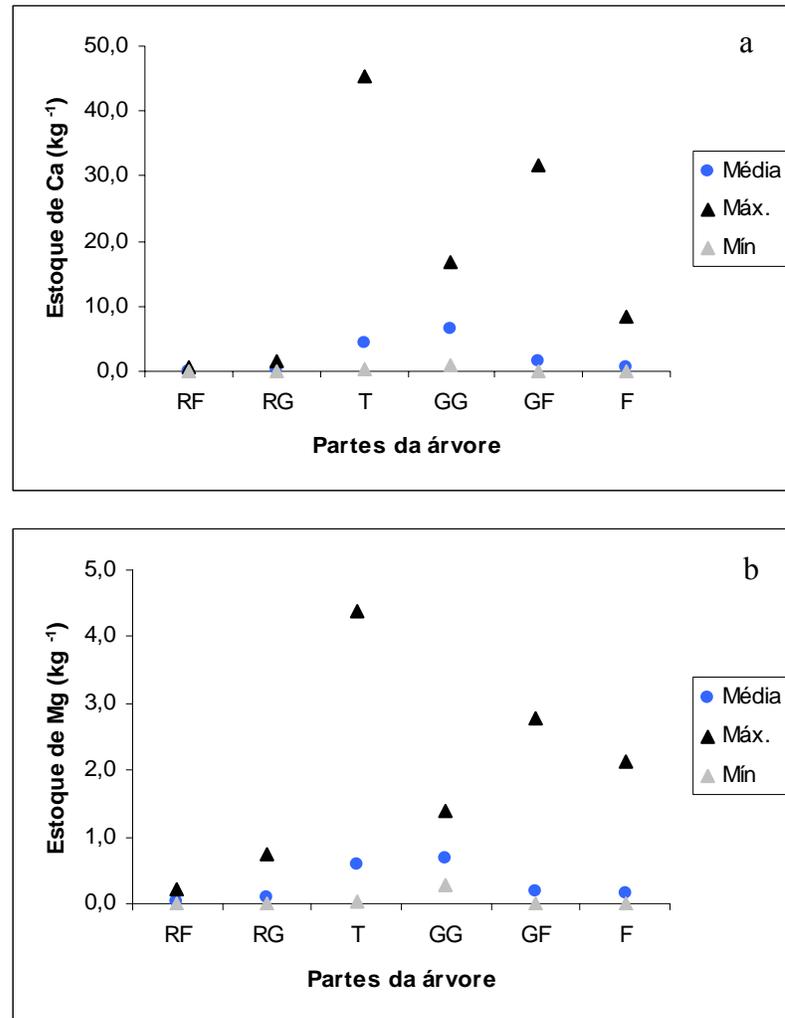


Figura 29. Distribuição dos estoques de Ca **(a)** e Mg **(b)**, em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

Avaliando o **Mn** (kg⁻¹), os estoques médios se dividiram em: 0,009 (folhas), 0,003 (galhos), 0,038 (troncos) e 0,001 (raízes) (Figura 30a).

As máximas, dos **estoques de Fe**, foram dadas na seguinte ordem (decrecente): 0,388 (troncos), 0,287 (raízes grossas), 0,249 (galhos finos), 0,157 (folhas), 0,063 (raízes finas) e 0,051 kg^{-1} (galhos grossos) (Figura 30b).

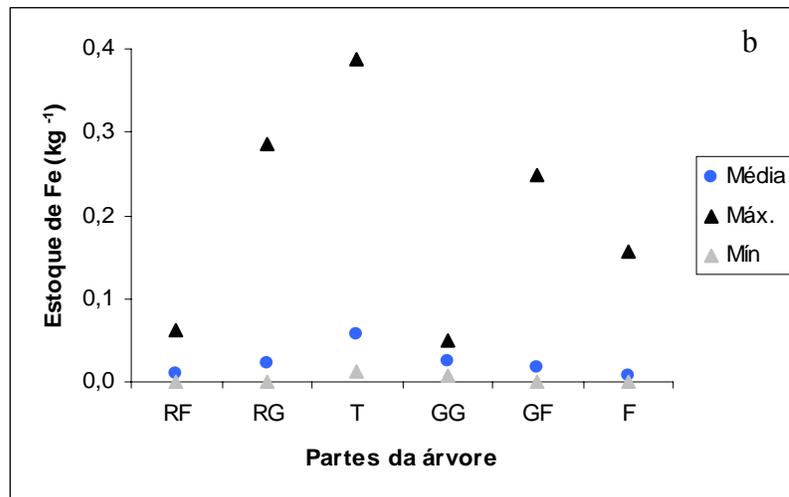
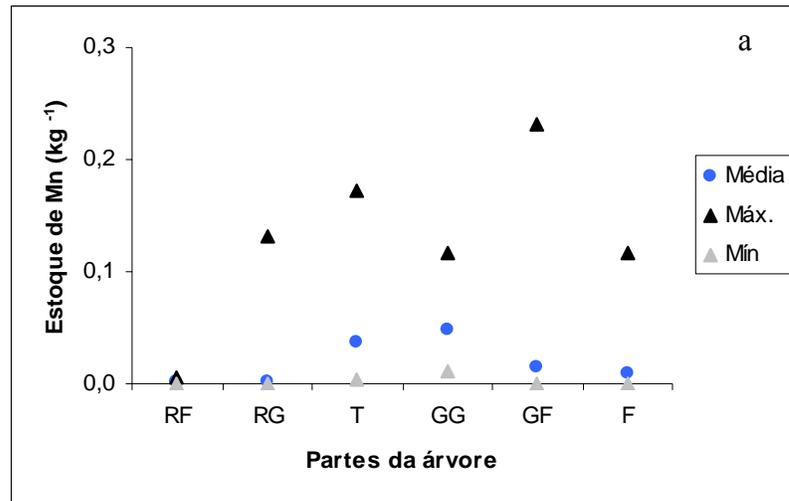


Figura 30. Distribuição dos estoques de Mn (a) e Fe (b), em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

As mínimas, dos **estoques de Cu** (kg^{-1}), se distribuíram em: 0,0008 (galhos grossos), 0,0003 (troncos), 0,00002 (galhos finos) e 0,00001 (folhas e raízes) (Figura 31a).

Para o **Na**, a máxima foi dada pelos troncos (1,32) e a mínima pelas folhas (0,0002 kg⁻¹), sendo os estoques médios, dos troncos, 0,29 e das folhas, 0,07 kg⁻¹ (Figura 31b).

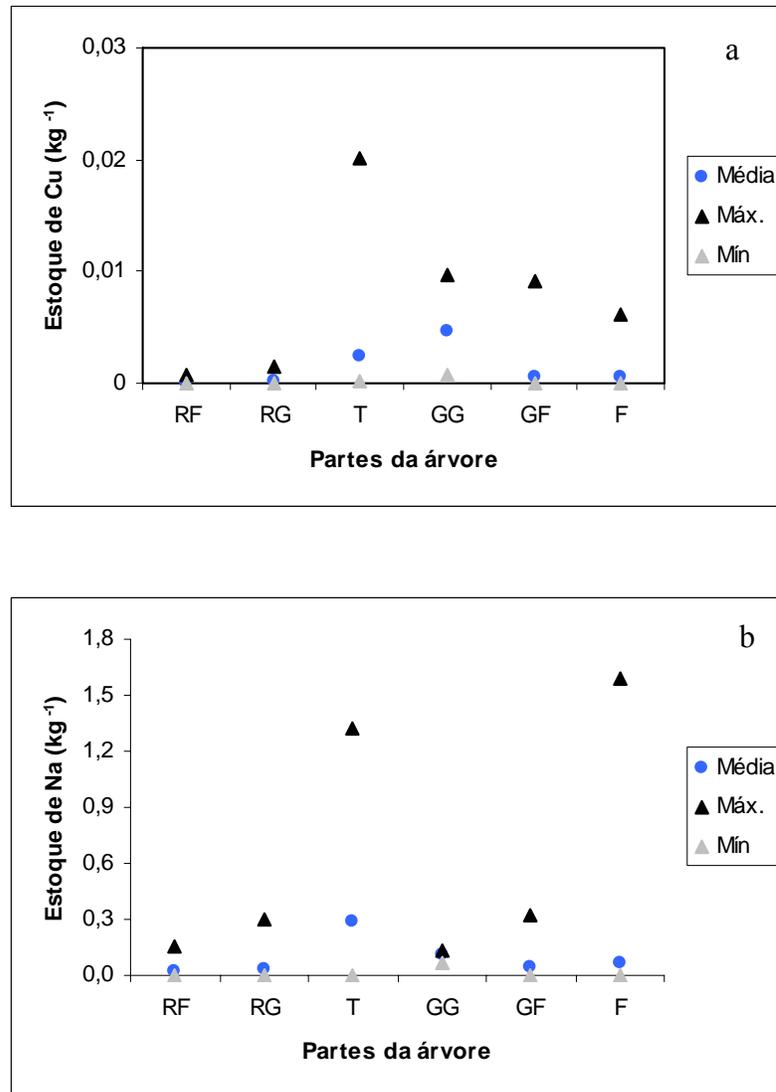


Figura 31. Distribuição dos estoques de Cu **(a)** e Na **(b)**, em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

Os estoques médios de **Zn** (kg⁻¹) foram: 0,0003 (raízes finas), 0,0011 (raízes grossas), 0,0093 (troncos), 0,0088 (galhos grossos), 0,0016 (galhos finos) e 0,0021 (folhas) (Figura 32a).

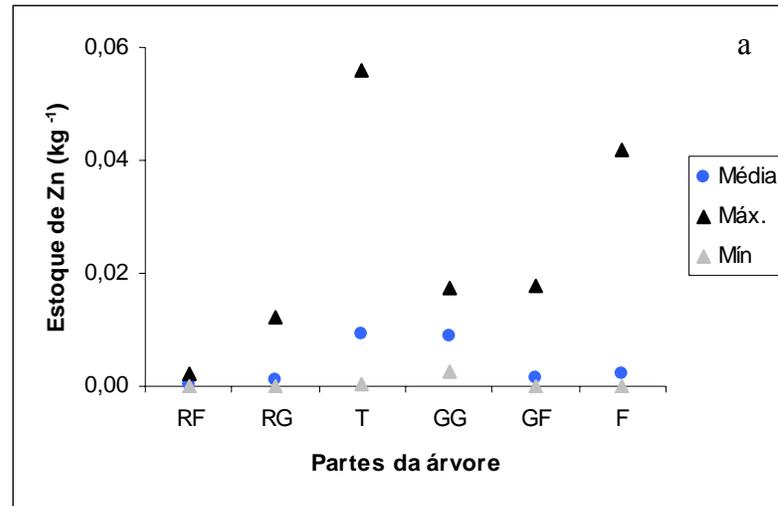


Figura 32. Distribuição dos estoques de Zn (a), em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da ZF-2/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

1.4.3.2 Floresta Secundária da S-8

Na floresta secundária da S-8, os **estoques de C**, nas árvores, variaram entre 0,07 e 22,2 kg⁻¹ nas raízes grossas, com o menor estoque apresentado pela mesma e o maior estoque apresentado pelos troncos (223 kg⁻¹) (Figura 33a).

Observando o **N**, seus estoques variaram entre 0,01 (raízes finas) e 13,8 kg⁻¹ (troncos). Os galhos grossos apresentaram máxima de 13,1 e mínima de 0,52 kg⁻¹, enquanto que os galhos finos apresentaram máxima de 5,65 e mínima de 0,06 kg⁻¹ (Figura 33b).

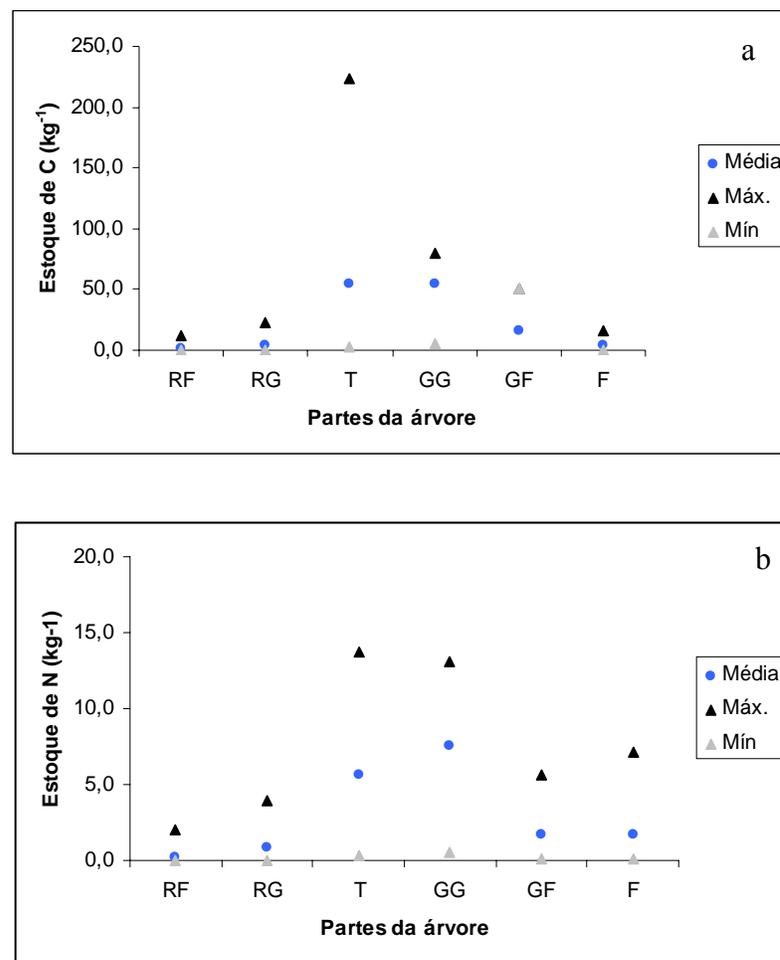


Figura 33. Estoques de C **(a)** e N **(b)**, em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

A média dos **estoques de P** foram: 0,005 (raízes finas), 0,043 (raízes grossas), 0,182 (troncos), 0,200 (galhos grossos), 0,058 (galhos finos) e 0,068 kg⁻¹ (folhas) (Figura 34a).

Para a área da ZF-2, os estoques médios de **K**, na biomassa aérea foram: 2,11; 2,08; 0,53; 0,41 kg⁻¹ (troncos; galhos grossos; galhos finos; folhas, respectivamente) (Figura 34b).

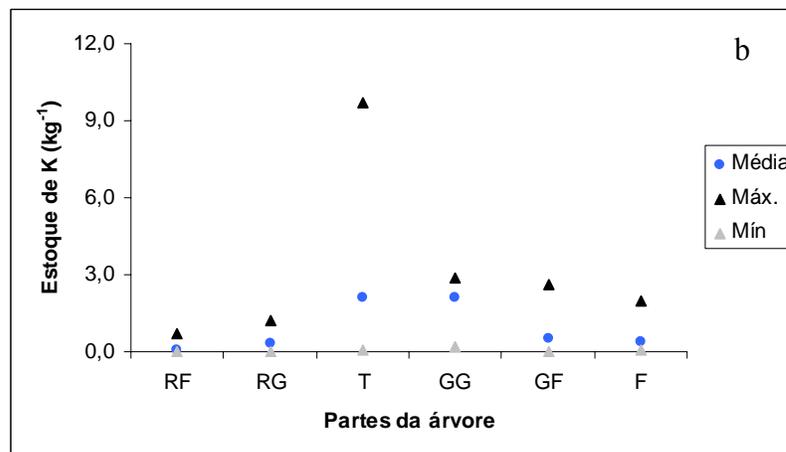
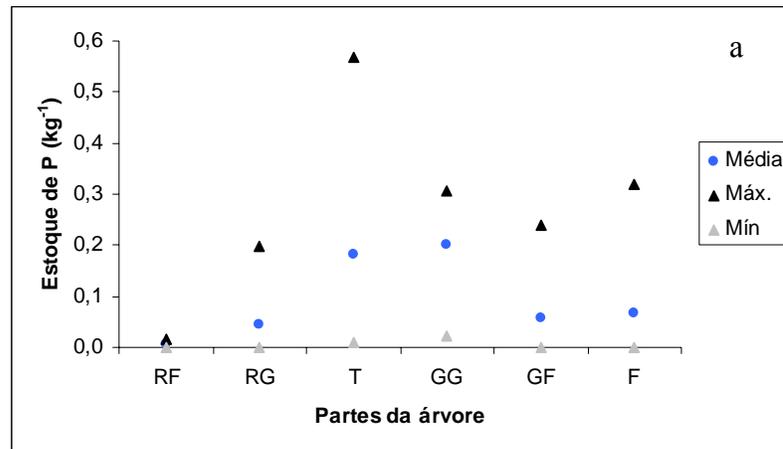


Figura 34. Estoques de P **(a)** e K **(b)**, em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

Os estoques médios de **Ca**, na biomassa subterrânea foram de: 0,08 (raízes finas) e 0,40 (raízes grossas), com valores variando de 0,002 a 1,232 (kg⁻¹) (Figura 35a).

Para os estoques de **Mg**, os valores máximo e mínimo foram de 0,0006 a 3,15 kg⁻¹. O valor médio, para os estoques de raízes (finas e grossas) foi de 0,079 e para a copa (considerando galhos finos e grossos e folhas) um valor médio de 0,538 kg⁻¹ (Figura 35b).

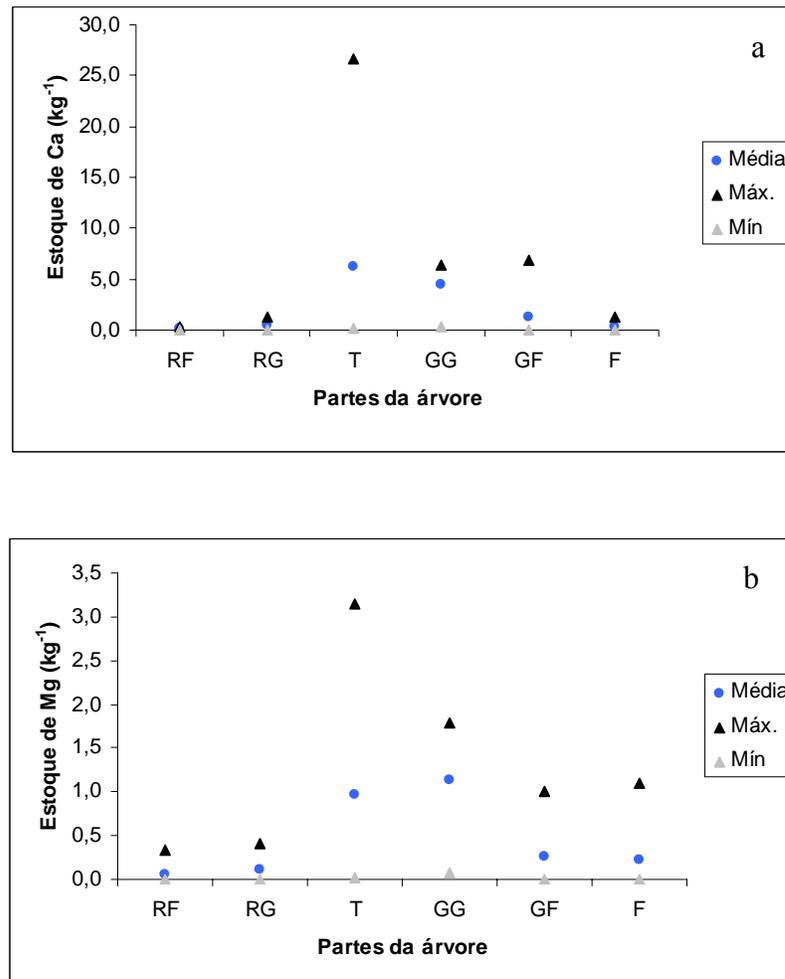


Figura 35. Estoques de Ca **(a)** e Mg **(b)**, em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

Os estoques médios de Mn (kg⁻¹) se dividiram em: 0,018 (folhas), 0,086 (galhos), 0,084 (troncos) e 0,003 (raízes) (Figura 36a).

As máximas, dos **estoques de Fe**, foram dadas na seguinte ordem (decrecente): 0,663 (troncos), 0,407 (raízes grossas), 0,120 (raízes finas), 0,085 (galhos finos), 0,047 (galhos grossos) e 0,026 kg⁻¹ (folhas) (Figura 36b).

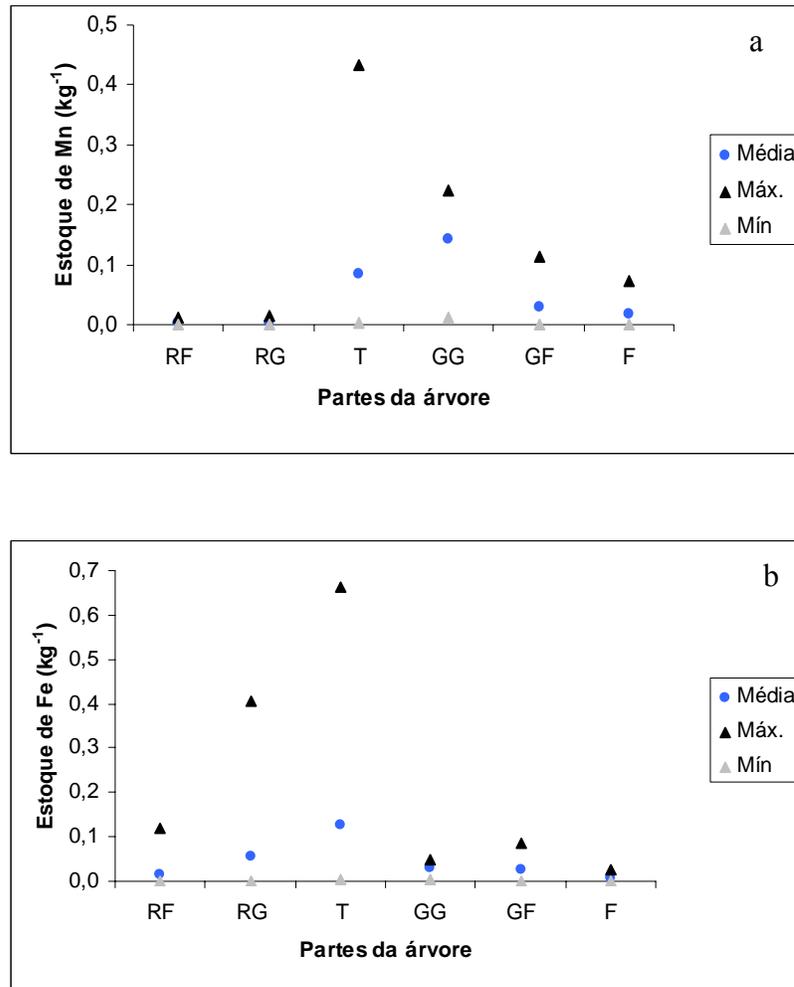


Figura 36. Estoques de Mg (a) e Fe (b), em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

Já, as mínimas, dos **estoques de Cu** (kg⁻¹), se distribuíram em: 0,0004 (galhos grossos), 0,0003 (troncos), 0,00003 (folhas), 0,00001 (galhos finos e raízes) (Figura 37a).

Para o **Na**, a máxima foi dada pelos troncos (2,33) e a mínima pelas raízes finas (0,0001 kg⁻¹), sendo os estoques médios, dos troncos, 0,73 e das raízes finas, 0,03 kg⁻¹ (Figura 37b).

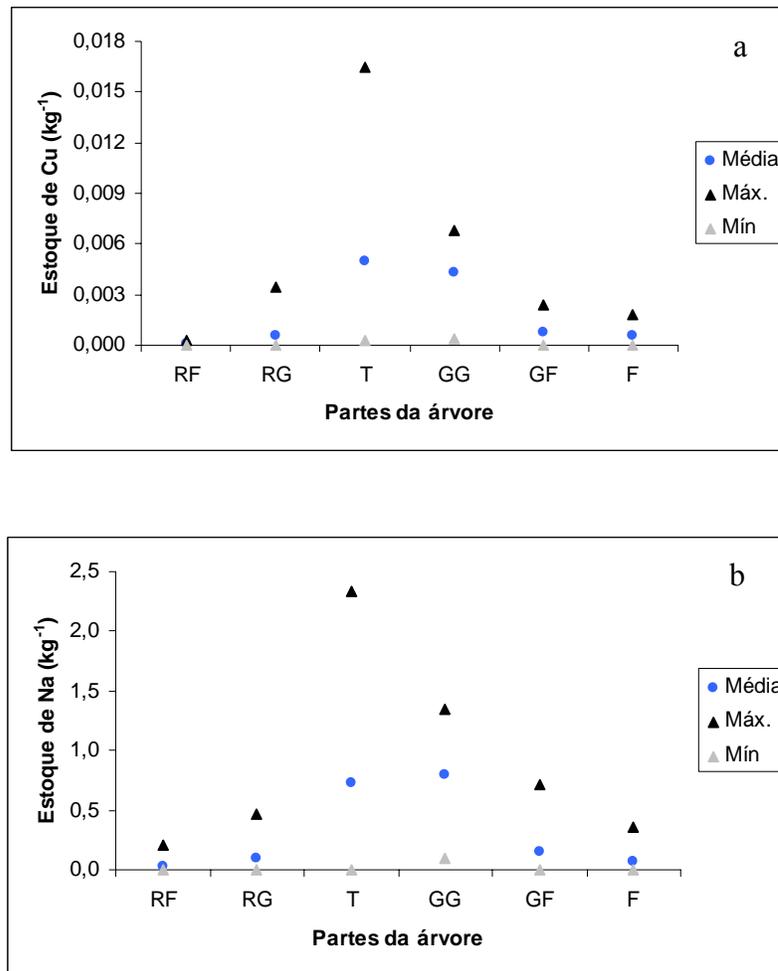


Figura 37. Estoques de Cu (a) e Na (b), em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

Os estoques médios de **Zn** apresentaram a seguinte ordem: 0,0281 (galhos grossos) > 0,0246 (troncos) > 0,0046 (galhos finos) > 0,0022 (raízes grossas) > 0,0017 (folhas) > 0,0006 (raízes finas) (Figura 38a).

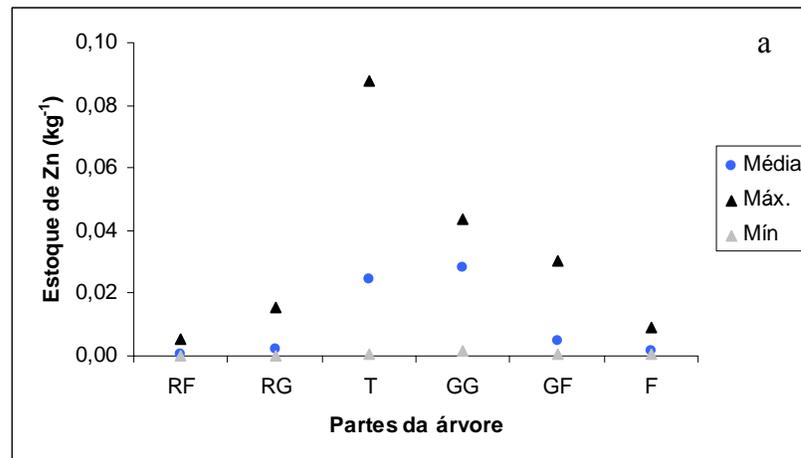


Figura 38. Distribuição dos estoques de Zn (a), em seis partes* das árvores (n=30) da floresta secundária da S-8/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF=raízes fina; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

1.4.3.3 Distribuição percentual dos estoques de nutrientes nas partes das árvores da ZF-2

Na figura 39, temos as porcentagens dos estoques de nutrientes, em partes da planta que variaram de 0,6 (raízes finas) a 56,6 (galhos grossos). Na área da ZF-2, o **C** apresentou maior porcentagem para o galho grosso (55,4) e a menor para a raiz fina (1,3). Avaliando a biomassa subterrânea, o **N** apresentou percentuais de 1,1 (raízes finas) e 2,5 (raízes grossas). Para o **P**, sua biomassa aérea apresentou estoques de: 34,2 (troncos), 43,8 (galhos grossos), 9,1 (galhos finos) e 8,4 (folhas). O **K** apresentou a maior % para os galhos grossos (56,6). Analisando o **Ca**, apresentou a menor porcentagem de todos os nutrientes para a raiz grossa (1,5) e para as folhas (4,6). O **Mg** mostrou os três menores percentuais para as seguintes partes da árvore: folhas (8,7), raízes grossas (4,9) e raízes finas (2,1).

Avaliando os micronutrientes, o **Mn** mostrou a menor porcentagem, de todos os nutrientes nas raízes finas (1,5) e a maior para os galhos finos (13,1). Para partes das plantas, as maiores porcentagens de **Fe** se concentraram nas raízes grossas (16 %) e as menores nos galhos grossos (18,4). O **Cu** apresentou, para os galhos finos, a menor porcentagem dos seus estoques (5,7). O **Na** apresentou a maior porcentagem de todos os nutrientes, para os troncos (50,4) e para as folhas (12,5). Observando o **Zn**, em suas “amostras a granel”, temos: 44 % para as raízes finas, 7,1 % para os galhos finos e 8,9 % para as folhas (Figura 39).

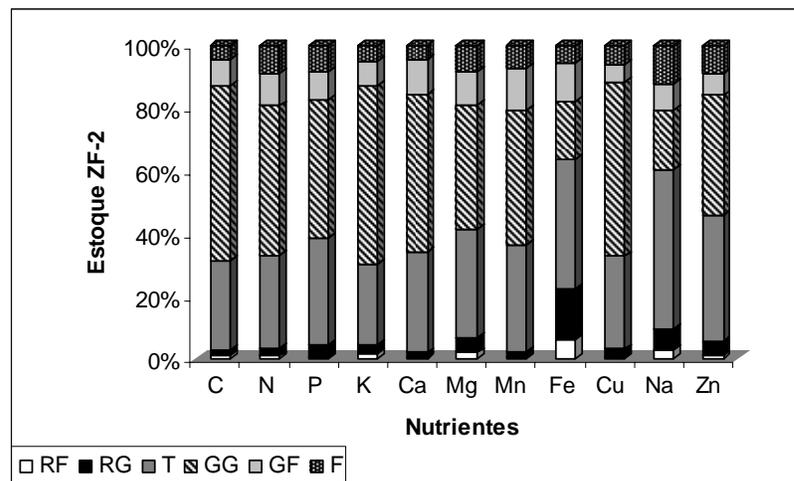


Figura 39. Distribuição percentual dos estoques de nutrientes (kg^{-1}), em partes* das árvores, da floresta secundária ZF-2/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF = raízes finas; RG = raízes grossas; T=troncos; GG= galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

1.4.3.4 Distribuição percentual dos estoques de nutrientes nas partes das árvores da S-8

As maiores porcentagens, em partes da árvore foram dadas em: raízes finas (5,7 - Fe), raízes grossas (21,2 - Fe), troncos (48,4 - Ca), galhos grossos (51,4 - Mn), galhos finos (11,9 - C) e folhas (12,3 - P) (Figura 35). Já, os menores valores foram apresentados para as seguintes partes da árvore: raízes finas (0,6 - Mn), raízes grossas (3,1 - Ca), troncos (3,2 - N), galhos grossos (11,6 - Fe), galhos finos (7,1 - Cu) e folhas (2,4 - Fe) (Figura 40).

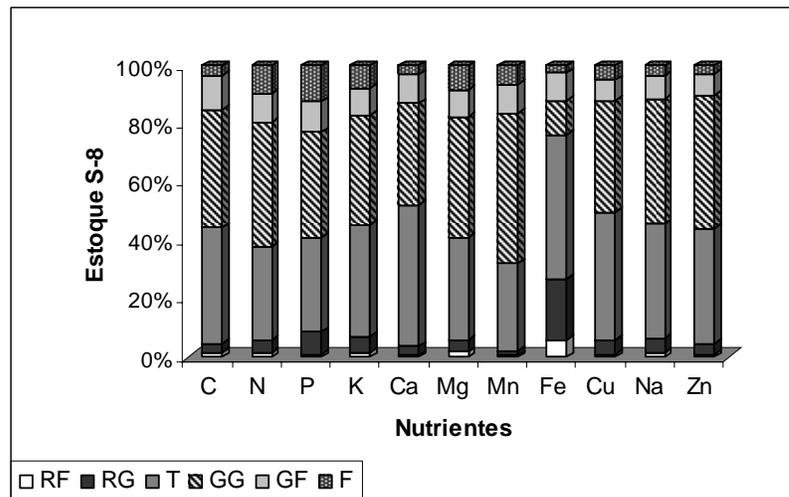


Figura 40. Distribuição percentual dos estoques de nutrientes (kg^{-1}), em partes* das árvores, da floresta secundária S-8/EEST (Manaus - AM).

* Partes: RF = raízes finas; RG = raízes grossas; T=troncos; GG= galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

1.4.3.5 Análise estatística dos estoques de nutrientes nas partes das árvores

Contudo, quando avaliamos os estoques de nutrientes (kg^{-1}), em partes dos indivíduos arbóreos, assim como para os teores, encontramos diferença altamente significativa ($p < 0,001$) para os nutrientes avaliados (Figura 41 - C, N, P, K; 42 - Ca, Mg, Mn, Fe; 43 - Cu, Na e Zn).

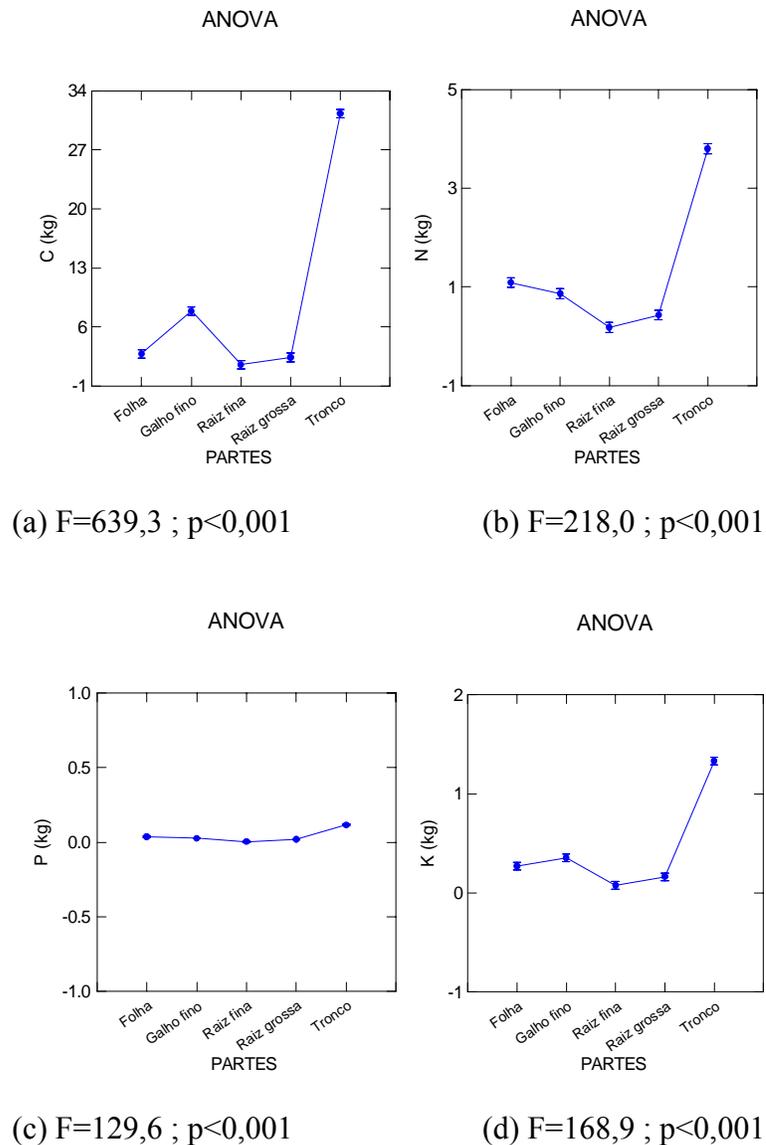


Figura 41. Análise estatística dos estoques de nutrientes (kg^{-1}) e suas distribuições em cinco partes* das árvores, nas duas áreas de florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) C, (b) N, (c) P, (d) K.

* Partes = folha, galho fino, raiz grossa, raiz fina, tronco.

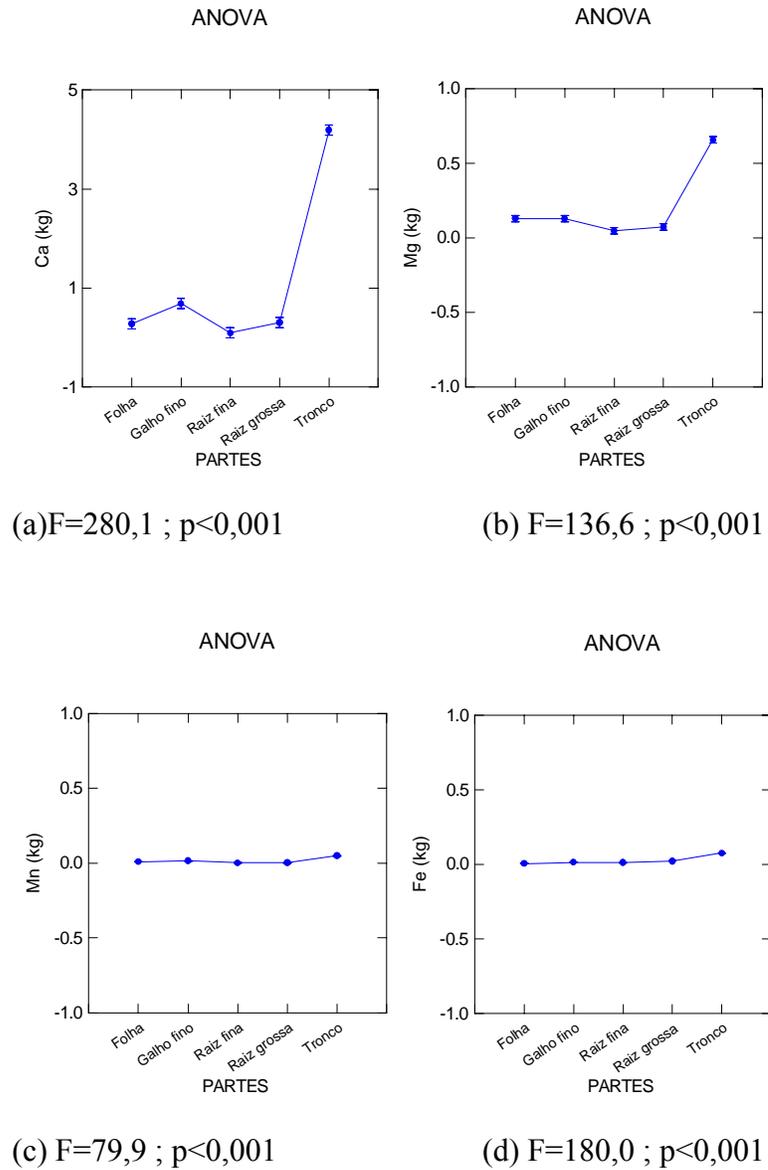


Figura 42. Estoques de nutrientes (kg^{-1}) e suas distribuições em cinco partes* das árvores, nas duas áreas de florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Ca, **(b)** Mg, **(c)** Mn, **(d)** Fe.

* Partes = folha, galho fino, raiz grossa, raiz fina, tronco.

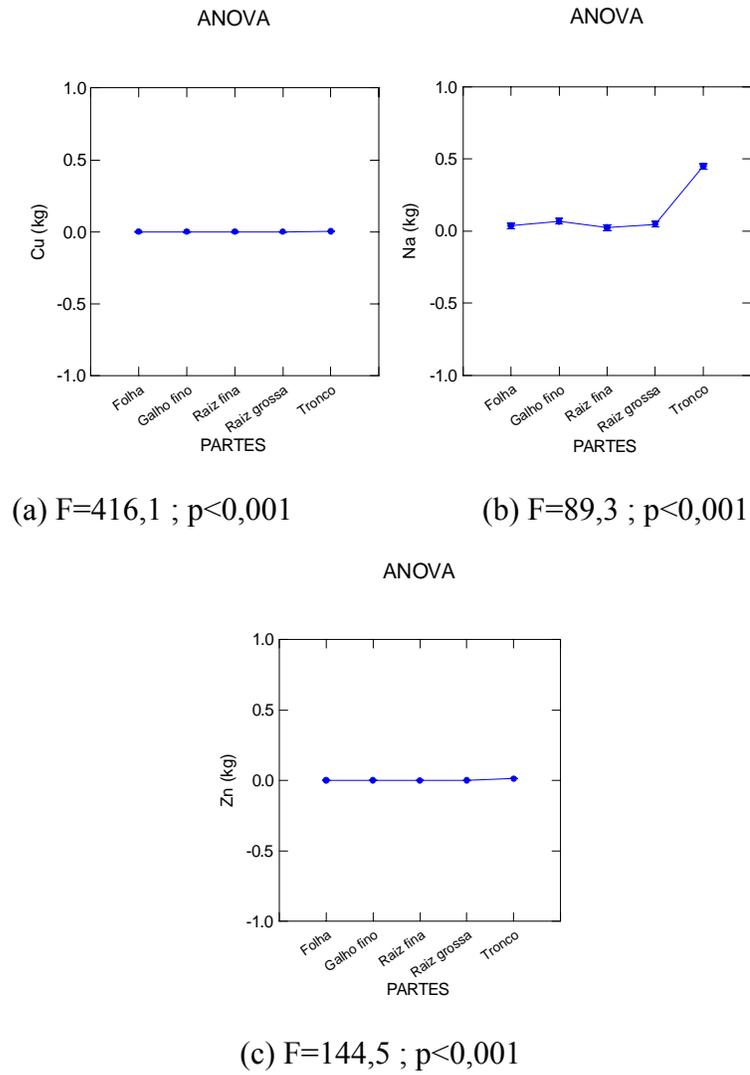


Figura 43. Estoques de nutrientes (kg^{-1}) e suas distribuições em cinco partes* das árvores, nas duas áreas de florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Cu, **(b)** Na e **(c)** Zn.

* Partes = folha, galho fino, raiz grossa, raiz fina, tronco.

1.4.4 Teores de nutrientes comparando duas áreas de florestas secundárias da EEST

1.4.4.1 Teores médios de nutrientes nas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8)

Importantes perdas de nutrientes ocorrem pela ação antrópica, um exemplo é a extração da biomassa. O tempo necessário para a recomposição de uma área desmatada depende de como a floresta foi removida. Deve-se considerar o tipo, o tempo de uso após a remoção, o tamanho da clareira artificial aberta e a distância da floresta primária (Uhl *et al.*, 1988).

A área da floresta secundária da ZF-2, em comparação a área da S-8, apresentou os maiores teores médios para os nutrientes K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu e Zn, sendo o maior teor da ZF-2 apresentado para o C e o menor para o Cu. Já, para a área da S-8, os maiores teores médios foram apresentados pelo C e N e assim como na ZF-2, o menor teor médio foi do Cu (Tabela 8).

Tabela 8. Teores médios de nutrientes em duas florestas secundárias da EEST/INPA: ZF-2 (23 anos; n=30) e S-8 (14 anos; n=30) (Manaus - AM).

<i>Nutriente</i>	<i>ZF-2</i>	<i>S-8</i>
C	45,2	45,5
N	6,4	6,9
P	0,2	0,3
K	2,9	2,1
Ca	6,1	4,6
Mg	1,2	1,0
Mn	64,8	74,6
Fé	172,0	160,3
Cu	4,5	4,4
Na	595,6	627,3
Zn	18,0	17,7

C dag kg-1; N,P,K,Ca e Mg g kg-1; Mn, Fe, Cu, Na e Zn mg kg-1.

1.4.4.2 Análise estatística dos teores de nutrientes nas áreas de florestas secundária da ZF-2 e S-8

Na avaliação estatística, os teores de onze nutrientes (g kg^{-1}), em duas diferentes áreas, ZF-2 (23 anos) e S-8 (14 anos), apenas nove nutrientes apresentaram diferenças significativas, são eles: K, Ca, Mg e Fe ($p < 0,001$), Mn e Na ($p < 0,01$), N e Cu ($p < 0,05$) e Zn ($p = 0,001$), sendo o C e o P, não significativos ($p > 0,05$) (Figura 44 - C, N, P, K; 45 - Ca, Mg, Mn, Fe; 46 - Cu, Na e Zn).

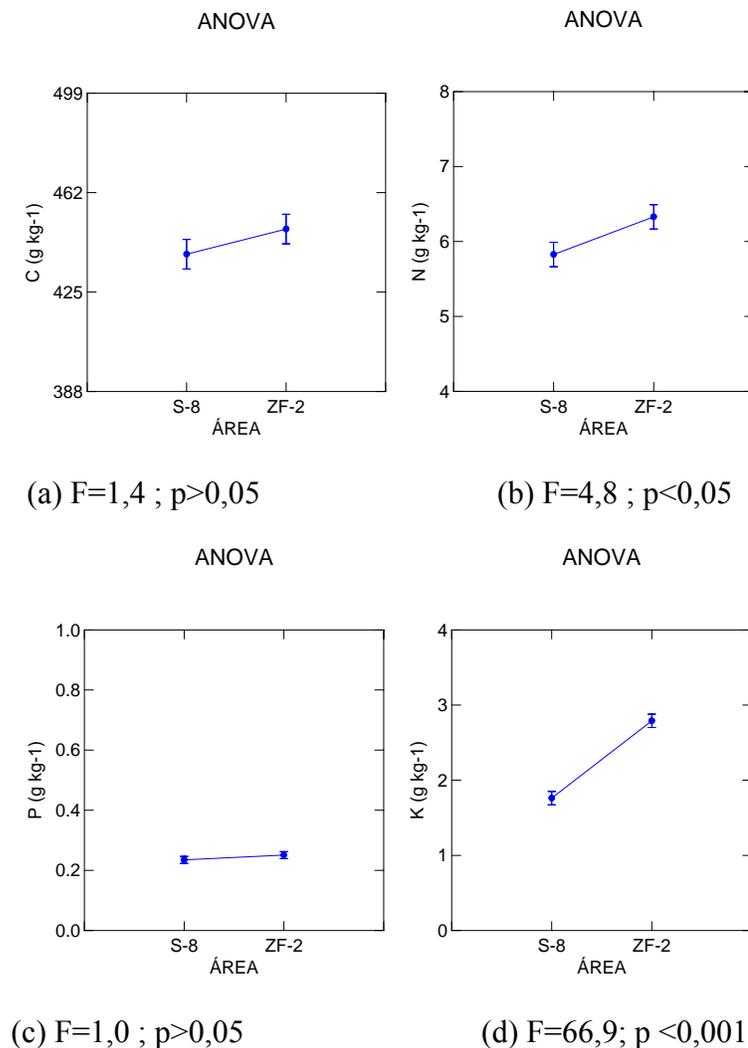


Figura 44. Distribuição dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) C, (b) N, (c) P e (d) K.

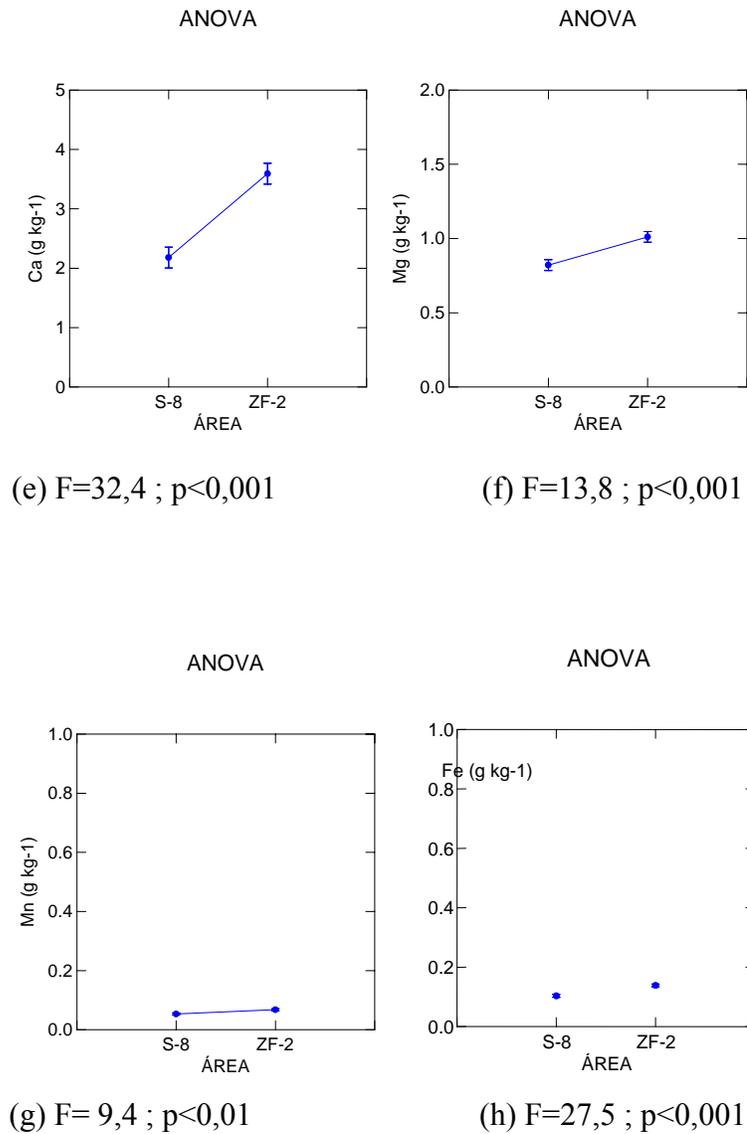


Figura 45. Distribuição dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Ca, **(b)** Mg, **(c)** Mn e **(d)** Fe.

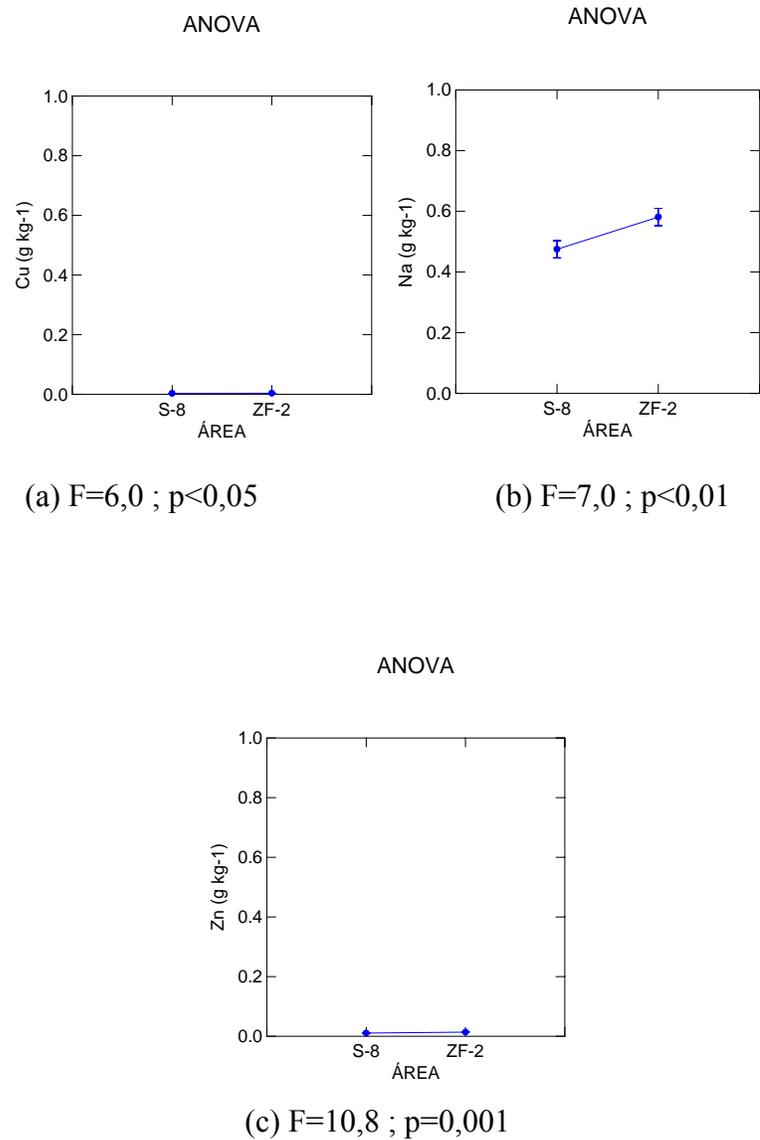


Figura 46. Distribuição dos teores de nutrientes (g kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Cu, **(b)** Na e **(c)** Zn.

1.4.5 Estoques de nutrientes em áreas de florestas secundárias da EEST

1.4.5.1 Estoques totais e médios de nutrientes em duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8)

Analisando as duas áreas, a floresta secundária da S-8, em relação a floresta secundária da ZF-2 apresentou os maiores estoques para os seguintes nutrientes: C, N, Mg, P, Fe e Na, sendo que Cu e Zn obtiveram valores semelhantes, entre as áreas. Os maiores estoques foram encontrados no C (troncos/ZF-2) e os menores no Cu (galhos grossos/S-8). (Tabela 9).

Tabela 9. Estoques totais de nutrientes (kg^{-1}) em partes das árvores, de 30 indivíduos, em cada uma, das duas florestas secundárias da EEST/INPA: ZF-2 (23 anos) e S-8 (14 anos) (Manaus - AM).

<i>Partes*</i>	<i>Floresta secundária</i>	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Na</i>	<i>Zn</i>
kg-1												
RF _{totais}	ZF-2	51,73	5,91	0,15	2,93	3,61	1,82	0,06	0,45	0,00	0,83	0,02
	S-8	116,26	19,54	0,90	5,96	10,50	2,72	0,11	0,85	0,01	1,87	0,04
RG _{totais}	ZF-2	69,11	11,60	0,46	5,57	10,15	2,56	0,08	0,67	0,01	1,61	0,04
	S-8	73,42	14,13	0,74	4,16	8,07	1,70	0,07	0,57	0,01	1,21	0,03
T _{totais}	ZF-2	987,05	117,55	3,68	46,77	141,05	22,27	1,71	2,43	0,09	13,96	0,41
	S-8	890,76	110,47	3,36	33,18	110,42	17,07	1,27	2,03	0,09	12,99	0,39
GG _{totais}	ZF-2	21,52	2,06	0,07	1,23	2,21	0,29	0,02	0,01	0,00	0,07	0,00
	S-8	19,28	2,67	0,07	0,73	1,57	0,40	0,05	0,01	0,00	0,29	0,01
GF _{totais}	ZF-2	197,37	22,25	0,64	11,80	20,58	3,58	0,46	0,33	0,01	1,89	0,05
	S-8	275,66	29,45	0,97	9,44	20,62	4,05	0,45	0,44	0,01	2,15	0,06
F _{totais}	ZF-2	67,99	26,21	0,98	8,08	7,18	2,97	0,19	0,10	0,01	0,86	0,02
	S-8	100,01	39,06	1,31	8,16	9,57	4,75	0,36	0,15	0,01	1,35	0,03
Média	ZF-2	232,46	30,93	1,00	12,73	30,80	5,58	0,42	0,67	0,02	3,20	0,09
	S-8	245,90	35,89	1,23	10,27	26,79	5,11	0,39	0,68	0,02	3,31	0,09
Total		2870,15	400,90	13,33	138,00	345,53	64,16	4,84	8,05	0,27	39,07	1,09

* Partes: RF=raízes finas; RG=raízes grossas; T=troncos; GG=galhos grossos; GF=galhos finos; F=folhas.

1.4.5.2 Distribuição percentual dos estoques de nutrientes nas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8)

Para cada uma das áreas de florestas secundárias, os estoques de nutrientes foram dados na seguinte ordem: ZF-2 = C > Ca > N > K > Mg > Na > P > Fe > Mn > Zn > Cu (ZF-2) e S-8 = C > N > Ca > K > Mg > P > Mn > Fe > Na > Zn > Cu.

O maior estoque, encontrado no **C**, colaborou com 75 % (ZF-2) e 76 % (S-8), o **N** participou com 8 e 10 % (ZF-2 e S-8, respectivamente). O nutriente **Ca** obteve, cerca de 10 (ZF-2) e 7 % (S-8), já o **K** apresentou na área da ZF-2, um estoque de 5 % e na S-8, 3 %. O **Mg** apresentou porcentagens de 1 (ZF-2) a 2 % (S-8). O **P**, apresentou menos de 0,5 % nas duas áreas, assim como Mn, Fe, Cu e Zn. Contudo, cerca de 1 % foi apresentado pelo **Na**, porém, apenas para a S-8 (Figura 47).

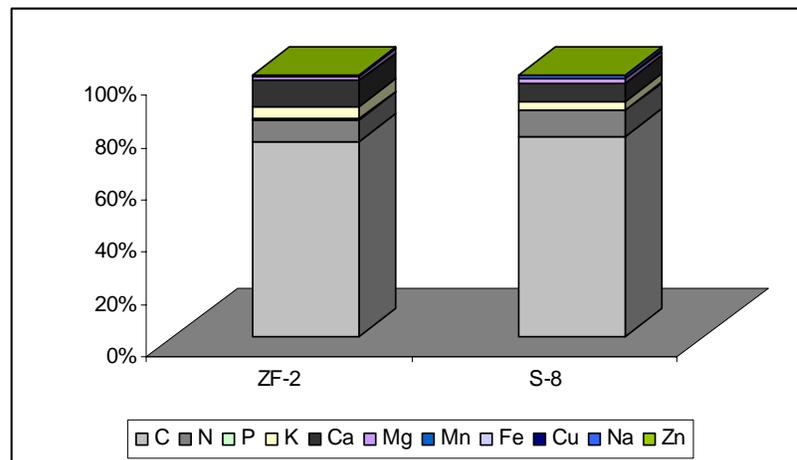


Figura 47. Distribuição percentual dos estoques de nutrientes em duas áreas de florestas secundárias (EEST/INPA): ZF-2 (23 anos) e S-8 (14 anos).

1.4.5.3 Análise estatística dos estoques de nutrientes nas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8)

Por mais que, as duas áreas de florestas secundárias sejam de diferentes idades (11 anos entre elas) e diferentes históricos de uso, não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) em relação aos seus estoques de nutrientes (Figura 48 - C, N, P e K; 49 - Ca, Mg, Mn e Fe; 50 - Cu, Na e Zn).

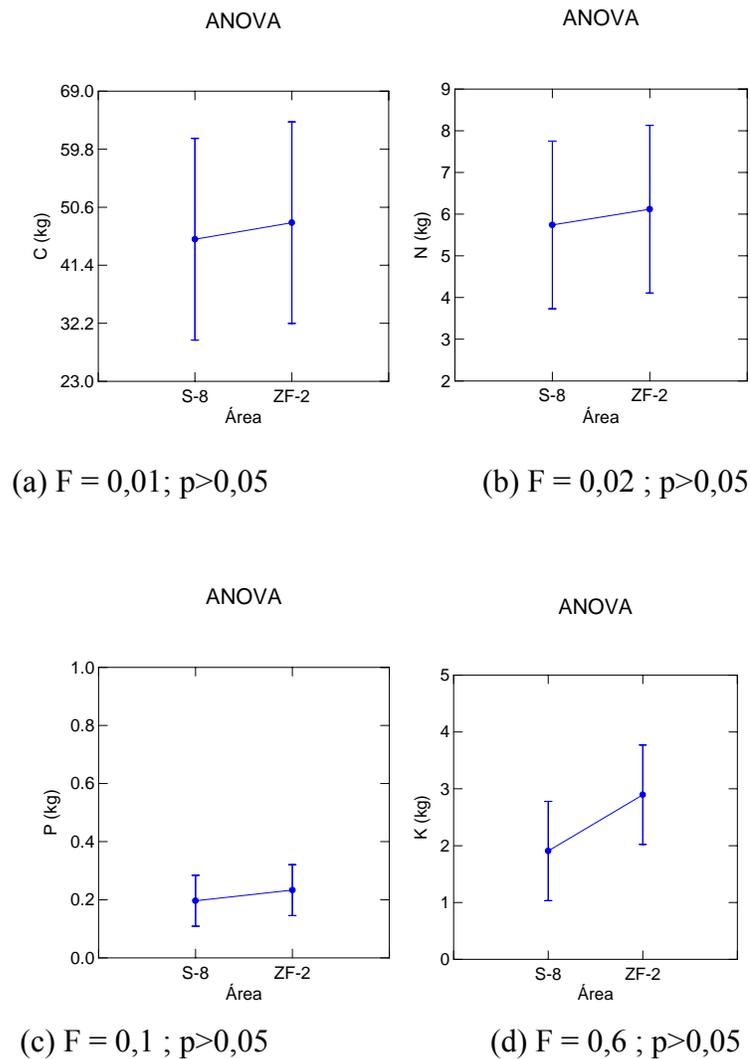


Figura 48. Distribuição dos estoques de nutrientes (kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): (a) C, (b) N, (c) P, (d) K.

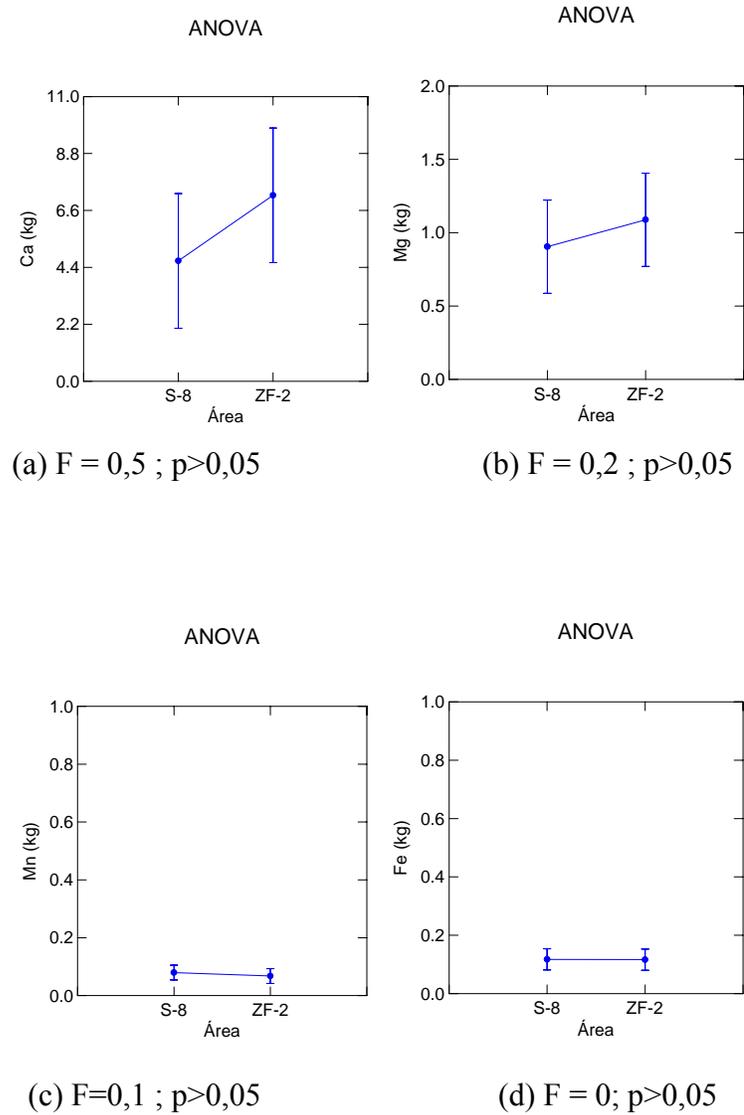
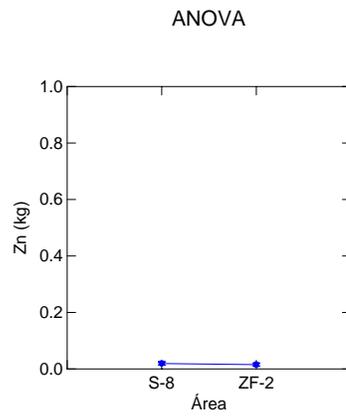
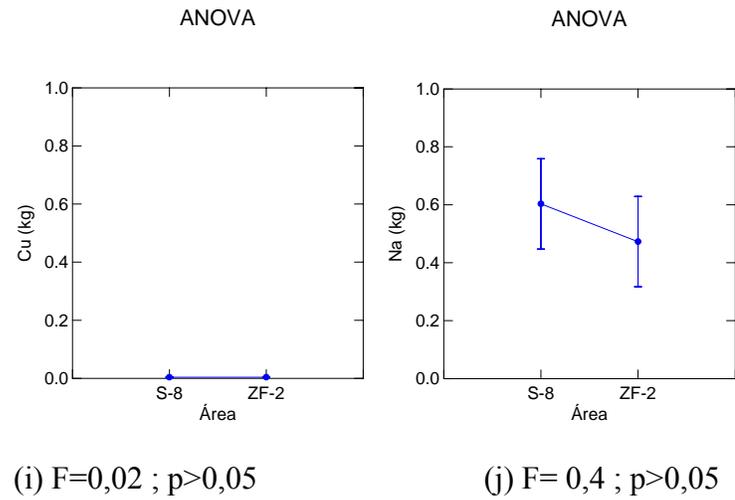


Figura 49. Distribuição dos estoques de nutrientes (kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Ca, **(b)** Mg, **(c)** Mn e **(d)** Fe.



(k) $F= 0,3$; $p>0,05$

Figura 50. Distribuição dos estoques de nutrientes (kg^{-1}) em duas florestas secundárias da EEST/INPA (ZF-2 e S-8): **(a)** Cu, **(b)** Na e **(c)** Zn.

1.5 DISCUSSÃO

1.5.1 Teores de nutrientes

Em partes diferentes de uma mesma árvore podem ser observadas diferentes concentrações e conteúdos de nutrientes, principalmente quando se avalia a função bioquímica dessas partes. Neste estudo, os maiores teores de C, N, P, K, Mn e Cu, foram verificados nas folhas, o que corrobora estudos anteriores (Schumacher, 1992; Vieira, 1998). A floresta secundária da ZF-2 foi a área que apresentou as maiores concentrações.

Contudo, o C apresentou as maiores concentração em folhas 52,4 dag kg⁻¹ na área da ZF-2 e 50,8 na área da S-8, com valores médios em torno de 47,5 dag kg⁻¹, para todas as outras partes das plantas. De acordo, com Sampaio *et al.* (1998), a queima das florestas e a retirada das árvores, com as mudanças no uso da terra, influenciam mesmo que indiretamente no C, porém, não com suas concentrações e sim com seus estoques. Em estudos realizados na Amazônia oriental, as concentrações de C na madeira de florestas secundárias de 10, 20 e 40 anos e uma área de floresta primária variaram de 47,3 a 47,9 % (Johnson *et al.*, 2001).

Caldeira *et al.* (1999), dizem que as concentrações de nutrientes nas folhas são influenciadas por diversos fatores, como condições de sítio, idade das folhas, posição na copa e época do ano. Além disso, esses autores citam que o N, em acácia negra, é mais abundante em folhas recém-maduras, mas não o mais bem redistribuído, demonstrando baixa capacidade de retranslocação. Portanto, as folhas, apresentando os maiores teores para a maioria dos nutrientes, tornam-se o principal componente na ciclagem de nutrientes, embora sua participação em porcentagem na biomassa total seja pequena (Caldeira *et al.*, 2003).

No caso do N, dos macronutrientes considerados, ele foi o elemento que apresentou os maiores valores, principalmente na folhas como citado acima (20,5 e 20,3 g kg⁻¹, ZF-2 e S-8, respectivamente) e nas cascas (7,3 g kg⁻¹/ZF-2; 8,1 g kg⁻¹/S-8). De acordo com Herrera *et al.* (1978), esse nutriente está em grande quantidade em folhas, galhos e cascas, pois essas partes são os principais caminhos pelo escoamento da água da chuva até o solo.

Gehring (2003), diz que a demanda por N das espécies, em capoeiras velhas desacelera, impulsionado pela diminuição do acúmulo de biomassa, e, dessa forma a ciclagem ganha importância. Porém, Evans (1979) comparando tecidos de plantas jovens e velhas de *Gmelina arborea*, observou que as árvores mais velhas apresentaram as maiores concentrações de N e Ca, evidenciando que a idade fisiológica e o tamanho das árvores influenciam no conteúdo de

nutrientes. Además, essas variações podem ser atribuídas às diferenças entre as espécies, aos solos, umidade, capacidade de absorção e tipo de amostragem (Silva, 1989).

Os indivíduos, em áreas de florestas secundárias alocam uma proporção muito maior de nutrientes nas folhas como citado acima, em função do crescimento e de uma maior atividade fotossintética (Mengel & Kirkby, 1978), tal fato reflete as diferentes estratégias de alocação de nutrientes em diferentes partes da árvore. A avaliação feita por Santos Jr. *et al.* (2006), em áreas degradadas, mostraram que os valores de N, P, K, Mg, Cu e Zn, em geral, foram aproximados aos valores encontrados neste estudo. Apenas o Ca, teve concentrações superiores, sendo a *Bellucia grossularioides* (7,1 g kg⁻¹) a espécie que mais se aproximou do valor aqui apresentado (5,7 e 4,9 g kg⁻¹, ZF-2 e S-8, respectivamente).

O P mostrou-se um elemento regular enquanto a sua distribuição, desde as raízes até os galhos das árvores (média de 0,1 g kg⁻¹/partes das árvores). Gehring *et al.*, (1999) mostraram que as florestas são primariamente limitadas por P, quando há diminuição de N. O reservatório de nutrientes minerais contidos na biomassa aumenta durante a sucessão como biomassa acumulada. Na próxima fase da sucessão o N e o P serão relativamente abundantes. O P está em sua maior quantidade na biomassa acima do nível do solo, aproximadamente 65 % em florestas primárias, porém quando há conversão dessas florestas, essa quantidade se reduz a 9 % (Kaufmann *et al.*, 1998).

A principal perturbação se dá pelo fogo e pela exploração, podendo ocasionar as maiores perdas de N e P. Como a lixiviação e a precipitação continuam a remover P do sistema, o N irá decrescer mantendo relativamente constante a relação N:P. Em sistemas antigos, muitas vezes, pode haver decréscimo nos níveis de P e N, mas o P irá permanecer mais lento (Vitousek & White, 1981; Vitousek, 1982). O fósforo apresentou valores muito baixos nas áreas de florestas secundárias deste estudo, o que pode refletir a não disponibilidade imediata no solo e na vegetação.

Observando o Ca, os maiores valores foram encontrados nas cascas das árvores, também, na área da ZF-2 (10,2 - raízes grossas; 11,9 - troncos e 7,0 g kg⁻¹ - galhos grossos), seguido das raízes. Esse resultado condiz com os apresentados por Stark (1970), que observou os gêneros *Cecropia* e *Didmopanax*, em áreas de florestas secundárias e por Klinge *et al.*, (1984) avaliando florestas de várzea. Na parede celular, o Ca ocorre em quantidades consideráveis, portanto as cascas são acumuladoras desse nutriente. A transpiração é importante para os nutrientes que entram em contato com a raiz, principalmente por fluxo de massa (N, Mg e Ca). Por outro lado, o

tamanho da raiz influência na absorção de elementos que entram em contato com a raiz por difusão (P e K) e interceptação radicular (Ca).

Nas plantas esse elemento transloca-se para as partes aéreas via xilema, entretanto, por não se movimentar via floema, sua redistribuição entre os órgãos da planta é praticamente nula (Armstrong & Kirkby, 1979). O Ca possui importância na regulação metabólica da planta, além de apresentar um papel estrutural (presentes nos pectatos de cálcio) na formação dos tecidos lenhosos (casca), mas precisa ser mantido em baixas concentrações no citoplasma, pois é um sinalizador celular.

Nas florestas secundárias do Suriname, Stark (1970) menciona ser o potássio o nutriente com maior conteúdo no tronco das árvores do gênero *Cecropia*. Igualmente Klinge *et al.* (1984), relatam que esse nutriente é também dominante no tronco de árvores de floresta de igapó, próximas de Manaus. Esse nutriente não é um componente estrutural, mas está presente em altas concentrações, regulando o potencial osmótico e o balanço iônico. Todavia, neste estudo, o K se mostrou em concentrações maiores nas folhas, seguido das raízes e suas cascas, além de ser maior na área de 23 anos. Segundo Malavolta *et al.* (1997), as raízes contêm cerca de 16 % do K total da planta, com concentrações semelhantes na folhas.

O Mg (2,3/ZF-2; 2,5/S-8), constituinte da clorofila e proteínas é um elemento móvel. Altas concentrações de Ca e K podem inibir competitivamente sua absorção, causando às vezes deficiência (Malavolta *et al.*, 1997). Sua carência pode, principalmente, reduzir o crescimento vegetal, seus sintomas acentuam-se nas zonas mais velhas. Cerca de 10 % do Mg total da folha está na clorofila, além de induzir o aprofundamento e expansão das raízes. Haag *et al.* (1963), analisando as folhas de *Eucalyptus Alba* e *Eucalyptus grandis*, com dois anos, mostrou que essas duas espécies são mais exigentes em outros macronutrientes do que em Mg.

Neves *et al.* (2001), investigaram os teores de nutrientes em compartimentos arbóreos de *Ceiba pentandra* na região de Manaus em plantio de 43 e 55 meses. Observaram que as maiores concentrações encontradas foram para N e S no compartimento de folha + pecíolo aos 55 meses (77,3; 5,34), para P no tronco aos 43 meses (4,61) e os nutrientes K, Ca, Mg e Al no tronco aos 55 meses (65,8; 53,0; 19,4; 0,57), mostrando que, a idade influencia na concentração de nutrientes, o que não é diferente da premissa utilizada pelas florestas secundárias.

A divisão entre macro e micronutrientes não tem correlação com essencialidade e sim, com quantidade. Os teores dos nutrientes (Mn, Fe, Cu, Na e Zn) seguiram a seguinte ordem: Na > Fe > Mn > Zn > Cu. O nutriente Fe parece conduzir um nível de distribuição, de acordo com as

necessidades da planta (Schmidt *et al.*, 2003), porém sua mobilização está diretamente associada à inibição do crescimento e da atividade da raiz. Golley *et al.* (1980) mencionam que em florestas de terra firme próximas a Manaus, as maiores concentrações médias em galhos e troncos, em relação aos micronutrientes, o Fe assume a segunda maior concentração, após o Al.

Contrastando com o Fe, os processos que mobilizam ou imobilizam o Mn, por microorganismos da rizosfera, podem estar muito mais envolvidos pelas raízes em adição aos processos de mobilização deste nutriente induzido pela mesma. No caso do Mn, ele é facilmente translocado através do xilema das raízes até as brotações, já a translocação no floema é limitada. No trabalho apresentado por Toledo *et al.* (2002), o Mn em florestas secundárias do RJ, via deposição da serapilheira em diferentes estações do ano, observou que este elemento em concentração era menor só em comparação ao Fe, sua deposição foi maior em florestas secundárias iniciais no outono e a menor na mesma floresta no inverno.

Assim como neste estudo, o Cu, em suas concentrações seja por serapilheira (Toledo *et al.*, 2002), quer seja por quantificação de nutriente na biomassa em povoamentos de Eucalyptus (Poggiani *et al.*, 1983), apresentou os menores teores dos onze nutrientes avaliados. Seus maiores teores foram apresentados pelas cascas dos troncos (5,7/ZF-2 e 6,6/S-8 mg kg⁻¹).

O aporte de Na e Zn da atmosfera é muito maior do que a demanda anual pelas árvores, o que não ocorre com o N, Ca, K e P, já que a deposição é menor que a quantidade requerida pelas plantas (Marcos & Lancho, 2002). Para o Na, as maiores concentrações foram observadas nas cascas das raízes grossas, para as duas áreas. Tal qual o Na, o nutriente Zn apresentou os maiores teores nas cascas em geral.

As diferenças estatísticas observadas nos onze nutrientes avaliados, em diferentes partes das árvores (raízes até a copa), mostram o quão diferentes são as partes das árvores: seu comportamento, a estrutura individual de cada espécie, seu requerimento nutricional e o investimento de cada um desses nutrientes em funções diversificadas.

1.5.2 Distribuição dos teores de nutrientes

A distribuição dos teores de nutrientes foi praticamente a mesma, quando se avaliam as duas áreas de florestas secundárias: as folhas com os maiores teores de C, N, P, K, Mg, Mn e Cu; as cascas com os maiores teores de Ca, Fe, Na e Zn. O que diferencia essa distribuição são os menores teores, que na área de 23 anos foi apresentada pelos galhos grossos (K, Ca, Mg, Mn, Fe, Na e Zn) e para a área de 14 anos, apresentado pelos troncos (N, P, Mg e Na). Uma explicação encontrada, é que mesmo que seja em relação aos teores mais baixos, uma área de regeneração mais antiga, as árvores acabam investindo nos galhos, até mesmo porque já estão em uma fase mais avançada no processo de sucessão.

Segundo Schumacher (1992), o acúmulo de nutrientes nos tecidos apresenta a seguinte ordem: folhas > cascas > ramos > lenho. Porém, em um estudo avaliado por Vieira (1998), o maior teor de nutrientes é encontrado nas folhas, em seguida nos ramos e o restante no lenho e no tronco.

Golley *et al.* (1980) mencionam que nas florestas de terra firme sobre latossolo amarelo próximas de Manaus, as mais altas concentrações médias de P, K, Ca, Mg, Na, Mn, e Cu, são nas folhas. Nos galhos estas foram para Cu e Zn, nos troncos para Fe, Cu e Zn, e nas raízes para o Fe. O mesmo autor estudando as florestas de São Carlos do Rio Negro na Venezuela mostra que as concentrações foram dadas na seguinte ordem $K > Ca > Mg > P > Al$ nos galhos; $K = Al > Ca > P > Mg > Fe$ nas raízes; $K > Ca > Mg > Al > P$ no alburno; $K > Al > Ca > Mg > P$ no cerne e $K > Ca > Mg = Al > P$ na casca, mostrando as maiores concentrações para o nutriente K. Isso mostra a grande alocação desse nutriente na biomassa aérea.

Num estudo realizado em Paragominas, por Markewitz *et al.* (2004), mostrou que os maiores conteúdos estavam nas cascas da madeira (C, N, Ca, K, Mg e P), seguido dos galhos grossos e folhas, que pode ser atribuído ao tipo de uso da terra e as entradas e saídas do sistema.

1.5.3 Estoques de nutrientes

Os estoques de nutrientes, por estarem diretamente ligados com a biomassa da floresta, apresentaram nos troncos das árvores os maiores valores, seguidos dos galhos grossos. Porém deve-se ressaltar que talvez pudesse ter ocorrido o inverso, os galhos grossos poderiam assumir os maiores estoques, se das 60 árvores sorteadas, em cada uma das áreas, não só seis árvores tivessem apresentado os galhos grossos ($DAP \geq 10$ cm).

Poggiani & Schumacher (2000) corroboram com esse resultado e mostram que, o tronco é a parte do indivíduo arbóreo que apresenta os maiores estoques de nutrientes, que podem ser reciclados por diversos caminhos entre os demais componentes do ecossistema. Em função do processo de decomposição e lixiviação da serapilheira, os nutrientes podem ser carreados para o solo e novamente absorvidos pelas raízes do indivíduo arbóreo e pelas espécies de sub-bosque (Poggiani & Schumacher, 2000).

O padrão de acúmulo de nutrientes na biomassa (principalmente, K, Ca e Mg) em detrimento do solo, é descrito para as florestas tropicais que crescem sobre latossolos pobres em nutrientes na região amazônica por Medina & Cuevas (1989). Estes autores mencionam que o padrão encontrado na Amazônia para N é uma proporção igual entre solo e vegetação e para o P há uma tendência maior nos solos do que na vegetação (5 a 10 vezes mais).

O N apresenta um ciclo dinâmico, com grande mobilidade em solo, enquanto que o P se move de modo mais lento do solo para a planta (Campos *et al.*, 2005). Em ecossistemas florestais, mais de 80 % do N e P encontram-se na biomassa florestal (Juo & Manu, 1996). No caso das raízes Hart *et al.* (2002), diz que as concentrações de nutrientes nas raízes podem fornecer uma pista da possível formação da matéria orgânica, um exemplo está entre as raízes grossas e finas, onde o N parece ser maior em húmus proveniente de raízes finas; entre casca e lenho, o Ca e P parecem ser maiores em cascas de raízes que no lenho, o que é corroborado por este estudo e quando se aprofunda no perfil do solo, o Ca parece decrescer em raízes mortas e vivas.

Jordan (1985) descreve os estoques de nutrientes na biomassa e no solo em várias florestas tropicais sobre solos pobres e resalta que, o Ca e K têm um padrão de acúmulo na biomassa e o N, maior estoque no solo. Brinkmann & Nascimento, (1973) e McGrat *et al.* (2001), Observaram que o Ca é um elemento com grande estoque na biomassa dos troncos, muitas vezes imobilizados na forma de oxalato de cálcio ou fosfato de cálcio. Em estudos realizados em

Florestas de Terra Firme de Manaus, um pouco mais de 80 % dos estoques de K, Ca e Mg, 40 % de N e 50 % de P estão na biomassa verde da floresta (Klinge *et al.*, 1975).

Martinelli *et al.* (2000), estudando o estoque de nutrientes em uma floresta de terra firme em RO, observaram que 10 % das árvores representam quase 50 % do total de Ca no ecossistema. Estes autores dizem ainda que se fossem retirados 10 % das árvores do sistema, os estoques de Ca, Mg e P teriam uma redução significativa; outros resultados, como os das pastagens abandonadas na Amazônia Oriental, não apresentaram correlação entre os teores de nutrientes do solo e a fitomassa ali acumulada (Buschbacher *et al.*, 1988). Herrera (1985) descreve que 80 % do cálcio total, dos compartimentos solo-planta, é armazenado na vegetação, dessa porcentagem 60 % acumula-se nos galhos e nas cascas.

O elemento C não apresentou diferença significativa, o que pode ser explicado pela tendência dos seus valores, enquanto a sua distribuição. Porém para o P, esperava-se o contrário, já que ele é um nutriente ligado diretamente ao histórico de uso, pode-se dizer que quando existe queima na área, há uma maior disponibilidade de P para a biomassa, disponibilizada pelas cinzas. Sabe-se que para o P, K e Al, pela sua forma lábil, o histórico de uso interfere imediatamente na sua disponibilidade.

Alguns desses resultados, como os de C, podem ser explicados pelo sorteio aleatório dos indivíduos analisados, onde os mesmos apresentaram diâmetros próximos, não tendo quase variação nesse sentido; além disso, possuem espécies com características adaptativas parecidas, que se comportam de forma semelhante para o restabelecimento dessas áreas.

1.5.4 Duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8)

O estudo das capoeiras, hoje, paisagem típica da Amazônia brasileira, fornece informações imprescindíveis principalmente, para o conhecimento do setor florestal e para a agricultura. Os resultados obtidos poderão dar indícios de sustentabilidade, a existência de viabilidade econômica para sua utilização e um melhor entendimento de sua dinâmica, quanto a disponibilidade de nutrientes.

Na avaliação dos teores, apenas dois nutrientes, C e P, não apresentaram diferenças significativas nas áreas de florestas secundárias, mostrando a influência do histórico de uso e/ou à idade. Porém, para os estoques de nutrientes, em duas áreas de diferentes idades e usos, não foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$), o que reflete a similaridade dos indivíduos sorteados nas áreas avaliadas.

Importantes perdas de nutrientes ocorrem pela ação antrópica, a partir da extração da biomassa. O tempo necessário para a recomposição de uma área desmatada depende de como a floresta foi removida. Deve-se considerar o tipo, o tempo de uso após a remoção, o tamanho da clareira artificial aberta e a distância da floresta primária (Uhl *et al.*, 1982).

Devido a essa variabilidade, a magnitude e a taxa de acumulação de carbono e dos demais nutrientes nas florestas em regeneração é ainda relativamente desconhecida (Feldpausch *et al.*, 2004). A escassez de nutrientes-chaves pode limitar ou diminuir o ritmo da sucessão secundária (Davidson *et al.*, 2004; Feldpausch *et al.*, 2004; Markewitz *et al.*, 2004). Um exemplo são as florestas secundárias no Pará. No leste da Amazônia, Davidson *et al.*, (2004) e Markewitz *et al.*, (2004) concluíram que o incremento em biomassa da floresta foi limitado por N. Enquanto que um estudo feito por Feldpausch *et al.* (2004), em capoeiras ao norte de Manaus, observaram que o P, ou possivelmente o Ca, podem limitar o crescimento de capoeiras.

1.6 CONCLUSÃO

Cada elemento analisado envolve a medição da quantidade e velocidade de transferência, nesse estudo as claras diferenças entre nutrientes podem ser explicadas por fatores como volatilidade, solubilidade em água, potencial eletroquímico, reatividade química e as diferentes respostas e variações, que acontece de espécie para espécie.

A área da ZF-2 apresentou teores médios maiores do que na área da S-8, apesar dessas diferenças não serem significativas estatisticamente, para dois elementos, o C e o P ($p > 0,05$). Porém, os resultados indicam que, quanto mais velha a área em regeneração, maior é a quantidade de nutrientes, maior sua biomassa, por conseguinte mais próxima de atingir seu estágio clímax.

Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para todos os nutrientes, tanto para a avaliação dos teores, quanto para os seus estoques, quando se avaliam diferentes partes das árvores, o que já era esperado devido a grande diferença de constituição, estrutura e comportamento dos indivíduos arbóreos.

Os maiores teores médios foram apresentados pelo C, N, P, K, Mg, Mn e Cu nas folhas; Ca, Fe e Zn nas cascas dos troncos e o Na nas cascas das raízes grossas. A explicação dos maiores teores, na maior parte dos nutrientes, observado nas folhas, é dada pelas características de acumulação e reserva de nutrientes, viabilizado, principalmente, pela fotossíntese, trocas gasosas, entre outros. Já as cascas são acumuladoras, principalmente de Ca.

Todavia, os maiores estoques de nutrientes foram observados nos troncos, por apresentarem relação direta com a sua biomassa.

CAPÍTULO 2

BIOMASSA FLORESTAL COMO PARÂMETRO DE AVALIAÇÃO PARA ALOMETRIA NUTRICIONAL DE FLORESTAS SECUNDÁRIAS.

2.1 INTRODUÇÃO

O papel das florestas e sua biomassa, por meio de políticas internacionais, no que tange às questões climáticas globais, tem sido foco de discussões, que relacionam as mesmas, como medida mitigadora às emissões dos gases que colaboram para o efeito estufa.

Partindo da premissa, que essas questões climáticas têm relação direta com a Amazônia, principalmente no que concerne às mudanças de uso da terra, o Estado do Amazonas, instituiu a Lei Estadual 3.135/07, de mudanças climáticas, conservação e desenvolvimento sustentável. Aliado a isso, o manejo florestal sustentável vem corroborar com a organização, ordenamento e controle da produtividade e eficiência da floresta (madeireiros e não-madeireiros), a fim de que ela seja menos impactante em relação às outras formas de uso do solo.

Porém, quando se fala em Amazônia, deve-se tomar como pressuposto que para manter essa exuberante cobertura florestal, ela apresenta estratégias próprias de conservação e ciclagem de nutrientes. Além disso, os recursos estão concentrados em ecossistemas heterogêneos, frágeis e complexos, além de solos ácidos e pobres em nutrientes, que dependem dessa biomassa para sua manutenção (Higuchi *et al.*, 1998).

Nessa perspectiva é de suma importância conhecer a distribuição e o balanço de nutrientes nas diferentes partes das árvores (folhas, galhos, troncos e cascas), principalmente quando se deseja realizar conversões no uso da terra (ex. pastagens, agricultura, desmatamento etc.). Todavia, essa avaliação se torna imprescindível, no controle da exportação de nutrientes, pela exploração florestal (“output”) e importação via “inputs” atmosféricos, para minimizar os impactos ambientais (Higuchi *et al.*, 1998). Por isso, há necessidade de se desenvolver modelos alométricos, consistentes e confiáveis, para a determinação de estimativas dos estoques de nutrientes em árvores em pé.

Atualmente, as estimativas de biomassa estão disponíveis para alguns tipos florestais da Amazônia, utilizando métodos diretos e indiretos (Brown *et al.*, 1989; Higuchi *et al.*, 1994). O método direto consiste na derrubada e pesagem de todas as árvores que ocorrem em parcelas fixas, fornecendo estimativas, que segundo Brown *et al.* (1989), não são confiáveis porque se

baseiam em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas. Já, a estimativa obtida de métodos indiretos é produzida a partir de dados de inventários florestais, sendo o volume da madeira, a principal variável, obtido por meio da medição do diâmetro.

Segundo Higuchi & Carvalho Jr. (1994), estes dois métodos geraram muita polêmica e controvérsias produzindo estimativas desconstruídas, pelos mesmos autores e para o mesmo banco de dados (montado nos anos 70) (Brown *et al.*, 1989; Fearnside *et al.*, 1993 e Foster Brown *et al.*, 1995). Além disso, Foster Brown *et al.* (1995) criticam esses bancos de dados, afirmando que em alguns casos, as alturas das árvores foram obtidas sem aparelhos de medição e que esses erros, não amostrais, não foram mencionados.

Higuchi *et al.* (2005) consideram que a alometria é o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos, tendo duas aplicações: (i) o crescimento de uma parte do organismo, em relação ao crescimento do organismo inteiro, ou parte dele e (ii) no estudo das conseqüências do tamanho sobre as formas e os processos, sendo uma função de potência que relaciona diferentes coisas entre si. As equações alométricas utilizadas em estudos ecológicos são regressões e por ele não se refere aos mecanismos.

A derivação de equações do volume apresenta três fases distintas: 1) a coleta de um número suficientemente grande de árvores de amostras representativas; 2) a medição de variáveis como DAP (diâmetro à altura do peito), altura total (H), densidade, onde a partir deste serão definidas, as variáveis dependente e independente dos modelos e 3) testes dos diferentes modelos com uso de programas estatísticos e a seleção do melhor (Loetsch *et al.*, 1973).

Diversos estudos sobre estimativas de biomassa por meio de equação alométrica (Fearnside, 1994; Santos, 1996; Salomão *et al.*, 1996; Nogueira *et al.*, 2006) têm sido empregado de maneira crescente para facilitar a avaliação do estoque e até mesmo da produção florestal. Em se tratando de metodologia para avaliar a biomassa, podemos citar os trabalhos de Brown e Lugo (1990), Fearnside (1991) e Silva (2007), utilizando o método direto e outros estudos utilizando apenas medidas realizadas em inventários florestais (Brown e Lugo, 1990; Lima, 1999; Projeto Chichuá, 2006).

Do conjunto dos modelos ajustados deverá ter maior aceitação aquele que possuir poucas variáveis e que sejam fáceis de mensurar com exatidão. Isto é, o modelo deve apresentar (i) alto valor do coeficiente de correlação múltipla (r), indicando alta correlação com a variável dependente; (ii) baixo valor do erro padrão da estimativa percentual, em relação à média (S_{yx} %) e (iii) distribuição uniforme de resíduos. O erro padrão da estimativa (S_{yx}) é mais apropriado do

que o R^2 para a seleção das equações de regressão (Draper & Smith, 1966). Nessa mesma linha, Higuchi *et al.* (2005) citam que acrescentando mais variáveis independentes, como a altura total (H), o modelo alométrico melhora em 2 %, quando comparado ao modelo que utiliza apenas o DAP. Porém, isso não é um critério determinante, é necessário analisar a distribuição de resíduos para que a escolha seja confirmada, para assim indicar e utilizar um modelo de forma segura.

Poggiani & Schumacher (2000) mencionam os estoques de nutrientes, porém não fazem alusão as suas estimativas, principalmente usando alometria. Todavia, esse estudo, visa contribuir com o avanço do conhecimento, para dar indicativos de sustentabilidade em florestas secundárias, enquanto, aos seus nutrientes e a sua produtividade.

Por isso, com intuito de criar instrumentos que consolidem e viabilizem o manejo florestal tornou-se necessário desenvolver modelos alométricos para estimar os estoques de nutrientes, utilizando como base uma metodologia já existente para a biomassa (Santos, 1996; Higuchi *et al.*, 1998; Silva, 2007), e assim buscar subsídios que auxiliem na realização de uma metodologia análoga.

Como já citado anteriormente, existem vários estudos alométricos utilizando a biomassa, porém para nutrientes existem diversas lacunas a serem preenchidas, principalmente pela grande diversidade de espécies e variabilidade nos teores. Por isso, a necessidade de adaptação dos estudos de Santos (1996) e Higuchi *et al.* (1998).

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo Geral

Avaliar individualmente os estoques de nutrientes em diferentes partes da árvore de florestas secundárias, testando diferentes equações alométricas para estimativa de nutrientes nas espécies florestais, fazendo com que essas equações sejam replicáveis.

2.2.2 Objetivos Específicos

- a. Determinar o teor de água em cada parte da árvore (raízes finas e grossas, tronco, galhos finos e grossos e folhas);
- b. Determinar os teores e estoques de C em cada parte da árvore (raízes finas e grossas, tronco, galhos finos e grossos e folhas);
- c. Testar e verificar a relação de modelos alométricos, para ajustar o estoque total de cada nutriente a algumas variáveis independentes (DAP e altura total).

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

2.3.1 Área de estudo

Os dados foram coletados na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST) do INPA aproximadamente 60 km ao norte de Manaus, em duas áreas de florestas secundárias, sobre platô, ZF-2 e S-8.

2.3.2 Coleta de dados

Utilizando o método destrutivo, foram derrubadas e pesadas 60 árvores-amostra, com DAP ≥ 5 cm. As 60 árvores foram divididas em partes (folhas, galhos finos, galhos grossos, tronco, raízes finas e grossas e cascas). Para galhos grossos, troncos e raízes grossas foram coletados discos de madeira na base (0 %), meio (50 %) e topo (100 %), retirados com motosserra; para as outras partes foram coletadas amostras a granel de aproximadamente 1 kg.

Para a obtenção do peso seco, as partes das árvores foram colocadas em estufa, com ventilação forçada, a uma temperatura de 65 °C, para que o material seco pudesse ser usado para análises químicas. O peso foi considerado seco (em estufa) quando se manteve constante durante três pesagens. O peso fresco foi obtido no momento da retirada das amostras no campo e, dividido pelo peso seco, usado para obtenção das porcentagens dos teores de água.

Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) foram transformados para a mesma unidade (kg^{-1}) para se calcular os valores de estoque.

2.3.3 Análise dos dados

2.2.3.1 Variáveis biométricas

Os modelos matemáticos foram selecionados e adaptados a partir dos estudos de Santos (1996) e Higuchi *et al.* (1998). Em seguida foram escolhidas as variáveis DAP, altura total e estoque dos nutrientes (C, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Na e Zn), de cada um dos 60 indivíduos arbóreos avaliados, para testes de modelos alométricos. Os modelos avaliados foram:

$$(1) P_{\text{nut}} = \beta_0 + \beta_1 D_i + \varepsilon_i$$

$$(2) P_{\text{nut}} = \beta_0 + \beta_1 H_i + \varepsilon_i$$

$$(3) P_{\text{nut}} = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i + \varepsilon_i$$

$$(4) P_{\text{nut}} = \beta_0 + \beta_1 D H_i + \varepsilon_i$$

$$(5) P_{\text{nut}} = \beta_0 D_i^{\beta_1} + \varepsilon_i$$

$$(6) P_{\text{nut}} = \beta_0 H_i^{\beta_1} + \varepsilon_i$$

$$(7) \ln P_{\text{nut}} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \varepsilon_i$$

$$(8) \ln P_{\text{nut}} = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i + \varepsilon_i$$

$$(9) \ln P_{\text{nut}} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i + \varepsilon_i$$

para $i = 1, 2, \dots, 60$

Onde:

P_{nut} = Estoque individual de nutrientes nas árvores, em kg;

D_i = diâmetro à altura do peito de cada árvore, em m;

H_i = altura total de cada árvore, em m;

β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão;

ε_i = erro aleatório;

\ln = logaritmo natural.

Visando a estimativa de estoque de nutrientes, foram adotados os procedimentos tradicionais da ciência florestal, para a escolha do melhor modelo estatístico (Santos, 1996), que são:

- a) Maior coeficiente de determinação (R^2), ou seja, quanto das variações do conjunto de dados analisados é explicado pelos modelos;
- b) Alto valor do coeficiente de correlação múltipla (r), indicando alta correlação com a variável dependente;
- c) Menor erro padrão da estimativa, em relação à média (S_{yx} %);

- d) Uniformidade e não-tendenciosidade na distribuição dos resíduos, distância que há entre os valores observados e os valores estimados;
- e) Maior precisão e consistência na aplicação e,
- f) Menor custo e tempo, nas medições de campo.

2.3.3.2 Análise estatística

Os modelos alométricos foram testados utilizando o programa SYSTAT 8.0, pelo teste de regressão.

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Teor de água

As estimativas dos teores de água, por meio de médias ponderadas e suas contribuições nas diferentes partes das árvores, considerando a **biomassa aérea** (troncos, galhos grossos, galhos finos e folhas) são apresentadas na tabela 10. Para a capoeira de 14 anos, os maiores teores de água foram encontrados nas folhas (59,3 %) e os menores nos troncos (42,7 %). Porém as suas contribuições foram dadas na ordem inversa, sendo a maior contribuição dada pelos troncos (0,6202) e os menores pelas folhas (0,0686), com média ponderada de 46,5 %. A capoeira de 23 anos seguiu a mesma tendência que a capoeira da ZF-2, apresentando os maiores teores de água para as folhas (55,9 %) e os menores para os troncos, assim como para as contribuições: folhas, maiores contribuições (0,6042) e troncos, as menores (0,0388). Contudo a sua média ponderada foi menor que a capoeira de 14 anos (44,8 %).

Para as estimativas, da **biomassa viva total** das árvores, considerando as raízes finas, raízes grossas, troncos, galhos grossos, galhos finos, folhas, temos as seguintes informações: os teores de água são maiores nas folhas, nas duas capoeiras (59,3 e 65,2 %), 14 e 23 anos, respectivamente e os menores teores de água encontrados nos galhos grossos, capoeira de 14 anos 42,8 % e capoeira de 23 anos, 47,1 %. No entanto, as maiores contribuições foram dadas pelos troncos (0,5775 e 0,6214, 14 e 23 anos, respectivamente) e as menores pelas raízes finas na capoeira de 14 anos (0,0273) e na capoeira de 23 anos (0,0279) (Tabela 11).

Tabela 10. Biomassa acima do solo - teor de água (%) ponderada por parte da árvore em capoeiras.

Parte	n	<i>Capoeira 14 anos</i>			N	<i>Capoeira 23 anos</i>		
		contribuição	água (%)	% ponderada		contribuição	água (%)	% ponderada
tronco	30	0,6202	42,7	27,4	30	0,6042	40,4	28,5
galhos grossos	3	0,1496	40,1	6,0	3	0,1533	47,0	7,2
galhos finos	30	0,1804	47,4	8,8	30	0,1260	44,3	6,5
folhas	29	0,0686	59,3	4,3	30	0,0388	55,9	2,6
% ponderada				46,5				44,8

Tabela 11. Biomassa total (acima do solo + raízes) - teor de água (%) ponderada por parte da árvore em capoeiras.

Parte	n	<i>Capoeira (14 anos)</i>			N	<i>Capoeira (23 anos)</i>		
		contribuição	água (%)	% ponderada		contribuição	água (%)	% ponderada
raízes finas	27	0,0273	51,2	1,4	30	0,0279	52,4	1,3
raízes grossas	29	0,0724	45,6	3,4	30	0,0452	50,5	2,3
troncos	30	0,5775	42,8	25,5	30	0,6214	47,1	25,1
galhos grossos	3	0,0727	40,1	2,9	3	0,1030	47,0	4,8
galhos finos	30	0,1683	47,4	8,2	30	0,1590	51,7	7,0
folhas	29	0,0526	59,3	3,2	30	0,0433	65,2	2,4
% ponderada				44,6				42,9

2.4.2 Teor e estoque de C

O nutriente mais importante, em vista das questões climáticas é o carbono. Dessa forma, é imprescindível destacá-lo nesse capítulo. Nas áreas de capoeira, de 14 e 23 anos, os maiores teores médios de C foram encontrados nas folhas (50,8; 52,4 %) e os menores em raízes grossas (40,4; 41,5 %). Porém, quando avaliamos os estoques de C, seus maiores valores são encontrados nos troncos (29,70 e 32,90 kg⁻¹, capoeira de 14 e 23 anos, respectivamente), e os menores estoques obtidos pelas raízes grossas na capoeira de 14 anos (2,53 kg⁻¹) e pelas folhas, na capoeira de 23 anos (2,27 kg⁻¹) (Tabela 12).

Tabela 12. Teores e estoques de C na biomassa total (acima do solo + raízes), em duas capoeiras de diferentes idades.

COMPARTIMENTO	Capoeira de 14 anos		Capoeira de 23 anos	
	Teores (%)	Estoques kg ⁻¹	Teores (%)	Estoques kg ⁻¹
raízes finas	44,0	4,31	44,8	1,72
Raízes grossas	40,4	2,53	41,5	2,30
troncos	48,1	29,70	48,5	32,90
Galhos grossos	50,4	6,43	46,0	7,17
galhos finos	50,4	9,19	51,5	6,58
folhas	50,8	3,45	52,4	2,27
média	47,4	9,27	47,5	8,82

2.4.3 Equações Alométricas

Este estudo buscou estimar os estoques de nutrientes nas plantas tendo o diâmetro à altura do peito e a altura total, como variáveis independentes, separadas e combinadas.

De todas as nove equações descritas acima, o melhor modelo, para todos os nutrientes, foi o não-linear que utilizou apenas o DAP, descrito pelo **modelo 5**. Contudo, o modelo 5, apesar de ser o melhor modelo testado para todos os nutrientes, indicou no **Ca**, os valores mais baixos de R^2 (0,68) e S_{yx} % (19,2), quando comparado aos demais nutrientes.

As equações lineares que utilizaram apenas a altura obtiveram o desempenho mais baixo de todos os modelos, principalmente, para o **Ca** (R^2 0,10; S_{yx} % 229,5) e o **P** (R^2 0,14; S_{yx} % 191,3). Um exemplo é o modelo 2, apresentado pelas equações lineares, para cada um desses mesmos nutrientes, que, além de apresentar valores de R^2 e S_{yx} %, inferiores aos demais, determinou coeficientes negativos, o que pode implicar em inconsistência do modelo (Anexo 5).

O **N** teve valores de R^2 que variaram de 0,20 - 0,85, com o menor valor apresentado pelo modelo 2 e o maior pelo modelo 5 (Anexo 2). A maior amplitude dos valores de R^2 foi dada para o **P**, entre os modelos 2 (0,14), 7 e 9 (0,86) (Anexo 3).

Para o **K** os valores de S_{yx} % variaram de 10,4 a 191,3 (Anexo 4). Observando, este mesmo comportamento no **Mg**, a variação foi entre 10,1 e 153,2 (Anexo 6). Já no **Mn**, o S_{yx} % em ordem crescente, dos três primeiros valores, foram dados pelo modelo 5, 6 e 8 (13,04, 18,44 e 65,16) (Anexo 7).

Utilizando o critério do R^2 , para o nutriente **Cu**, os dois melhores modelos seguidos do modelo 5 foram os logaritimos (7 e 9) com valor de 0,87 (Anexo 9). Para o **Na**, foram os modelos logaritimo 8 (0,37) e linear 2 (0,41) (Anexo 10). Na avaliação do **Zn**, seu R^2 foi o que apresentou menor amplitude, quando analisada as nove equações (Anexo 11).

Ainda observando o modelo 5, os nutrientes que tiveram um melhor desempenho enquanto a sua precisão e distribuição de resíduos foram: **Fe** (R^2 0,95; S_{yx} % 5,9) e **C** (R^2 0,91; S_{yx} % 8,1).

Contudo, houve alta variação dos valores obtidos nos modelos testados. Dessa forma, os melhores modelos e mais coerentes, assim como os modelos que foram desenvolvidos para a biomassa, são apresentados pelas equações não-lineares para todos os nutrientes. Mais especificamente o que utilizou apenas o DAP, como variável independente, mesmo apresentando o S_{yx} %, em relação à média, superior a 10 %, para nove desses nutrientes avaliados: **Modelo 5**

$$P_{nut} = \beta_0 D_i^{\beta_1} + \varepsilon_i \text{ (Tabela 13).}$$

Tabela 13. Modelos alométricos, apresentados pela equação não-linear cinco e seus coeficientes, para 11 nutrientes (C, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Na e Zn), em duas florestas secundárias (ZF-2 e S-8) (Manaus - AM).

<i>Melhor equação</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1
(1) $P_C = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,91	8,10	7731,353	2,323
(2) $P_N = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,82	11,60	694,764	2,130
(3) $P_P = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,75	14,85	40,788	2,391
(4) $P_K = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,87	10,36	505,546	2,469
(5) $P_{Ca} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,68	19,24	1336,620	2,499
(6) $P_{Mg} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,85	10,14	99,823	2,045
(7) $P_{Mn} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,81	13,04	9,198	2,165
(8) $P_{Fe} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,95	5,89	14,102	2,146
(9) $P_{Cu} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,85	10,21	0,488	2,152
(10) $P_{Na} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,74	12,45	25,833	1,660
(11) $P_{Zn} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,77	11,18	1,532	1,970

A distribuição de resíduos, quando avaliada por meio de equações alométricas, também é um importante indicador de modelos confiáveis e consistentes. Como já observado, o melhor modelo, mesmo alguns, apresentando valores de $S_{yx} \%$ maior que 20 %, é o não-linear 5, confirmado pela sua distribuição de resíduos (Figura 51 e 52).

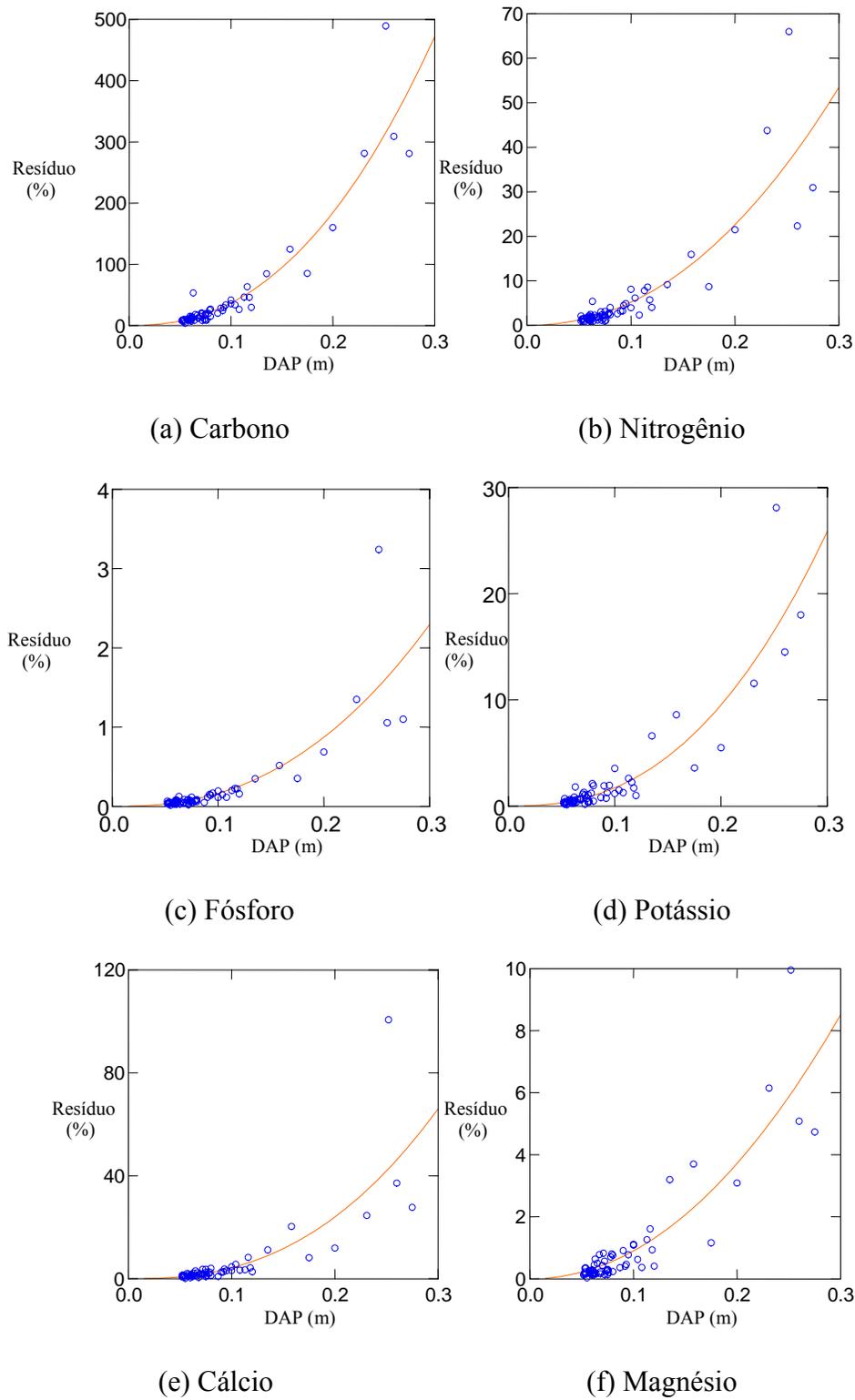


Figura 51. Distribuição de resíduos, utilizando o modelo não-linear cinco (5), para os nutrientes: C (a), N (b), P (c), K (d), Ca (e) e Mg (f).

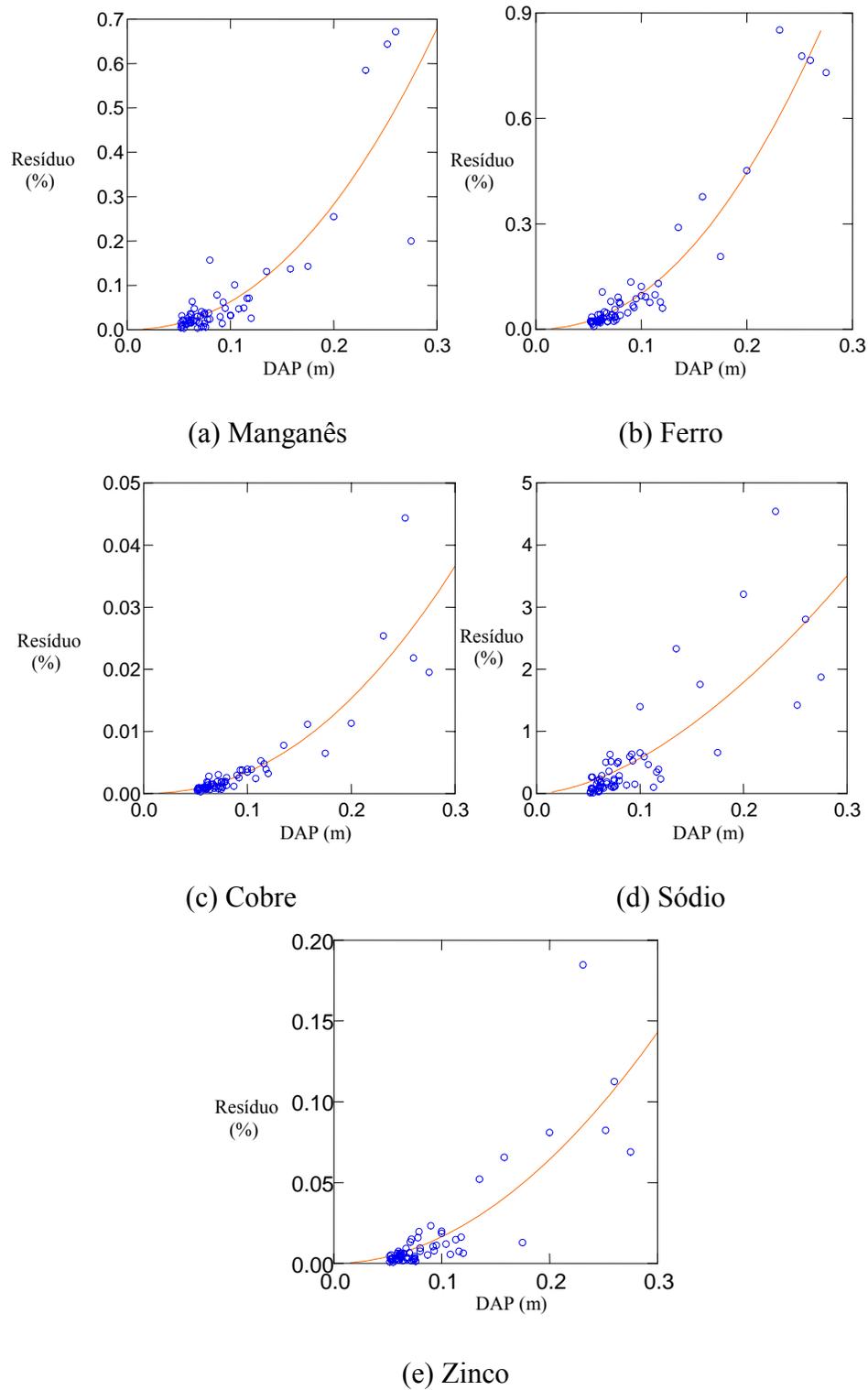


Figura 52. Distribuição de resíduos, utilizando o modelo não-linear cinco (5), para os nutrientes: Mn (a), Fe (b), Cu (c), Na (d) e Zn (e).

2.5 DISCUSSÃO

Para as estimativas dos teores de água, os valores da capoeira mais velha sobrepuseram o da capoeira mais jovem. Porém, estudo realizado por Silva (2007), na mesma área de estudo mostrou que com o n (n° de amostras) maior, se obtém o resultado inverso e a explicação pode estar na ausência de queimada após a derrubada da capoeira mais velha, além disso, ela verificou que as capoeiras apresentaram teores superiores ao da floresta primária, ou seja, as florestas em recuperação têm mais água acumulada na vegetação do que a primária.

Neste estudo, a média dos teores entre as duas capoeiras é semelhante (47,4 e 47,5 %, área de 14 anos e 23 anos, respectivamente), com os teores dos troncos, semelhantes entre as duas capoeiras (48,1 - capoeira de 14 anos; 48,5 - capoeira de 23 anos). De acordo com Silva (2007), os teores de carbono são mais consistentes e homogêneos do que os de água, pois observando áreas de capoeira em relação aos teores de carbono, os troncos e as raízes grossas foram próximos (44,8 %), valor que pode ser utilizado na transformação de peso seco em carbono.

O desenvolvimento de modelos alométricos foi realizado para suprir a necessidade de equações para se estimar nutrientes em indivíduos arbóreos, uma vez que em florestas tropicais, pouco ou quase nenhum modelo fora desenvolvido.

A escolha do melhor modelo de nutrientes baseou-se em critérios clássicos da análise de regressão. Para as equações de biomassa, Santos (1996) utilizou como critério, o coeficiente de determinação (R^2), para determinação de seus melhores modelos. Enquanto que, Silva (2007) usou o erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e a distribuição de resíduos.

Esse estudo usou como premissa, a observação do comportamento dos três critérios. Alternando entre o R^2 e o S_{yx} % e logo em seguida avaliando a distribuição dos resíduos, para a tomada de decisão não sendo usado o coeficiente de correlação múltipla (r).

Além disso, Santos (1996), em estudos de biomassa, usa como premissa, para avaliar a precisão e consistência do modelo a constante da regressão positiva, já que uma constante negativa pode implicar em estimativas de pesos negativos, o que é indesejável. Avaliando esse parâmetro e aplicando essa prerrogativa nos modelos de nutrientes, as equações 3, 5 e 6, atendem as exigências, porém, não será uma avaliação relevante neste estudo.

Quando os modelos foram avaliados em relação ao coeficiente de determinação (R^2), as equações de nutrientes deste estudo apresentaram valores que variaram de 0,10 a 0,90, quer dizer que os modelos explicam de 10-90 %, do conjunto de 60 indivíduos analisados e um erro padrão da estimativa (S_{yx} %) que chegou a 229 %. Isso mostra uma resposta diferente ao encontrado as

equações de biomassa que apresentam valores de R^2 sempre próximas a 1 e de S_{yx} % próximas de 0 % (Santos, 1996; Silva, 2007). Portanto, uma variabilidade menor do que a variabilidade apresentada.

Avaliando a distribuição de resíduos, apesar de sua concentração e agrupamento dos seus valores, o modelo não-linear, todavia é a melhor alternativa. De um modo geral, a maioria dos fenômenos naturais, especialmente o crescimento de uma árvore apresenta tendência não-linear e sigmoideal, fazendo com que modelos não-lineares produzam estimativas mais precisas que modelos lineares e logaritmos (Regazzi & Leite, 1992; Santos, 1996).

Ao indicar e avaliar modelos de regressão não-lineares deve-se conhecer a relação entre as variáveis, para ter o controle e prever respostas. O principal atributo desses modelos alométricos é dissolver a diversidade florística e as diferentes características inerentes à vegetação, além disso, neste caso o modelo pode dar indicativos do requerimento nutricional do indivíduo arbóreo.

Se considerarmos a facilidade de obtenção da variável analisada e o menor custo de coleta, utilizaremos apenas a variável DAP. Por esse motivo, esse modelo é o mais indicado, pelo custo e por utilizarem menos variáveis, aplicado a todos os nutrientes. Apesar de que para biomassa, o modelo quando acrescentado a variável independente altura, melhora cerca de 2 %, não tendo a mesma resposta para nutrientes (Silva, 2007).

2.6 CONCLUSÃO

Tendo em vista, a necessidade de se ter modelos alométricos, para prever e estimar a biomassa nas florestas tropicais, para fins das questões climáticas, uso da terra e outros, verificou-se a necessidade de também estabelecer modelos que fossem confiáveis, consistentes e replicáveis de nutrientes nas plantas e assim poder conhecer seus estoques, utilizando algumas variáveis de fácil obtenção.

Um exemplo claro de utilização dessas equações é a sua aplicabilidade em áreas onde se realizam os inventários florestais, pois, além de serem obtidas informações sobre o potencial madeireiro, terão indicadores de viabilidade (o quanto deve ser explorado), para que não haja evasão excessiva de nutrientes naquela área. Visto que, a retirada do tronco proporciona exportação de nutrientes considerável, devido a sua biomassa.

Seguindo os critérios de seleção dos modelos alométricos, o modelo mais adequado e indicado para utilização na região em estimativas de nutrientes, é o não-linear, que utiliza apenas, a variável independente diâmetro: $P_{nut} = \beta_0 D_i^{\beta_1} + \epsilon_i$, corroborado, quando comparado aos modelos de biomassa, que também indicam os modelos não-lineares.

Considerando o nível de precisão dos modelos, o coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa, em relação à média (Syx %), os elementos, **Fe** e **C** apresentaram destaque em relação, aos demais nutrientes. Ademais, o menor desempenho foi observado no **Ca**, porém, sem impedir a utilização das equações.

Uma ressalva é que esses modelos foram desenvolvidos, em áreas de florestas secundárias, com espécies pioneiras, ao nível de indivíduo. Além disso, em relação às mudanças climáticas devemos esclarecer que, essas estimativas dos estoques de C na biomassa viva total, deverão colaborar ainda mais com essas questões, pois darão uma maior precisão, sem contar, que poderá dar respostas para agricultores, pecuaristas e extensionistas da região, enquanto ao melhor destino para o uso do solo, em relação aos outros nutrientes.

Estes resultados são relevantes, em vista da inexistência de informações sobre esse assunto, onde a partir dessas respostas deve ficar claro, a necessidade de outros estudos que desenvolvam modelos alométricos, especificamente para nutrientes, em outras regiões e com outras formações florestais. Esse foi o passo inicial, para que outros estudos possam ser desenvolvidos nessa temática e assim dar indicativos, de um melhor aproveitamento dos recursos naturais.

CAPÍTULO 3

SOLOS: CARACTERIZAÇÃO EM DUAS FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA CENTRAL.

3.1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural vivo e dinâmico, sendo a sua qualidade definida, pela capacidade de funcionamento dentro do ecossistema visando a sustentabilidade da produtividade biológica, a manutenção da qualidade ambiental e a promoção da saúde de plantas e animais (Doran & Parkin, 1994). Nesse contexto, em ecossistemas florestais sobre solos quimicamente pobres, a ciclagem de nutrientes contidos na vegetação é de vital importância na manutenção do ecossistema em funcionamento (Schubart *et al.* 1984; Jordan, 1985).

As florestas primárias estabelecidas em solos intemperizados e de baixa fertilidade (Camargo & Falesi, 1975; Sanchez, 1976), tal como o da floresta tropical amazônica, depende de inúmeros mecanismos para se estabelecer nesses solos, com altas concentrações de nutrientes apenas nas camadas superficiais (Herrera, 1985) e da ciclagem interna para atender seus requerimentos nutricionais. Os principais fatores limitantes no solo são: deficiência de P, toxidez de Al, perda da reserva de K, elevada erosão, drenagem pobre, déficit hídrico, C.T.C. efetiva baixa (Tomé Jr., 1997; Dematte, 2000).

Nesse ecossistema florestal, acima de 80 % do Ca, Mg e K estão no solo (Juo & Manu, 1996), sendo a deposição de material orgânico, que constitui a serapilheira, uma das principais transferências de nutrientes que ocorrem nesse ecossistema (Campos *et al.*, 2005). Essa deposição é parte fundamental do ciclo biogeoquímico. Este, juntamente com o ciclo bioquímico, permite que essas florestas exuberantes possam manter-se nesses solos, sintetizando a matéria orgânica e desenvolvendo mecanismos de reutilização dos nutrientes (Vitousek & Sanford, 1986; Campos *et al.*, 2005).

As conseqüências da conversão das florestas, feitas com derrubada e queima da vegetação natural, ocasionam mudanças no solo, como a compactação e a limitante quantidade de matéria orgânica reciclável. Porém, quando ocorre o abandono dessas áreas, inicia-se o processo natural de recuperação do solo e a sucessão secundária. Durante essa sucessão, os nutrientes do solo têm uma relativa e constante taxa de suprimento, disponibilizando outros nutrientes, que se acumulam

na biomassa, porém, não ocasionando o aumento da fertilidade (Vitousek & White, 1981; Campos *et al.*, 2005).

A avaliação das concentrações de nutrientes no solo é importante para o entendimento da dinâmica das florestas em regeneração. Contudo, essas avaliações devem proporcionar indicativos de sustentabilidade, seja para fins econômicos, para dar viabilidade de uso nessas áreas ou para fins de restauração dos seus estoques de nutrientes minerais.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a fertilidade do solo em duas florestas secundárias, com diferentes históricos de uso na região de Manaus.

3.2.2 Objetivos Específicos

- a. Determinar os teores de nutrientes (P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn e Al), em duas de florestas secundárias e uma de floresta primária, em quatro diferentes profundidades (0-2,5 ; 2,5-7,5 ; 7,5-20; 20-40 cm);
- b. Determinar a física do solo por meio da granulometria;
- c. Determinar a química do solo por meio do pH.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Área de estudo

Para a avaliação da fertilidade dos solos, foram coletadas amostras em áreas de florestas secundárias, sob o platô, tanto na área da ZF-2 (1981-1982), que sofreu corte e abandono ($02^{\circ} 38' 38.0''$ S e $60^{\circ} 09' 49.9''$ W), como na área da S-8 (1991), que foi derrubada, queimada e posteriormente abandonada ($02^{\circ} 35' 18.7''$ S e $60^{\circ} 02' 37.3''$ W).

3.3.2 Coleta de amostras

As amostras de solo foram coletadas aleatoriamente nas áreas de estudo, sendo cinco amostras compostas em cada uma das áreas de floresta secundária. Com o auxílio de cilindros de 100 cm^3 e de um trado “holandês” foram coletadas amostras compostas (uma amostra composta = cinco amostras simples), nas profundidades: 0-2,5; 2,5-7,5; 7,5-20 e 20-40 cm, ao longo de cada uma das 10 sub-parcelas de 20 x 20 m. As amostras simples foram homogeneizadas em baldes plásticos para formar amostras compostas e uma porção representativa dos solos foram colocadas em sacos de tecido, identificados e transportadas para o laboratório. Logo em seguida, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura (EMBRAPA, 1999).

Na área de floresta primária ao lado da capoeira da ZF-2, seguindo a mesma metodologia das coletas de amostras em florestas secundárias, coletou-se uma amostra composta de solos para efeito de comparação (Figura 53).

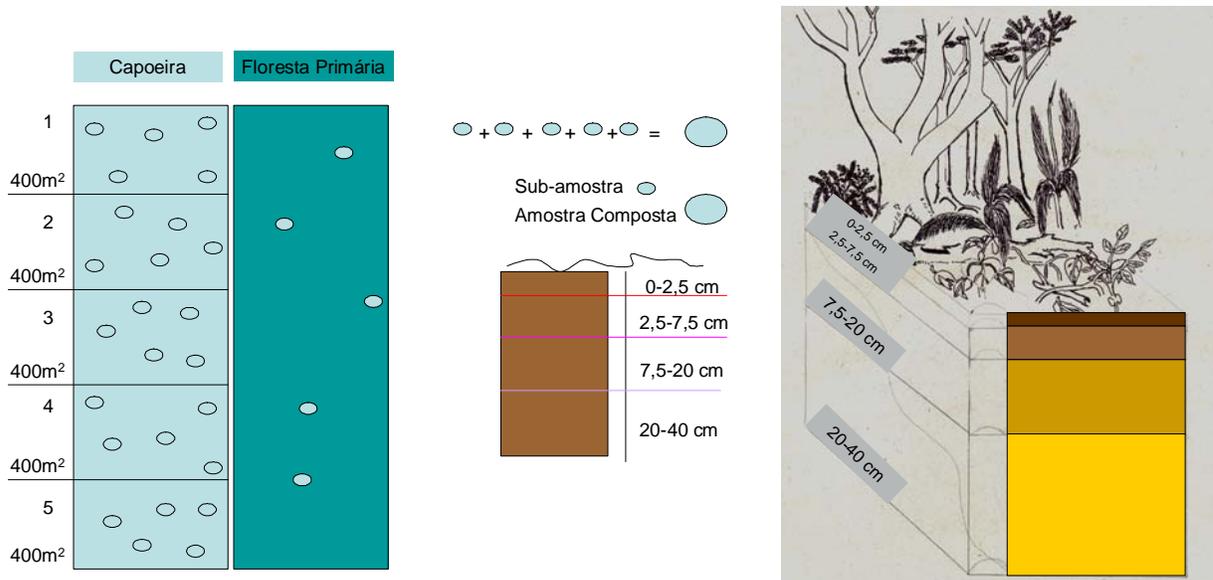


Figura 53. Desenho esquemático da coleta de solos.

3.3.3 Análise de nutrientes nos solos

3.3.3.1 Análise química do solo

Foram determinadas as seguintes propriedades:

1) $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e pH_{KCl}

Utilizando potenciometria, após diluição na proporção 1:2,5 (EMBRAPA, 1999).

2) $\text{P}_{\text{disp.}}$, $\text{K}_{\text{disp.}}$, **Mn**, **Fe** e **Zn**

Extração pela solução Mehlich 1 (duplo ácido: HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) (Silva e Raij, 1999; EMBRAPA, 1999). A determinação do P foi realizada no espectrofotômetro UV-VIS-120-01. Os demais elementos foram determinados no espectrofotômetro de absorção atômica, com chama ar-acetileno.

4) Ca^{2+} , Mg^{2+} , e Al^{3+}

A extração deu-se com a solução de KCl 1 mol L^{-1} (EMBRAPA, 1999; Raij *et al.*, 2001). A determinação de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram feitas no espectrofotômetro de absorção atômica, com chama ar-acetileno. O alumínio trocável (Al^{3+}) foi determinado pelo método de titulação com NaOH na presença de azul-de-bromotimol como indicador (EMBRAPA, 1999).

3.3.3.2 Análise física do solo

Foram realizadas análises de granulometria (% de areia, silte e argila).

As análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas/INPA.

3.3.4 Análise estatística

Foi utilizado o teste estatístico ANOVA, do programa SYSTAT 8.0, para comparar diferentes solos, diferentes profundidades e os nutrientes disponíveis.

3.4 RESULTADOS

Os solos, para serem classificados requerem uma quantidade de nutrientes pré-estabelecidos para sua disponibilidade, enquanto a sua capacidade de suporte e fertilidade.

Na tabela 14 são descritos os valores médios para os teores de nutrientes no solo. Todos os nutrientes apresentaram teores maiores nas camadas superficiais, com exceção do P, na área de capoeira da S-8, do Mn na área de capoeira da ZF-2 e do Fe na capoeira da S-8 e floresta primária, onde houve inversão dos valores nas camadas superiores. Em geral, os maiores teores foram observados na área de capoeira da ZF-2.

Tabela 14. Média dos teores de oito nutrientes (mg kg^{-1}) em solos de duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8) e floresta primária (ZF-2), em quatro diferentes profundidades.

Área	Profundidade (cm)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Al
		mg kg^{-1}							
Floresta	0-2,5	3,3	47,0	37,5	45,0	5,9	139,5	1,6	2,4
	2,5-7,5	1,0	24,5	11,5	14,5	1,5	222,5	0,3	1,6
	7,5-20	0,5	16,5	12,5	15,0	1,5	226,5	0,2	1,1
	20-40	0,3	22,0	6,5	8,5	2,1	183,0	0,1	1,0
ZF-2	0-2,5	8,1	133,6	107,8	44,3	2,5	248,5	2,1	2,2
	2,5-7,5	1,5	89,8	42,0	19,9	5,9	239,1	0,9	1,7
	7,5-20	0,8	83,8	28,7	14,7	2,9	258,5	0,9	1,4
	20-40	0,4	39,2	14,1	7,6	2,4	205,5	0,3	1,2
S-8	0-2,5	5,0	74,6	90,0	34,0	6,4	259,6	1,5	2,8
	2,5-7,5	1,6	103,2	39,4	15,3	6,2	273,6	0,5	1,8
	7,5-20	0,8	54,6	28,7	10,5	4,3	283,7	0,3	1,4
	20-40	0,5	37,6	28,5	8,5	3,9	233,7	0,2	1,2

As análises estatísticas avaliando solos sob floresta primária e duas florestas secundárias, de diferentes idades e usos, apresentaram diferenças significativas para os nutrientes K, Fe ($p < 0,01$) e Mn ($p < 0,05$) (Figura 54 e 55).

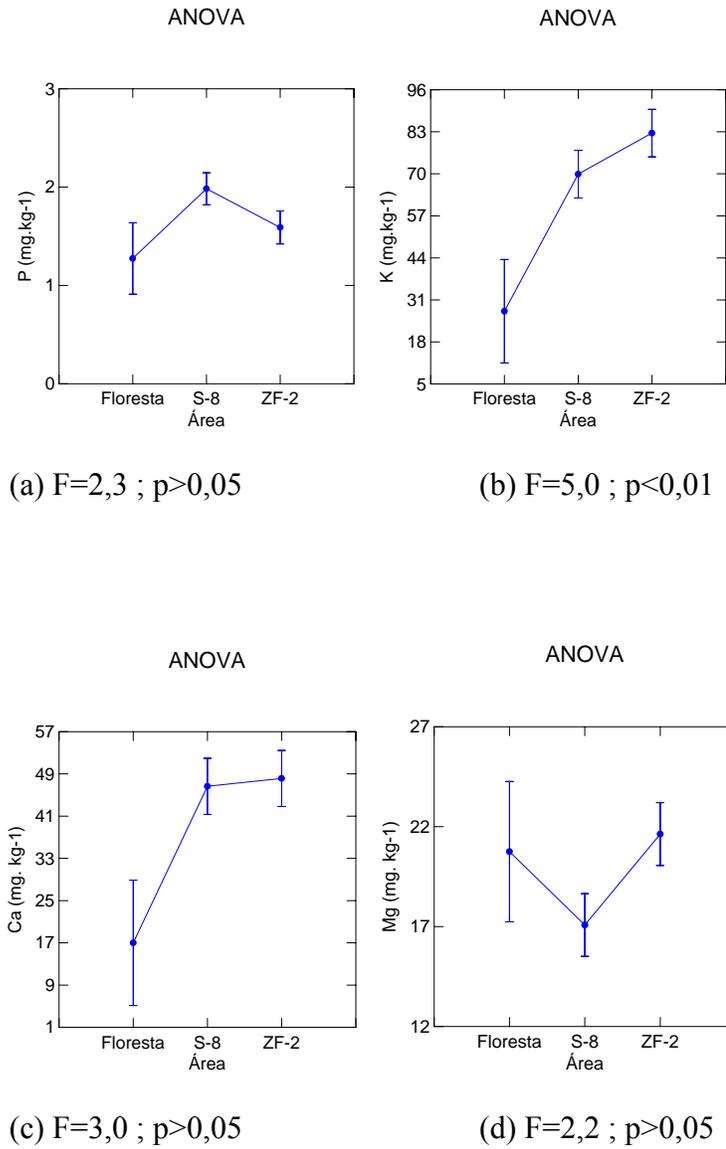


Figura 54. Análise estatística avaliando os nutrientes (mg kg^{-1}) em três diferentes solos (floresta primária da ZF-2, floresta secundária da ZF-2 e floresta secundária da S-8) da EEST/INPA: **(a)** P, **(b)** K, **(c)** Ca, **(d)** Mg.

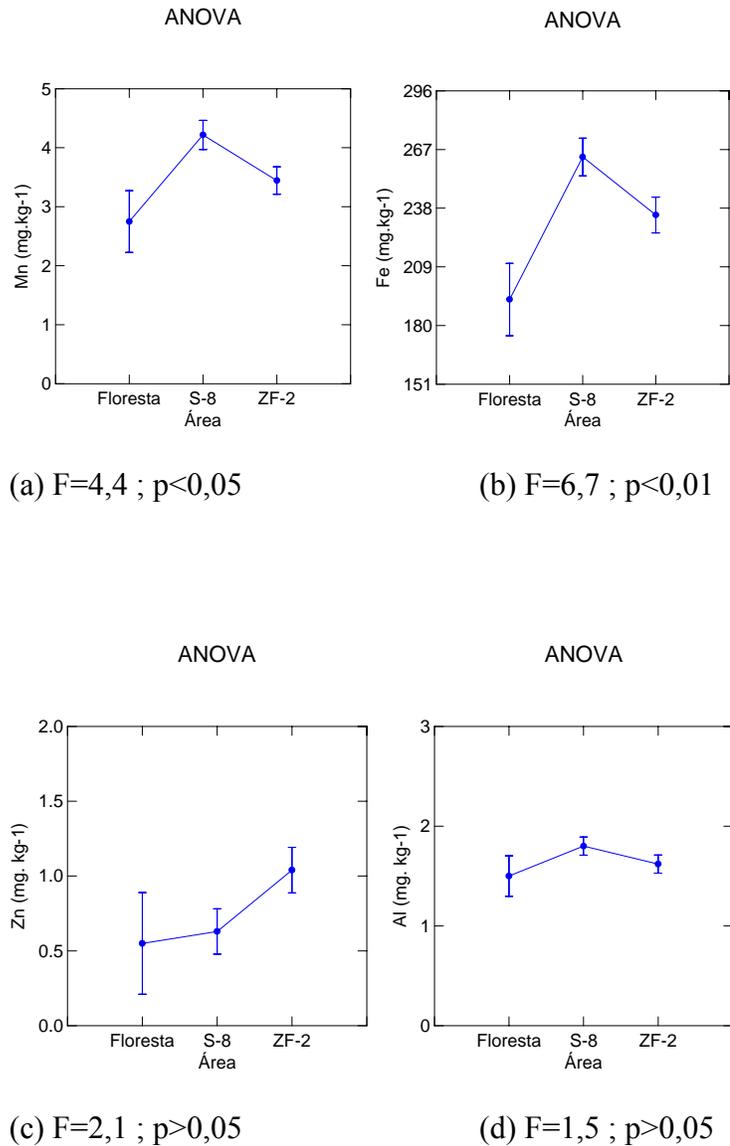


Figura 55. Análise estatística avaliando os nutrientes (mg kg⁻¹) em três diferentes solos (floresta primária da ZF-2, floresta secundária da ZF-2 e floresta secundária da S-8) da EEST/INPA: **(a)** Mn, **(b)** Fe, **(c)** Zn e **(d)** Al.

A granulometria dos solos é estabelecida pela separação de partículas de diferentes tamanhos e classificada pelo seu diâmetro. Essas partículas estão arranjadas de forma, mais ou menos agregadas, originando os “agregados”. No caso da argila, a agregação de suas partículas é devido à neutralização de suas cargas negativas superficiais pelas positivas de alguns cátions (Tomé Jr., 1997).

As maiores porcentagens de particulados do solo foram encontrados na argila, na área da S-8 (14 anos), com máxima de 75,6 %, na maior profundidade (20-40 cm), e o menor valor na área de floresta primária, nas duas profundidades mais próximas da superfície (0-2,5 e 2,5-7,5 cm). Em seguida, podemos observar o particulado de areia, onde, para as áreas de floresta primária e da ZF-2 (23 anos), apresentaram a segunda maior porcentagem, 19 e 18 %, respectivamente, na profundidade superficial (Tabela 15).

Os valores para pH_{H_2O} , seguiram a seguinte ordem para as camadas superiores (0-2,5): floresta primária > capoeira da ZF-2 > capoeira da S-8. Porém, os maiores valores foram apresentados nas camadas mais profundas, na área de floresta primária e capoeira da S-8 (4,47 e 4,26, respectivamente).

Para o pH_{KCl} , as três áreas mostraram valores próximos a camada superficial (3,78; 3,79 e 3,70, floresta primária, ZF-2 e S-8, respectivamente), com os maiores valores para a floresta primária (4,24); capoeira da ZF-2 (4,11) e capoeira da S-8 (4,15), na profundidade de 20 - 40 cm (Tabela 15).

Tabela 15. Resultados das análises de solos de granulometria e pH, de duas florestas secundárias (ZF-2 e S-8) e floresta primária (ZF-2).

Área	Profundidade (cm)	% Areia	% Silte	% Argila	pH_{H_2O}	pH_{KCl}
Floresta	0-2,5	18,87	14,13	67	4,41	3,78
	2,5-7,5	17,41	15,59	67	4,37	3,97
	7,5-20	14,51	16,49	69	4,34	4,23
	20-40	11,37	10,13	78,5	4,47	4,24
ZF-2	0-2,5	18,22	13,08	68,7	4,29	3,79
	2,5-7,5	16,56	13,94	69,5	4,24	4,02
	7,5-20	13,56	16,24	70,2	4,17	4,11
	20-40	11,33	16,37	72,3	4,18	4,11
S-8	0-2,5	12,71	14,39	72,9	4,07	3,70
	2,5-7,5	12,91	10,89	76,2	4,19	4,02
	7,5-20	9,94	14,58	75,4	4,09	4,02
	20-40	11,14	13,26	75,6	4,26	4,15

Para a análise estatística, em diferentes profundidades (a) 0-2,5, (b) 2,5-7,5, (c) 7,5-20 e (d) 20-40 cm, foram apresentadas diferenças significativas para: P, Ca, Mg e Al ($p < 0,01$), Zn ($p = 0,001$), K ($p < 0,05$), Mn ($p = 0,05$) (Figura 56 e 57).

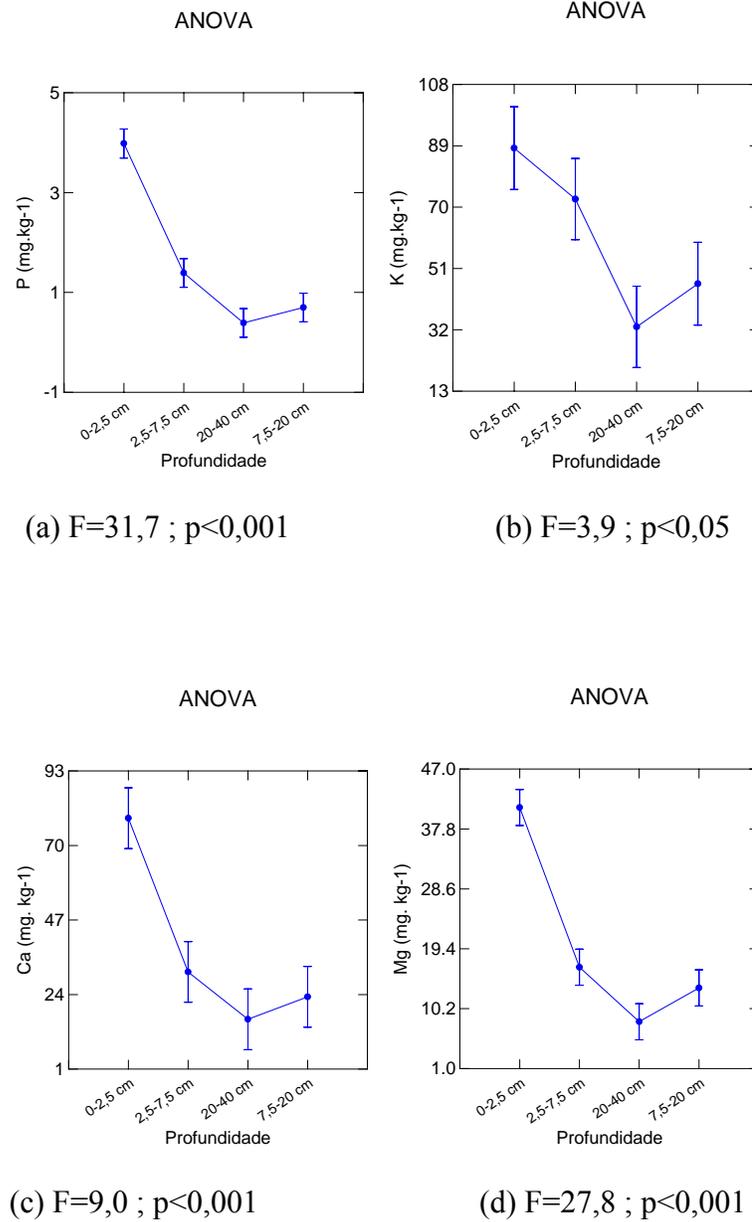


Figura 56. Análise estatística avaliando os nutrientes (mg kg⁻¹) em quatro diferentes profundidades, em duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8) e uma área de floresta primária (ZF-2) da EEST/INPA: (a) P, (b) K, (c) Ca, (d) Mg.

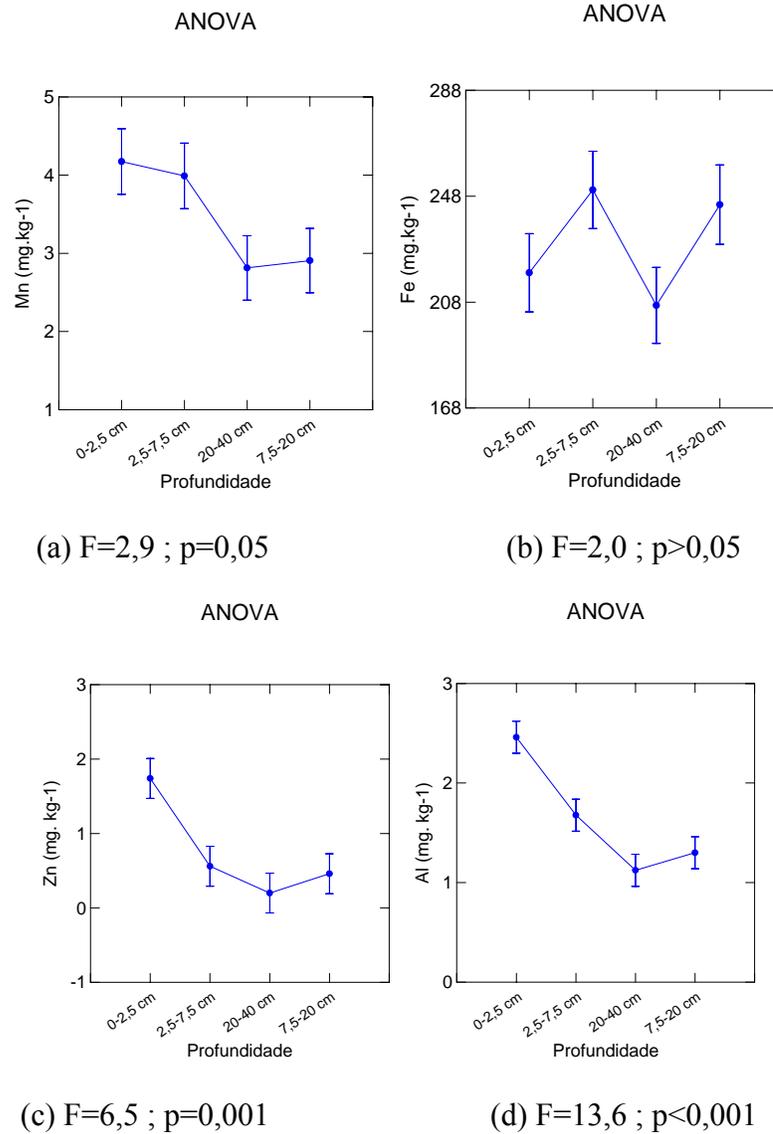


Figura 57. Análise estatística avaliando os nutrientes (mg kg⁻¹) em quatro diferentes profundidades, em duas áreas de florestas secundárias (ZF-2 e S-8) e uma de floresta primária (ZF-2) da EEST/INPA: Mg, **(a)** Mn, **(b)** Fe, **(c)** Zn e **(d)** Al.

3.5 DISCUSSÃO

Neste estudo, os maiores teores de nutrientes presentes no solo, foram apresentados pelo K, Mg e Fe e as maiores porcentagens granulométricas dadas pela argila. De acordo com Ferraz *et al.* (1998), as maiores concentrações dos micronutrientes Fe, Mn e Cu estão nos solos dos platôs, o que pode ser associado à textura argilosa desses solos. Estes autores citam que a oferta de Fe e Zn para as plantas em solos arenosos é provavelmente reduzida, devido aos maiores teores desses nutrientes estarem abaixo da zona principal de enraizamento das plantas. Em contrapartida, as áreas estudadas possuem uma maior porcentagem de argila, o que deve ter colaborado com os maiores teores de Fe.

Avaliando os teores de nutrientes, em área de floresta primária (ZF-2) e de florestas secundárias (ZF-2 e S-8), apenas os nutrientes K, Fe e Mn apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), onde o maior valor médio para o K ($86,6 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observado na capoeira da ZF-2 e para os nutrientes, Fe ($262,7 \text{ mg kg}^{-1}$) e Mn ($5,0 \text{ mg kg}^{-1}$), na capoeira da S-8.

O elemento K diminuiu suas concentrações, com a profundidade. Tomé Jr. (1997), diz que as concentrações de K, são mais elevadas em solos argilosos que em solos arenosos, com redução nas maiores profundidades, onde os cátions como o K, Ca e Mg necessitam da relação direta com a matéria orgânica para serem disponibilizados no solo e novamente para as plantas.

O Mg apresentou concentrações semelhantes aos do K, em área de floresta primária, porém inferior, em áreas de florestas secundárias, na camada de 0-2,5 cm. Segundo Diehl & Luizão (1997), em áreas que sofreram intervenção, os solos na camada de 0-10 cm, apresentaram concentrações maiores de Mg, quando comparados com uma floresta intacta. Todavia, estes autores indicam que a exploração seletiva produz um aumento de bases trocáveis no solo, pelo material depositado. De alguma forma, pensou-se para esse trabalho que os resultados fossem semelhantes, já que em pelo menos uma das florestas secundárias desse estudo, o material vegetal foi abandonado na área.

No leste da Amazônia, Johnson *et al.* (2001) observaram redução na concentração de Ca no solo, na camada de 0-5 cm de profundidade, com o aumento da idade de capoeiras (10, 20 e 40 anos). Essa diminuição pode indicar uma imobilização de nutrientes na vegetação, a uma velocidade que não iguala a taxa de retorno dos nutrientes para o solo através da queda e decomposição da serapilheira. Contudo, este estudo observou o inverso, quando se avalia idade das capoeiras (14 e 23 anos), que pode ser explicado pelo histórico de uso ou pelas espécies ali encontradas. Outros estudos mostram que os efeitos da exploração madeireira persistem por

vários anos, pois há uma liberação desse elemento contido nos resíduos lenhosos depositados, seja pelo tronco ou pelos galhos (Diehl & Luizão, 1997).

O Ca e o Mg estão diretamente relacionados à acidez do solo, como observados neste estudo. Áreas com solos ácidos apresentam concentração baixa de nutrientes e provavelmente apresentam toxidez por Al. Como o alumínio é um íon tóxico o ideal é que “seus teores no solo sejam nulos”, mas nem sempre, ele sozinho, pode caracterizar a toxidez do solo (Tomé Jr., 1997).

Analisando o Ca no solo, das três áreas, foi observada uma similaridade entre os valores médios das duas capoeiras (48,2 e 46,7 mg kg⁻¹, ZF-2 e S-8, respectivamente) e um aumento em relação à floresta primária, 17 mg kg⁻¹. Porém, uma possível limitação do crescimento das florestas secundárias sugeridas por Feldpausch *et al.* (2004), mostraram que, desde o abandono, em capoeiras de 10 a 14 anos, na região de Manaus, houve altas taxas de relocação do Ca do solo para as plantas, grandes estoques de Ca na vegetação, indicando alta demanda desse nutriente para produção de biomassa, o que criaria um déficit de Ca no solo.

As maiores concentrações de nutrientes estão presentes na camada superior do solo (0-2,5 cm). Isso mostra que as principais trocas e interações ocorrem, onde há um maior acúmulo e deposição dos materiais vegetais, disponibilizado por ex., pela serapilheira. Outros estudos confirmam esses resultados como os trabalhos de Johnson *et al.*, (2001), McGrath *et al.*, (2001) e Markewitz *et al.*, (2004), que avaliaram os solos, em diferentes áreas de florestas secundárias, observando que as maiores concentrações estão nas camadas de 0-5 cm, com valores semelhantes aos desse estudo. Esses autores discutem ainda, que o padrão da distribuição vertical, dos teores dos nutrientes trocáveis, como o K, Ca e Mg são observados nas camadas mais próximas à cobertura vegetal, onde o há maior intensidade da ciclagem de nutrientes.

A queima da floresta durante o desmatamento adiciona nutrientes da vegetação ao solo (Harcombe, 1980). Dessa forma, as concentrações de Ca e Mg no solo apresentaram uma tendência de diminuição com a idade de regeneração. Esperava-se que a concentração dos cátions no solo se elevasse na área que sofreu queima, porém seus valores foram maiores na área que sofreu corte e abandono.

O P disponível diminuiu com a profundidade, já que é um elemento pouco móvel, porém em maiores concentrações no solo, do que na biomassa (Dematte, 2000). Vitousek (1984), diz ser o elemento P, o mais limitante em florestas secundárias. Porém, as espécies pioneiras que crescem sobre solos de baixa fertilidade, apresentam uma elevada eficiência no uso de nutrientes escassos no ecossistema.

Además, para o P existe uma distribuição adequada entre o solo e a floresta, representando, as reservas na vegetação de 20-50 % da reserva total de P no solo. Contudo o caráter drenante de P é elevado em formas pouco disponíveis para as plantas (Campos *et al.*, 2005). O estudo de Santos Jr. *et al.* (2006), mostram valores para P de 0,3 mg kg⁻¹ (0-20 cm) e de 0,7 (20-40 cm), em áreas degradadas. Esses valores são inferiores aos encontrados na área desse estudo, para a camada de 0-2,5 cm, com valores de 3,3, 8,1 e 5,0 mg kg⁻¹ (floresta primária ZF-2, capoeira da ZF-2 e S-8, respectivamente) e semelhantes na camada de 20-40 cm (floresta primária: 0,3; capoeira S-8: 0,4 e capoeira ZF-2: 0,5 mg kg⁻¹). Para os maiores valores encontrados nas camadas superiores a explicação pode estar na metodologia utilizada para a coleta de amostras do solo.

O teor de nutrientes fornece informação qualitativa. Estatisticamente, apenas o Fe não apresentou diferença significativa nas profundidades estudadas ($p > 0,05$), uma das explicações é dada por um fator adverso do solo, como a relação das florestas tropicais, principalmente em áreas de regeneração (capoeira) que apresentam um baixo crescimento radicular, permitindo um armazenamento maior no solo (Kirkby & Romheld, 2007).

O diferenciado uso do solo pode desempenhar um papel decisivo em alterar o status nutricional de um lugar (Cole, 1995), mas a duração do efeito pode ser variável. Por exemplo, Negrete-Yankelevich *et al.* (2007), estudando florestas secundárias no México, encontraram que a disponibilidade de cátions (Ca, Mg, Na e K) na camada de 0-5 cm do solo diminuiu mais que 50 % como resultado de corte seletivo, sendo que somente a disponibilidade de Mg foi recuperada após 75 anos de sucessão, enquanto McDonald & Healey (2000) destacam que a ciclagem de nutrientes e a fertilidade do solo de florestas secundárias na Jamaica foram efetivamente restauradas em cerca de 20 anos após o abandono de áreas agrícolas (plantações).

Contudo, a floresta secundária da ZF-2 (23 anos), apresenta valores, que se aproximam aos valores da floresta primária. Estes resultados corroboram com estudo que relacionam a idade das capoeiras (0-13 anos) e o uso da terra (pastos de uso leve-pesado) como fator preponderante, dizendo que quanto mais velha a capoeira, maior a quantidade de fitomassa acima do solo (Uhl *et al.*, 1988; Guimarães, 1993), por conseguinte, melhor e maior é a qualidade nutricional.

Avaliando o histórico de uso, os teores de nutrientes no solo foram maiores na área da capoeira da ZF-2. Porém para essa variável preditora, esperava-se que a área da S-8, apresentasse os maiores teores, devido à queima e a incorporação mais rápida dos nutrientes no solo. Em contrapartida, avaliando a idades das áreas, esperava-se que a área da ZF-2, por ser a capoeira

mais antiga, apresentasse os maiores teores de nutrientes, devido a maior quantidade de biomassa produzida. Uhl *et al.* (1988), fazendo alusão ao histórico de uso, mostram que distúrbios provocados por pastos são muito maiores e mais prolongados do que aqueles causados por desmatamento seguido de corte e queima. Contudo, observando o comportamento dessas variáveis de uma forma geral, a idade, demonstra ter sido a principal influência nas concentrações de nutrientes no solo.

A grande variabilidade na intensidade de uso da terra possivelmente está associada aos diferentes efeitos encontrados em vários trabalhos (Schroth *et al.*, 2001; Feldpausch *et al.*, 2004), já que, para interpretar a resposta das florestas secundárias aos tipos de usos da terra é necessário saber quais foram às condições do local modificadas pela atividade humana, pois cada tipo de intervenção afeta um componente diferente do ecossistema e, portanto, tem um efeito diferente na resposta do ecossistema (Cólón & Lugo, 2006).

Deve-se deixar claro que o efeito das duas variáveis (histórico de uso e idade) sobre o solo foi distinto, porém com a ressalva de que pode ter havido interferência de uma variável na outra. Além disso, podemos adicionar mais um efeito, que é a variabilidade das espécies sobre o solo (Jobbágy & Jackson, 2001), seja através do acúmulo de altas concentrações de nutrientes individuais, elementos traços ou compostos secundários (Vogt *et al.*, 1995), ou por uma distribuição desigual dos nutrientes, uma vez que nutrientes raramente são uniformemente distribuídos no espaço (Crawley, 1997). Entretanto, a concentração de Ca, Mg e Al no solo, se dispuseram de forma semelhante, indicando que a resposta do solo, na escala espacial em que foi estudada, é homogênea.

Aweto (1981a), no noroeste da Nigéria afirma que a idade do pousio, resultante de práticas de agricultura itinerante, afeta o acúmulo de nutrientes no solo, sendo que a predominância de certas espécies de planta pode restaurar a fertilidade do solo, por meio da produção de serapilheira ou oferecendo maior proteção contra a destruição de matéria orgânica e a perda de nutrientes através da erosão e lixiviação. Aweto (1981b) mostrou que houve um aumento na concentração de nutrientes, na camada de 0-10 cm do solo, entre o terceiro e o sétimo anos seguintes ao abandono de áreas agrícolas, mas, que a partir do décimo ano, houve um declínio na concentração de nutrientes.

Ao se retirar à cobertura original dessas florestas as condições do solo são alteradas, fazendo com que diminuam as concentrações de nutrientes, o aumento do pH e acidez. Porém nesse estudo, Houve um aumento das concentrações de nutrientes, em áreas de florestas

secundárias, quando comparado a uma floresta intacta. Já, a acidez do solo aumenta pela lixiviação dos cátions básicos do solo (Schroth, 2003), que pode ter sido favorecida pela retirada da camada grossa da floresta secundária. O $\text{pH} \leq 5,0$ em água e o $\text{pH} \leq 4,3$ em KCl, mostra a acidez elevada dos solos das áreas de estudo, o que não é diferentes em florestas tropicais (Schubart *et al.*, 1984).

Schroth (2003) cita que Noble & Randall (1999) encontraram uma relação altamente significativa entre alcalinidade de cinzas em material vegetal e as alterações de pH em solos ácidos durante oito semanas de incubação de folhas no solo, baseado no aumento da mobilidade de cátions de nutrientes no solo. Os autores sugerem, alta alcalinidade e habilidade na formação de complexos com alto risco de perdas de nutrientes (podendo aumentar o potencial no subsolo); alta alcalinidade e baixa habilidade são favoráveis ao aumento de bases na superfície do solo e baixa alcalinidade e alta habilidade podem influenciar um forte efeito de podzolização.

Como de fato aconteceu, pH abaixo de 4,5 pode de alguma maneira ter restringido o crescimento e indicado condições desfavoráveis às plantas, um exemplo é a pobreza de Ca e Mg, alta fixação de P, toxidez por Al, deficiência de micronutrientes, excesso de sais, baixa C.T.C. efetiva, baixa saturação por bases, ainda podendo ocorrer limitação da decomposição de M.O. (Tomé Jr., 1997).

Em condições naturais o pH aumenta à medida que aprofunda o solo e aumenta a disponibilidade de nutrientes nas camadas mais superficiais ocasionada pela matéria orgânica acumulada sob o solo (Tomé Jr., 1997). De fato, este resultado confirma os encontrados nessa avaliação, porém com os maiores valores de pH, ainda na camada superficial de 0-2,5 cm.

Os particulados do solo, de todas as áreas avaliadas, apresentaram os maiores valores para as porcentagens de argila, o que caracteriza áreas de platô (Dematte, 2000). Porém, para as áreas de floresta primária, obteve-se as menores porcentagens, o que demonstra a não exposição do solo. Solos muito arenosos, geralmente apresentam baixos teores de matéria orgânica, baixa capacidade de retenção de nutrientes e principalmente, baixa capacidade de retenção de água. Já em solos argilosos, os fatores principais, que afetam a produtividade são o encrostamento superficial, a compactação e algumas vezes a tendência ao anaerobismo (Tomé Jr., 1997).

3.6 CONCLUSÃO

Os três diferentes tipos de solos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para os nutrientes K, Mn e Fe. A explicação é dada pelo fato do K e do Mn, estarem diretamente ligado à biomassa e o Fe ligado à biomassa de raízes.

Avaliando as profundidades, mais uma vez, apenas o Fe não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$), mostrando que a sua variação é mínima entre as camadas, já que depende das raízes para sua absorção. As profundidades superficiais (0-2,5 cm) apresentaram os maiores valores e isso se deve a presença da serapilheira e influência direta da disponibilidade de matéria orgânica sob os solos.

O $\text{pH} \leq 5,0$ em água e o $\text{pH} \leq 4,3$ mostram a acidez elevada dos solos das áreas de estudo, o que só vem confirmar os solos de florestas tropicais.

Foram apresentadas as maiores porcentagens na constituição granulométrica do solo para argila, o que demonstra a caracterização de áreas sob posições topográficas de platô, sendo os menores valores para a floresta primária onde há um maior equilíbrio de suas camadas superficiais e uma camada maior de M.O., mais bem distribuída.

Os maiores valores médios foram encontrados nas áreas de florestas secundárias, especificamente nas camadas superficiais da área ZF-2, um fator que pode ter influenciado está ligado a idade da área, pois quanto mais antiga a floresta em regeneração, maior a biomassa e conseqüentemente uma maior e melhor disponibilidade de nutrientes.

BIBLIOGRAFIA

- Allaby, M. 1998. *A Dictionary of Ecology*. Oxford Paperback reference. 2° edição. Oxford University Press. 364/440p.
- Anderson, J.N.; Ingram, J.S.I. 1989. *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. Wallingford, CAB International, 171p.
- Armstrong, M.J.; Kirkby, E.A. 1979. The influence of humidity on the mineral composition of tomato plants with special reference to calcium distribution. *Plant Soil* 52, pp. 427-435.
- Aweto, A.O. 1981a. Secondary succession and soil fertility restoration in south-western Nigeria. I. Succession. *Journal of Ecology*, 69: 601-607.
- Aweto, A.O. 1981b. Secondary succession and soil fertility restoration in south-western Nigeria: II. Soil fertility restoration. *Journal of Ecology*, 69: 609-614.
- Brinkmann, W.L.F.; Nascimento, J.C. 1973. The effect of slash and burn agriculture on plant nutrients in the Tertiary region of Central Amazonia. *Turrialba*, 21(4): 459-465.
- Brown, S.; Lugo, A.E. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*, 6: 1-32.
- Brown, S.; Lugo, A.E.; Gillespie, A.J.R. 1989. Biomass estimation methods of tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4): 881-902.
- Buschbacher, R.; Uhl C.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. II. Nutrient stocks in the soil and vegetation. *Journal of Tropical Ecology*, 75: 682-701.
- Caldeira, M.V.W.; Schumacher, M.V.; Pereira, J.C.; Della-Flora, J.B.; Santos, E.M. dos. 1999. Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em um povoamento de *Acacia mearnsii* de wild no Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.9, n.1, p. 19-24.

- Caldeira, M.V.W.; Soares, R.V.; Marques, R.; Wisniewski C. 2003. Biomassa e nutrientes em *Myrsine ferruginea* (Ruiz & Pav.) Mez E *Myrsine umbellata* Mart. *Revista Floresta*, 33(3) 265-273.
- Camargo, M.N.; Falesi, I. 1975. Suelos del Planalto Central y la carretera Transamazônica del Brasil. In: Bornemisza, E.; Alvarado, E., ed. *Manejo de suelos en la América Tropical*. Raleigh, N. C., USA, North Carolina State University. p. 24-44.
- Campos, M.L.; Marchi, G.; Lima, D.; Silva, C.A. 2005. *Ciclagem de nutrientes em floresta e pastagem*. Lavras: UFPA, (Boletim Técnico).
- Canavesi, V.; Kirchner, F.F. 2005. Quantificação de macronutrientes em floresta ombrófila mista montana utilizando dados de campo e dados obtidos a partir de imagens de satélites IKONOS II. *Floresta*, Curitiba, PR, 35(3): 451-464.
- Carvalho Jr., J.A.; Santos, J.M.; Santos, J.C.; Leitão, M.M.; Higuchi, N. 1995. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. *Atmospheric Environment*, 29(17): 2301-2309.
- Cochrane, T.T.; Sanchez, P.A. 1982. Land resources, soils and their management in the Amazon Region: a state of knowledge report. In: *Amazonia: Agriculture and Land Use Research*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), S.B. Hecht, compiladora. Cali, Colombia, p. 137-209.
- Cole, D.W. 1995. *Soil nutrient supply in natural and managed forests*. In: Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems (L.O. Nilsson, R.F. Hüttnl & U.T. Johansson, eds.), p. 43-53.
- Cólon, S.M.; Lugo, A.E. 2006. Recovery of a subtropical dry forest after abandonment of different land uses. *Biotropica*, 38: 354-364.
- Crawley, M.J. 1997. *Plant Ecology*. (ed.) Blackwell Science, Oxford.

- Cunha, G.C.; Grandene, L.A.; Durlo, M.A.; Bressan, D.A. 1993. Dinâmica nutricional em Floresta Estacional Decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. *Ciência Florestal*, 3(1): 35-64.
- Davidson, E.A.; Carvalho, C.J.R.; Vieira, I.C.G.; Figueiredo, R.O.; Moutinho, P.; Ishida, F.Y.; Santos, M.T.P.; Guerrero, J.B.; Kalif, K.; Saba, R.T. 2004. Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest. *Ecological Applications*, 14: 150-163.
- Dematte, J.L.I., 2000. *Solos*. In: Salati, E.; Absy, M.L.; Victoria, R.L. (Eds.) “Amazônia: Um ecossistema em transformação”. INPA, Manaus, 2000. 119-162 p.
- Denich, M. 1991. *Estudo da importância de uma vegetação secundária nova para o incremento da produtividade do sistema de produção na Amazônia Oriental brasileira*. Tese de Doutorado, Universidade Georg August de Göttingen, Eschborn-Alemanha, 284p.
- Dias, A.C.C.P.; Neves, A.D.S.; Barbosa, R.C.M. 1980. *Levantamento de solos da Estação Experimental Rio Negro*.
- Diehl, C.; Luizão, F. 1997. Mudanças na acidez e bases trocáveis do solo após corte seletivo de madeira. *Projeto BIONTE*. Relatório final. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, 194-198.
- Doran, J.W.; Parkin, T.B. 1994. *Defining and assessing soil quality*. In: J.W. Doran *et al.* (ed). *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Spec. N^o. 35. Madison, WI. p. 3-21.
- Dourojeanni, R.M. 1990. *Amazônia ¿Que Hacer?* Centro de estudos Teológicos de la Amazônia, Iquitos, Peru.

- Draper, N.R.; Smith, H. 1966. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York, EUA. 407p.
- EMBRAPA. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: *Embrapa*, 412p.
- Evans, L. 1979. The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. *Plant and Soil*, The Hague, 52(4): 547-52.
- Fearnside, P.M. 1991. *Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia*. In: Levine, J.S. (Ed.). *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, pp. 92–105.
- Fearnside, P.M. 1994. Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. p. 95-124. In: *Anais do Seminário Emissão x Sequestro de CO₂*. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro, Brasil. 221p.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80(1-3): 21-34.
- Fearnside, P.M. 2005. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. *Megadiversidade*. 1(1): 113-123.
- Fearnside, P.M. 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controles. *Acta Amazonica*.
- Fearnside, P.M.; Leal, N.; Fernandes, F.M. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 98(D9): 16733-16743.
- Fearnside, P.M.; Guimarães, W.M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80: 35-46.

- Feldpausch, T.R.; Rondon, M.; Fernandes, E.C.M.; Riha, S.J.; Wandelli, E.V. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological Applications*, 14(4): S164-S176.
- Ferraz, J.; Ohta, S.; Sales, P.C. de. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In: Higuchi, N.; Campos, M.A.A.; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. dos (Eds). *Pesquisas florestais para a conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas da Amazônia*. INPA. Manaus-AM. p. 111-114.
- Ferreira, A.B. de H. 1987. *Novo dicionário do Aurélio da língua portuguesa*. 2º edição. Revista e ampliada. Editora Nova Fronteira, São Paulo - SP. 344/1838p.
- Ferreira, R.L.C. 1997. *Estrutura e dinâmica de uma floresta secundária de transição, Rio Vermelho e Serra Azul de Minas, MG*. Viçosa, MG: UFV. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. 208p.
- Foster Brown, I.; Martinelli, L.A.; Wayt Thomas, W.; Moreira, M.Z.; Cid Ferreira, C.A.; Victoria, R. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 75: 175-189.
- Gehring, C. 2003. *The role of biological nitrogen fixation in secondary and primary forests of Central Amazonia*. Cuvillier, Gottingen, Germany. 170 pp.
- Gehring, C.; Denich, M.; Kanashiro, M.; Vlek, P.L.G. 1999. Response of secondary vegetation in Eastern Amazonia to relaxed nutrient availability constraints. *Biogeochemistry*, 45:223-241.
- GISLAB. www.inpa.gov.br/gislab.htm. Acessado 05 de maio de 2006. 10:00h.
- Golley, F.B.; Yantko, J.; Richardson, T.; Klinge, H. 1980. Biogeochemistry of tropical forests: 1. The frequency distribution and mean concentration of selected elements in a forest near Manaus, Brazil. *Tropical Ecology*, 21(1): 59-70.

- Gómez-Pompa, A.; Vásquez-Yanes, C. 1974. Studies on the secondary succession of tropical lowlands: The life cycle of secondary species. In: *Proceedings of the First International Congress of Ecology*. The Hague, the Netherlands. Sept 8-14. Centre for Agriculture Publishing and Documentation, Wageningen, the Netherlands. p. 336-342.
- Gómez-Pompa, A.; Vásquez-Yanes, C. 1985. Estudios sobre la regeneración de selvas en regiones calido-húmedas de México. In: Gómez-Pompa, A.; Del Amo, R. (eds.). *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Vera Cruz, México*. México: Compañía Editora Continental, Cap. 1, p. 1-27.
- Guimarães, W.M. 1993. *Liberação do Carbono e mudanças nos estoques de nutrientes contidos na biomassa aérea e no solo resultantes de queimadas e pastagens abandonadas em Altamira, Pará*. Dissertação de mestrado em ciências biológicas - Universidade Federal do Amazonas - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.
- Haag, H. (coord.). 1985. Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Campinas: *Fundação Cargill*, 144p.
- Haag, H.P. et alii. 1963. Composição química do *E. alba* Reinw e *E. grandis* Hill ex-Maiden: resultados preliminares. *Fertilité*, Paris, 18: 9-14.
- Harcombe, P.A. 1980. Soil nutrient loss as a factor in early tropical secondary succession. *Biotropica*, 12: 8-15.
- Hart, P.B.S.; Clinton, P.W.; Allen, R.B.; Nordmeyer, A.H.; Evans, G. 2002. Biomass and macro-nutrients (above- and below-ground) in a New Zealand beech (*northofagus*) Forest ecosystem: implications for carbon storage and sustainable Forest management. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 5899, p. 1-14.
- Herrera, R. 1985. *Nutrient cycling in Amazonian Forests*. In: Amazonia: Key environments. Oxford: pergamon Press, p. 95-105.

- Herrera, R.; Jordan, C.F.; Klinge, H.; Medina, E. 1978. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia*, v.3, n.4, p. 223-231.
- Higuchi, N. 2001. *A inserção do Amazonas no contexto da convenção do clima e Protocolo de Quioto*. Apontamentos didáticos.
- Higuchi, N. 2006. Aboveground Biomass of Secondary Forests (“Capoeiras”) In: Central Amazon - A man-made disturbance recovery. *Workshop “Remote Detection and Modeling of Tropical Forest Disturbance and Recovery”* - Universidade de Tulane, New Orleans, 5-9 June.
- Higuchi, N.; Vieira, G.; Minete, L.J.; Freitas, J.V.; Jardim, F.C.S. 1991. Sistema S. E. L. (Seleção de Espécies Listadas) para manejar a floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia. In: Val, A.L.; Figliuolo, R.; Feldberg, E. (Eds). *Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia*. Vol 1. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. p. 197-206.
- Higuchi, N.; J.A. Carvalho Jr. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: *Emissão X Sequestro de CO₂ - Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil*, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, p. 125-153.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Imanaga, M.; Yoshida, S. 1994. *Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forests*. *Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima*, 30(39): 43-54.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*. 28 (2): 153-166.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Costa, R.B.; Pinto, A.C.M.; Silva, R.P.; Rocha, R.M. 2003. As possibilidades do manejo sustentável em fragmentos florestais na Amazônia Legal. In: Costa,

R.B. (Org.). *Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na Região Centro-Oeste*. Campo Grande, MS: UCDB, 1: 161-174.

Higuchi, N.; Santos, J.; Tribuzy, E.S.; Lima, A.J.N.; Teixeira, L.M.; Carneiro, V.M.C.; Felsemburg, C.A.; Pinto, F.R.; Silva R.P.; Pinto, A.C.M. 2005. *Noções Básicas sobre Manejo Florestal*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. CPST/LMF. Manaus (AM) - Brasil.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - **IBAMA**. (Portaria Normativa IBAMA 83/91). Acessado em 13 de novembro de 2006. 13:08 h. www.ibama.gov.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - **INPE**. Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite. 2004-2005. São José dos Campos: Acessado em 13 novembro 2006. 13:20 h. http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_2004_2005.htm.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. IPCC - *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Em CD ou no site: www.ipcc.ch.

Jobbágy, E.G.; Jackson, R.B. 2001. The distribution of soil nutrients with depth: global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry*, 53: 51-77.

Johnson, C.M.; Vieira, I.C.G.; Zarin, D.J.; Frizano, J.; Johnson, A.H. 2001. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forest in eastern Amazônia. *Forest Ecology and Management*, 147: 245-252.

Jordan, C.F. 1985. *Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. Principles and their application in management and conservation*. Jhon Wiley & Sons, New York.

Jordan, C.F.; Herrera, R. 1981. Tropical rain forests: are nutrients really critical? *American Naturalist*, Chicago, 117(2): 167-180, Feb.

- Juo, A.S.; Manu, A. 1996. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 58, pp. 49-60.
- Kaufmann, J.B.; Cummings, D.L.; Ward, D.E. 1998. Fire in the Brazilian Amazon 2. Biomass and nutrient pools and losses in cattle pastures. *Oecologia*. 113(3): 415-427.
- Klinge, H.; Rodrigues, W.A.; Brunig, E.; Fittkau, E.J. 1975. Biomass and structure in a central Amazonian rain forest. In: F.B. Golley and E. Medina (Editors), *Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. (Ecological Studies 11). Springer, Berlin Heidelberg New York, p. 115-122.
- Klinge, H.; Furch, K.; Harms, E. 1984. Selected bioelements in bark and wood of native tree species from Central Amazonian inundation forests. *Amazoniana*, v.9, n.1, p. 105-117.
- Kirkby, E.A.; Römheld, V. 2007. *Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade*. Encarte Técnico, nº 118. p.1-24.
- Lanly, J.P. 1982. Tropical Forest Resources. Rome: FAO, 116 p. (*FAO Forestry Paper*, 30).
- Lima, A.J.N. 1999. *Serviço técnico especializado*. Planejamento, organização, controle e coordenação, análise de dados e elaboração de relatório do Inventário Florestal da região Sudeste (parte norte), nos municípios de Parintins, Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués, Urucurituba e na calha do rio.
- Lima, A.J.N. 2001. *Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de florestas secundárias, resultantes de corte raso seguido de queimada, da região de Manaus (AM)*. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas, 71p.
- Loetsch, F.; Zoher, F.; Haller, K.E. 1973. *Forest inventory*. Munchen, BLV, v. 2.

- López, M.; Koning, R.; Paredes, H.; Benites, P. 2002. Estimación de Carbono en Biomasa de bosques secundários y plantaciones forestales em el Noroccidente Del Ecuador. *Proyecto CO₂ - GTZ*. Casilla 17-21-1925, Quito - Ecuador, 42p.
- Luizão, F.J. 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*, 19(4): 407-417.
- Luizão, F.J.; Luizão, R.C.C. 1997. Matéria orgânica do solo em Roraima. In: Barbosa, R. I.; Ferreira, E.; Castellon, E.G. (Org.). *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. Manaus, AM: INPA, 1: 363-373.
- Marcos, G.M.; Lancho, J.F.G. 2002. Atmospheric deposition in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests: implications for forest nutrition. *Forest Ecology and Management*, 171, pp. 1-29.
- Malavolta, E. 2006. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v. 1. 638 p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS. 319 p.
- Markewitz, D.; Davidson, E.A.; Moutinho P.; Nepstad D.C. 2004. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. *Ecological Applications*, 14: S177-S199.
- Martinelli, L.A.; Almeida, S.; Brown, I.F.; Moreira, M.Z.; Victoria, R.L.; Filoso, S.; Ferreira, C.A.C.; Thomas, W.W. 2000. Variation in nutrient distribution and potential nutrient losses by selective logging in a humid tropical forest of Rondonia, Brazil. *Biotropica*, 32(4): 597-613.
- Mason, C.F. 1980. *Decomposição. Temas de biologia*. Tradução: Octávio Antonio de Camargo. São Paulo: EPU/Universidade de São Paulo, v.18, 63p.

- McGrath, D.A.; Smith, C.K.; Gholz, H.L.; Oliveira, F.D. 2001. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazonia. *Ecosystems*, 4(7): 625-645.
- McDonald, M. A.; Healey, J.R. 2000. Nutrient cycling in secondary forests in the Blue Mountains of Jamaica. *Forest Ecology and Management*, 139: 257-278.
- Medina, E.; Cuevas, E. 1989. *Patterns of nutrient accumulation and release in Amazonian forests of the upper Rio Negro basin*. In: Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems (J. Proctor, ed.). Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Mengel, K.; Kirkby, E.A. 1978. *Principles of plant nutrition*. Bem, International Potash institute, 593p.
- Miranda, E.V. 2002. *Padrão de desenvolvimento radial horário do fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendrômetros automáticos*. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 76p.
- Miyazawa, M.; Sakano, K.; Nakamura, S.; Kosaka, H. 1999. Antimutagenic activity of isoflavones from soybean seeds (*Glycine max* Merrill). *Journal Agriculture Food Chemistry*, v. 47, n. 4, p. 1346-1349.
- Nee, M. 1995. *Flora Preliminar do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (PDBFF)*. New York Botanic Garden e INPA / Smithsonian Institution. Manaus, AM.
- Negrete-Yankelevich, S.; Fragoso, C.; Newton, A.C.; Heal, O.W. 2007. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology*, 35: 340-355.
- Nepstad, D.C.; UHL, C.; Pereira, C.A.; Silva, J.M.C. 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos*, 76: 25-39.

- Neves, E.J.M.; Reissmann, C.B.; Dünisch, O. 2001. Biomassa e conteúdo de elementos minerais nos compartimentos arbóreos de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, 42: 41-49.
- Noble, A.D.; Randall, P.J. 1999. Alkalinity effects os different tree litters incubated in an acid soil of N.S.W. Australia. *Agroforestry Systems*, 46: 147-160.
- Nogueira, E.M.; Nelson, B.W.; Fearnside, P.M. 2006. Volume and biomass of trees in central Amazonia: influence of irregularly shaped and hollow trunks. *Forest Ecology and Management*, 227: 14–21.
- Odum, E.P. 1972. *Fundamentals of Ecology*. México: Interamericana, 639p.
- Oliveira, L.C. de. 1995. *Dinâmica de crescimento e regeneração natural de uma floresta secundária no Estado do Pará*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará. Belém, 136p.
- Oosterhoorn, M.; Kappelle, M. 2000. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rica montane cloud forest. *Forest Ecology and Management*, 126: 291-307.
- Organización Internacional de las Maderas Tropicales - OIMT. 2002. Directrices para la restauración, manejo y rehabilitación de los bosques tropicales degradados y secundários. *Series Políticas de Desarrollo de la OIMT*, n. 13, Yokohama, Japón.
- Pereira, C.A.; Vieira, I.C.G. 2001. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. *Interciência*, 26(8): 337-341.
- Pires, J.M.; Prance, G.T. 1985. *The vegetation types of Brazilian Amazon*. In: Prance, G.T. e Lovejoy, T.E. Key Environments: Amazonia. Oxford: Pergamon Press. p. 109-145.

- Poggiani, F.; Couto, H.T.Z. do; Suiter Filho, W. 1983. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. *IPEF*, Piracicaba, n.23, p. 37-42.
- Poggiani, F.; Schumacher, M.V. 2000. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. (Ed.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: *IPEF*, p. 287-308.
- PROJETO CHICHUÁ. 2006. *Inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas no Estado do Amazonas*. LMF/Joaquim dos Santos. Relatório Técnico. Manaus (AM).
- RADAMBRASIL. 1978. Programa de Integração Nacional. *Levantamentos de Recursos Naturais*. V.18 (Manaus) - RADAM (Projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Brasil, 626p.
- Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 285p.
- Ranzani, G. 1980. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*, 10(1): 7-41.
- Regazzi, A.J.; Leite, H.G. 1992. *Análise de regressão: teoria e aplicações em manejo florestal*. Viçosa, UFV/SIF, 1992. 236 p. (Apostila).
- Ribeiro, R.J.; Higuchi, N.; Santos, J. dos; Azevedo, C.P. de. 1999. Estudos fitossociológicos nas regiões de Carajás e Marabá-Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, 29(2): 207-222.
- Ribeiro, J.E.L.S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.; Pereira, E.C.; Silva, C.F.; Mesquita, M.R.; Procópio, L.C. 1999. *Flora da Reserva Ducke*. Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firme na Amazônia Central. INPA-DFID, Manaus, 800 p.

- Rios, M.; Martins-da-Silva, R.C.V.; Sabogal, C.; Martins, J.; Silva, R.N.; Brito, R.R.; Brito, I.M.; Brito, M.F.C.; Silva, J.R.; Ribeiro, R.T. 2001. Benefícios das plantas da capoeira para a comunidade de Benjamin Constant, Pará, Amazônia Brasileira. *CIFOR*, Belém, 54p.
- Salomão, R.P.; Nepstad, D.C.; Vieira, I.C. 1996. Biomassa e estrutura de Florestas tropicais e o efeito estufa. (Biomass and structure of tropical forests and the greenhouse effect). *Ciência Hoje*, 21(122): 38-47.
- Sampaio, E.V.S.B.; Araújo, E.L.; Salcedo, I.H.; Tiessen, H. 1998. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.5, p.621-632.
- Sanchez, P.A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. John Wiley and Sons. New York, 409p.
- Santos, J. dos. 1996. *Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira*. Doctor's Thesis, Universidade de Viçosa. Viçosa-MG. 121p.
- Santos, S.R.M. dos; Miranda, I. de S.; Tourinho, M.M. 2004. Biomass estimation of agroforestry systems of the Juba river floodplain in Cametá, Pará. *Acta Amazonica*, Manaus, 34(1).
- Santos Jr., U.M.; Gonçalves, J.F.C.; Feldpausch, T.R. 2006. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 226: 299-309.
- Schmidt M.; Botz R.; Faber E.; Schmitt M.; Poggenburg J.; Garbe-Schanberg D.; Stoffers P. 2003. High-resolution methane profiles across anoxic brine-seawater boundaries in the Atlantis-II, Discovery, and Kebrit deeps (Red Sea). *Chemical Geology*, 200, 359-376.

- Schroth, G. 2003 Decomposition and nutrient supply from biomass. In: Schroth, G.; Sinclair, F.L. (eds.). *Trees, Crops and soil fertility: concepts and research methods*. Chapter 6, p. 131-150. CABI Publishing, UK.
- Schroth, G.; Lehmann, J.; Rodrigues, M.R.L.; Barros, E.; Macedo, J.L.V. 2001. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 53: 85-102.
- Schubart, H.O.R.; Franken, W.; Luizão, F.J. 1984. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*. Rio de Janeiro, v.2, n.10, p. 26-32.
- Schumacher, M.V. 1992. *Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de Eucalyptus camaldulensis Dehnh, E. grandis Hill ex Maiden e E. torelliana F. Muell.* 1992. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Schumacher, M.V.; Caldeira, M.V.W. 2001. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um Povoamento de *Eucalyptus globulus* (labillardière) sub-espécie maidenii. *Ciência Florestal*, 11(1): 45-53.
- Senna, H.B.C. 1996. *Avaliação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e variação natural do ¹³C em florestas de inundação na Amazônia central.* Ph.D. dissertation. University of São Paulo, São Paulo, Brasil. 81 pp.
- Serrão, E.A. 1994. *Technologies and policies for containing deforestation in tropical moist forests: the case of the Amazon.* Expanded version of the paper presented at the Regional Seminar on Research Needs and Priorities on Forestry and Agroforestry Policies, San José, Costa Rica, July 1993. A contribution to the Dialogue on Science, Forests and Sustainability, Indonesia, December.
- Silva, J.N.M. 1989. *The behavior of the Tropical Rain Forest of the Brazilian Amazon after logging.* Oxford, Oxford University, 325 p.

- Silva, R.P. 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. Tese de doutorado. Manaus/INPA 152 p.
- Silva, F.C.; Raij, B. van. 1999. Disponibilidade de fósforo avaliada por diferentes extratores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, p. 267-288.
- Smith, J.; Sabogal, C.; Jong, W.; Kaimowitz, D. 1997. Florestas secundárias como recurso para o desenvolvimento rural e a conservação ambiental nos trópicos da América Latina. *CIFOR*. Papel ocasional nº 13. ISSN 0854-9818. Dic. 1997.
- Stark, N. 1970. The nutrient content of plants and soils from Brazil and Surinam. *Biotropica* 2(1): 51-60.
- Steininger, M.K. 2000. Secondary Forest Structure and Biomass Following Short and Extended Land-use in Central and Southern Amazonian. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 689-708.
- SYSTAT 8.0. 1998. *SYSTAT 8.0* Statistics by SPSS Inc., Chicago.
- Tabarelli, M.; Mantovani, W. 1999. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (São Paulo-Brasil). *Revista Brasileira de Botânica*. 22:217-223.
- Tomé Jr., J.B. 1997. *Manual para interpretação de análise de solo*. - Guaíba: Agropecuária, p. 247.
- Tracey, J.G. 1985. *A note on rain forest regeneration*. In: SHEPI-ERD, Richter. Managing the tropical forest. s. l., Australian National University, p. 2258.
- Toledo, L.O.; Pereira, M.G.; Menezes, C.E.G. 2002. Produção de serrapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16.
- Uhl, C.; Clark, H.; Clark, K.; Marquirino, P. 1982. Successional patterns associated with slash-and-burn agriculture in the upper Rio Negro Region of the Amazon Basin. *Biotropica*, 14: 249-254.

- Uhl C.; Buschbacher R.; Serrão E.A.S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*, 75: 663-681.
- Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.; Lima, J.C. 1991. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)/Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro.
- Vieira, S.A. 1998. *Efeito das plantações florestais (Eucalyptus sp.) sobre a dinâmica de nutrientes em região de cerrado do Estado de São Paulo*. 1998. 73 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- Vitousek, P.M. 1982. Nutrient cycling and use efficiency. *Amer. Nat.*, 119: 553-572.
- Vitousek, P.M. 1984. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, 65:285-298.
- Vitousek, P.M.; White, P.S. 1981. *Process studies in succession*. In: Forest succession, concepts and application. D.C. West, H.H. Shugart and D.B. Botkin (eds.), 267-276. Springer Verlag, New York.
- Vitousek, P.M.; Sanford, R.L. Jr. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Rev. Ecol. Syst.*, 17: 137-167.
- Vogt, K.A.; Vogt, D.J.; Asbjornsen, H.; Dahlgren, R.A. 1995. *Roots, nutrients and their relationship to spatial patterns*. In: Nutrient uptake and Cycling in Forest Ecosystems (L.O. Nilsson, R.F. Hüttl & U.T. Johansson, eds.), p.113-123.
- Wadsworth, F.H. 1993. El manejo de los bosques naturales en México tropical, America Central y las islas del Caribe. In: *Anais 1º Congresso Florestal panamericano*. SBS/SBEF. Curitiba, Paraná, Brasil. 19-24.

ANEXO

ANEXO 1. Equações alométricas para o nutriente C, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Carbono</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_C = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,83	76,66	-90,897	1490,908	
(2) $P_C = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,25	161,95	-70,519	11,019	
(3) $P_C = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,74	95,28	5,830	0,026	
(4) $P_C = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,64	111,55	-23,270	0,623	
(5) $P_C = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,91	8,10	7731,353	2,323	
(6) $P_C = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,45	20,30	0,058	2,685	
(7) $\ln P_C = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,89	75,84	-1,782	2,304	
(8) $\ln P_C = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,44	61,53	-1,321	1,916	
(9) $\ln P_C = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,89	75,83	-1,928	2,228	0,134

ANEXO 2. Equações alométricas para o nutriente N, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Nitrogênio</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_N = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,74	95,28	-10,359	176,327	
(2) $P_N = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,20	165,60	-7,391	1,251	
(3) $P_N = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,59	118,89	1,328	0,003	
(4) $P_N = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,53	127,67	-2,042	0,071	
(5) $P_N = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,82	11,60	694,764	2,130	
(6) $P_N = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,40	21,22	0,031	2,157	
(7) $\ln P_N = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,40	75,42	-3,434	2,138	
(8) $\ln P_N = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,43	62,09	-3,086	1,813	
(9) $\ln P_N = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,85	75,42	-3,640	2,031	0,187

ANEXO 3. Equações alométricas para o nutriente P, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Fósforo</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_P = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,65	121,74	-0,451	7,207	
(2) $P_P = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,14	191,30	-0,271	0,046	
(3) $P_P = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,51	147,83	0,029	0,0001	
(4) $P_P = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,43	156,52	-0,099	0,003	
(5) $P_P = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,75	14,85	40,788	2,391	
(6) $P_P = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,30	24,79	0,001	2,212	
(7) $\ln P_P = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,86	84,02	-7,190	2,286	
(8) $\ln P_P = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,42	74,13	-6,722	1,896	
(9) $\ln P_P = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,86	84,02	-7,326	2,215	0,123

ANEXO 4. Equações alométricas para o nutriente K, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Potássio</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_K = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,78	95,00	-4,903	79,054	
(2) $P_K = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,16	184,17	-2,705	0,479	
(3) $P_K = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,61	124,58	0,349	0,001	
(4) $P_K = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,51	140,42	-1,026	0,030	
(5) $P_K = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,87	10,36	505,546	2,469	
(6) $P_K = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,34	23,61	0,013	2,143	
(7) $\ln P_K = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,81	80,11	-5,182	2,447	
(8) $\ln P_K = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,33	69,42	-4,264	1,848	
(9) $\ln P_K = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,81	80,11	-4,962	2,561	-0,201

ANEXO 5. Equações alométricas para o nutriente Ca, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Cálcio</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_{Ca} = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,57	158,78	-12,696	201,478	
(2) $P_{Ca} = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,10	229,49	-6,172	1,135	
(3) $P_{Ca} = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,43	182,60	0,810	0,003	
(4) $P_{Ca} = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,35	194,59	-2,552	0,075	
(5) $P_{Ca} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,68	19,24	1336,620	2,499	
(6) $P_{Ca} = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,24	29,52	0,038	2,071	
(7) $\ln P_{Ca} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,79	93,46	-3,940	2,291	
(8) $\ln P_{Ca} = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,30	85,13	-2,931	1,666	
(9) $\ln P_{Ca} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,79	93,46	-3,604	2,466	-0,307

ANEXO 6. Equações alométricas para o nutriente Mg, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Magnésio</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_{Mg} = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,78	81,90	-1,657	28,719	
(2) $P_{Mg} = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,23	153,20	-1,231	0,209	
(3) $P_{Mg} = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,64	104,50	0,237	0,0005	
(4) $P_{Mg} = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,58	113,70	-0,322	0,012	
(5) $P_{Mg} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,85	10,14	99,823	2,045	
(6) $P_{Mg} = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,44	19,54	0,004	2,220	
(7) $\ln P_{Mg} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,75	71,83	-5,591	2,278	
(8) $\ln P_{Mg} = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,38	58,07	-5,164	1,907	
(9) $\ln P_{Mg} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,76	71,83	-5,761	2,190	0,155

ANEXO 7. Equações alométricas para o nutriente Mn, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Manganês</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_{Mn} = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,72	100,00	-0,131	2,218	
(2) $P_{Mn} = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,32	171,43	-0,137	0,020	
(3) $P_{Mn} = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,80	85,71	0,006	0,00004	
(4) $P_{Mn} = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,71	114,29	-0,044	0,001	
(5) $P_{Mn} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,81	13,04	9,198	2,165	
(6) $P_{Mn} = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,59	18,44	0,000001	4,147	
(7) $\ln P_{Mn} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,66	80,72	-8,063	2,194	
(8) $\ln P_{Mn} = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,34	65,16	-7,705	1,860	
(9) $\ln P_{Mn} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,66	80,72	-8,273	2,085	0,192

ANEXO 8. Equações alométricas para o nutriente Fe, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Ferro</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_{Fe} = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,90	50,00	-0,207	3,502	
(2) $P_{Fe} = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,33	133,33	-0,187	0,029	
(3) $P_{Fe} = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,86	58,33	0,017	0,00006	
(4) $P_{Fe} = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,77	83,33	-0,056	0,002	
(5) $P_{Fe} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,95	5,89	14,102	2,146	
(6) $P_{Fe} = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,56	16,67	0,00008	2,889	
(7) $\ln P_{Fe} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,86	68,65	-7,700	2,284	
(8) $\ln P_{Fe} = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,37	53,43	-6,958	1,776	
(9) $\ln P_{Fe} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,86	68,65	-7,596	2,338	-0,095

ANEXO 9. Equações alométricas para o nutriente Cu, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Cobre</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_{Cu} = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,77	75,00	-0,007	0,120	
(2) $P_{Cu} = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,23	150,00	-0,005	0,0009	
(3) $P_{Cu} = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,65	100,00	0,0008	0,000002	
(4) $P_{Cu} = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,57	125,00	-0,002	0,00005	
(5) $P_{Cu} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,85	10,21	0,488	2,152	
(6) $P_{Cu} = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,43	20,41	0,00001	2,312	
(7) $\ln P_{Cu} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,87	74,65	-10,961	2,245	
(8) $\ln P_{Cu} = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,47	60,00	-10,703	1,950	
(9) $\ln P_{Cu} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,87	74,65	-11,271	2,084	0,282

ANEXO 10. Equações alométricas para o nutriente Na, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Sódio</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_{Na} = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,66	92,60	-0,659	12,953	
(2) $P_{Na} = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,41	122,22	-0,933	0,138	
(3) $P_{Na} = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,69	88,89	0,151	0,0002	
(4) $P_{Na} = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,70	87,04	-0,176	0,006	
(5) $P_{Na} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,74	12,45	25,833	1,660	
(6) $P_{Na} = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,64	14,52	0,0004	2,885	
(7) $\ln P_{Na} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,61	67,08	-6,360	2,331	
(8) $\ln P_{Na} = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,37	48,06	-6,387	2,153	
(9) $\ln P_{Na} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,62	67,08	-6,940	2,030	0,529

ANEXO 11. Equações alométricas para o nutriente Zn, com coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e coeficientes.

<i>Zinco</i>	R^2	$S_{yx}\%$	β_0	β_1	β_2
(1) $P_{Zn} = \beta_0 + \beta_1 D_i$	0,71	100,00	-0,029	0,499	
(2) $P_{Zn} = \beta_0 + \beta_1 H_i$	0,36	150,00	-0,034	0,005	
(3) $P_{Zn} = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i$	0,76	100,00	0,002	0,00001	
(4) $P_{Zn} = \beta_0 + \beta_1 D H_i$	0,71	100,00	-0,010	0,0002	
(5) $P_{Zn} = \beta_0 D_i^{\beta_1}$	0,77	11,18	1,532	1,970	
(6) $P_{Zn} = \beta_0 H_i^{\beta_1}$	0,59	15,00	0,000004	3,305	
(7) $\ln P_{Zn} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i$	0,70	64,63	-9,752	2,290	
(8) $\ln P_{Zn} = \beta_0 + \beta_1 \ln H_i$	0,38	50,96	-9,493	1,991	
(9) $\ln P_{Zn} = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i$	0,70	64,63	-10,072	2,124	0,292